

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ**

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

_____ **Ігор БОЛБОТ**

«___» _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри економічної
кібернетики**

_____ **Наталія РОГОЗА**

«___» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Аналіз та моделювання ціноутворення на ринку пального
України»**

Спеціальність 051 «Економіка»

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»

Гарант освітньої програми

к.е.н., доцент

_____ **Наталія КЛИМЕНКО**

Керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи

к.е.н., доцент

_____ **Наталія КЛИМЕНКО**

Виконав:

_____ **Борис ДВОРНИК**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

доц., к. е. н. _____ **Наталія РОГОЗА**
“ ” _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Дворнику Борису Борисовичу

Спеціальність 051 «Економіка»

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»

Тема роботи: «Аналіз та моделювання ціноутворення на ринку пального України» затверджена наказом від «05» грудня 2025 року № 3008 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру – 27.05.2026

Вихідні дані до роботи (проекту) – Масиви макроекономічних та цінових даних ринку світлих нафтопродуктів України (2019–2026 рр.), сформовані на базі офіційної статистики НБУ, Держстату, світових товарних бірж та Консалтингової групи «А-95».

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- а) ; ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ НАФТОПРОДУКТІВ ЯК СКЛАДНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ
- б); СИСТЕМНИЙ ТА СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОН'ЮНКТУРИ РИНКУ ПАЛЬНОГО В УКРАЇНІ
- в); ЕКОНОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СЦЕНАРНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ

Дата видачі завдання “08” грудня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

_____ **Наталія КЛИМЕНКО**

Борис ДВОРНИК

Завдання взяв до виконання

План

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ НАФТОПРОДУКТІВ ЯК СКЛАДНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ	5
1.1. Механізм ціноутворення та трансформація факторів впливу в умовах макроекономічної нестабільності.....	5
1.2. Системний підхід до аналізу логістичних ланцюгів постачання пального.....	15
1.3. Огляд сучасних методів економіко-математичного моделювання та аналізу даних у прогнозуванні цінової кон'юнктури	22
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМНИЙ ТА СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОН'ЮНКТУРИ РИНКУ ПАЛЬНОГО В УКРАЇНІ	29
2.1. Статистичний аналіз динаміки цін та виявлення структурних зрушень (2019–2025 рр.).....	29
2.2. Багатофакторний кореляційно-регресійний аналіз ціноутворення.	36
2.3 Оцінка стійкості системи ціноутворення до зовнішніх логістичних та фінансових шоків	44
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СЦЕНАРНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ	50
3.1. Кластерний аналіз чинників ціноутворення	50
3.2. Побудова та верифікація адаптивної моделі Хольта для короткострокового прогнозування.....	56
3.3. Сценарне прогнозування цінової динаміки та розробка рекомендацій для управління ризиками	60
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
Додатки	74

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна архітектура вітчизняного ринку світлич нафтопродуктів формується під безпрецедентним тиском екзогенних факторів. До лютого 2022 року ця система функціонувала у стані відносної макроекономічної рівноваги, спираючись на стаціонарні логістичні канали та власні нафтопереробні потужності. Проте повномасштабна військова агресія та цілеспрямоване фізичне знищення ключових інфраструктурних вузлів (зокрема Кременчуцького НПЗ, Шебелинського ГПЗ та десятків нафтобаз) виступили тригером критичних структурних зрушень. Ринок миттєво перейшов у стан максимальної ентропії, що супроводжувалося повною імпортозалежністю та вимушеною переорієнтацією на децентралізовані автомобільні поставки з європейських хабів. [5, 17, 28]

Наслідком цієї трансформації стала гіперчутливість роздрібних цін на бензин та дизельне пальне до найменших валютно-курсних коливань, зростання світових котирувань нафти та виникнення стохастичних логістичних бар'єрів. Оскільки вартість пального виступає базовим мультиплікатором інфляції для всіх секторів економіки, здатність адекватно оцінювати та прогнозувати ці процеси є питанням національної енергетичної та продовольчої безпеки. [4, 6, 20]

В умовах такої нелінійної динаміки класичні детерміновані методи прогнозування втрачають свою наукову та практичну цінність. Виникає гостра необхідність переходу до інструментарію економічної кібернетики. Застосування алгоритмів машинного навчання, гнучких економетричних моделей та методів інтелектуального аналізу даних дозволяє ідентифікувати приховані закономірності у високоволатильних часових рядах і формувати надійні сценарії управління ціновими ризиками. [10, 21, 35, 37] Саме це зумовлює своєчасність, наукову та практичну актуальність обраної теми дослідження.

Метою роботи є проведення комплексного статистичного та системного аналізу факторів ціноутворення на ринку світлич нафтопродуктів України в умовах нестабільності, а також розробка адаптивних економетричних моделей для сценарного прогнозування цінової динаміки.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі **завдання**:

- розкрити кібернетичний механізм ціноутворення на ринку пального та класифікувати фактори впливу з позицій системного аналізу;
- охарактеризувати трансформацію логістичних ланцюгів та їхній вплив на структуру роздрібної ціни;
- провести поглиблений статистичний аналіз динаміки цін на бензин та дизельне пальне за 2019–2026 роки, ідентифікувавши точки структурних макроекономічних біфуркацій;
- здійснити багатфакторний регресійний аналіз для кількісної оцінки міри впливу курсу валют та світових котирувань Platts на кон'юнктуру вітчизняного ринку;
- виконати багатовимірний кластерний аналіз чинників ціноутворення для їх сегментації за рівнем макроекономічної ентропії;
- побудувати, оптимізувати та верифікувати адаптивну модель експоненційного згладжування (методом Хольта) для оперативного прогнозування;
- розробити багатоваріантні сценарні прогнози розвитку ринку та сформулювати рекомендації щодо мінімізації фінансових ризиків. [10, 37].

Об'єктом дослідження є процес ціноутворення на ринку світлич нафтопродуктів (бензину та дизельного пального) в Україні як складної соціально-економічної системи.

Предметом дослідження є сукупність методів економіко-математичного моделювання, статистичного аналізу та алгоритмів прогнозування, що визначають динаміку цін на пальне в умовах макроекономічних шоків.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи слугують фундаментальні положення економічної теорії, економетрики та загальної теорії систем. Для візуалізації динаміки економічних індикаторів та виявлення трендів застосовано *графічний метод*. Оцінка тісноти зв'язку між внутрішніми цінами та екзогенними факторами здійснювалася за допомогою *кореляційно-регресійного аналізу*. Для виявлення прихованих структурних станів ринку

використано алгоритми інтелектуального аналізу даних (*Data Mining*), зокрема алгоритм просторової кластеризації *k-means*. Математичне моделювання та розрахунок короткострокових прогнозних сценаріїв реалізовано із застосуванням методів експоненційного згладжування (двопараметрична адаптивна модель Хольта). Обробка масивів даних, побудова аналітичних пайплайнів та оптимізація параметрів моделей здійснювалися з використанням табличних процесорів (Microsoft Excel) та спеціалізованого середовища для машинного навчання і візуального програмування Orange Data Mining.

Інформаційною базою дослідження слугували офіційні матеріали Державної служби статистики України, нормативно-правові акти, дані Національного банку України, історичні зведення світових товарних бірж, аналітичні звіти профільних агенцій (Консалтингова група «А-95»), а також фахова вітчизняна та зарубіжна література з питань економічної кібернетики. [11, 15, 22, 23, 27, 38]

Практична значущість одержаних результатів. Спроектовані алгоритми кластеризації та адаптивні економетричні моделі створюють надійний математичний базис для оперативного прийняття рішень. Розроблені рекомендації щодо переходу до динамічного ціноутворення можуть бути безпосередньо імплементовані суб'єктами господарювання (аграрними підприємствами, логістичними компаніями, ритейлом) для хеджування валютних ризиків та оптимізації витрат на закупівлю енергоресурсів в умовах перманентної нестабільності.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ НАФТОПРОДУКТІВ ЯК СКЛАДНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ

1.1. Механізм ціноутворення та трансформація факторів впливу в умовах макроекономічної нестабільності

З позицій методології економічної кібернетики та загальної теорії систем, сучасний ринок світлих нафтопродуктів (зокрема бензинів та дизельного пального) не може розглядатися як класичний лінійний ринок. Навпаки, його доцільно ідентифікувати як складну, відкриту, нелінійну соціально-економічну систему, яка функціонує в умовах перманентного впливу екзогенних (зовнішніх) та ендогенних (внутрішніх) збурень. [3, 7, 19] Характерною рисою цієї системи на сучасному етапі розвитку економіки України є надзвичайно високий рівень ентропії, тобто міри невизначеності та хаотичності макроекономічного середовища, що зумовлено наслідками військової агресії, геополітичною турбулентністю та глобальними логістичними кризами.

У цьому контексті механізм ціноутворення втрачає свою традиційну детерміновану природу, де ціна розглядається як проста сума витрат і нормативного прибутку. З кібернетичної точки зору, ціноутворення виступає як безперервний, стохастичний інформаційно-аналітичний процес. Це складний механізм рецепції та опрацювання величезних масивів вхідних сигналів (інформаційних, фінансових та матеріальних потоків), які надходять із зовнішнього середовища, їхньої трансформації всередині системи та генерації вихідного керуючого імпульсу – роздрібної ціни на стелах автозаправних станцій.

Роздрібна ціна, у свою чергу, виконує критично важливу функцію зворотного зв'язку (feedback loop) у системі управління ринком. Вона діє як універсальний балансер, що намагається привести систему до стану гомеостазу (динамічної рівноваги) між платоспроможним попитом споживачів та пропозицією операторів ринку. Коли зовнішні шоки (наприклад, дефіцит ресурсу на європейських хабах або різке зростання світових котирувань) виводять систему з рівноваги, саме ціновий сигнал виконує роль автоматичного

регулятора, який стримує надмірний попит або економічно стимулює збільшення імпорتنих поставок.

Крім того, кібернетична природа ціноутворення на ринку нафтопродуктів характеризується вираженою нелінійністю причинно-наслідкових зв'язків. Це означає, що принцип суперпозиції в даній системі не працює: незначні за амплітудою коливання вхідних параметрів (наприклад, локальні зміни у податковому законодавстві, мікроколивання валютного курсу або тимчасові затримки на митних переходах) можуть викликати непропорційно великі, ескалаційні зміни вихідного показника – кінцевої вартості пального. Така гіперчутливість системи об'єктивно зумовлена наявністю складних логістичних лагів та інформаційно-психологічним фактором поведінки економічних агентів. Це, у підсумку, доводить неможливість застосування простих методів екстраполяції та вимагає використання адаптивного економетричного інструментарію для моделювання її подальших станів.

Математична формалізація структури ціни за моделлю імпортного паритету

Перехід від теоретичного опису ринку як кібернетичної системи до його практичного моделювання потребує чіткої формалізації структури ціноутворення. Оскільки внутрішній ринок світлих нафтопродуктів України функціонує в умовах дефіциту власної сировини та переробних потужностей, базовою математичною конструкцією для розрахунку вартості є модель «імпортного паритету». [24] З позицій системного аналізу, ця модель представляє собою адитивну функцію, де кінцевий показник (роздрібна ціна) формується як кумулятивний результат взаємодії низки незалежних та взаємозалежних змінних.

Математично структуру роздрібною ціни одного літра пального (\$P\$) у найбільш повному вигляді можна представити за допомогою такої детермінованої моделі:

$$P = (P_{\{base\}} + L_{\{ext\}}) \cdot E \cdot (1 + T_{\{vat\}}) + T_{\{acc\}} \cdot E + L_{\{int\}} + M$$

де кожна змінна відображає конкретний економічний процес або регуляторний вплив:

- P_{base} – базовий індикатор світової ціни нафтопродуктів (валютний еквівалент за тону/літр), що базується на котируваннях міжнародних агентств (зокрема, Platts). Це вхідний сигнал найвищого рівня, що відображає глобальний баланс енергоресурсів.
- L_{ext} – витрати на зовнішню логістику до державного кордону України (фрахт, страхування, перевалка в європейських портах). В умовах зміни векторів постачання цей параметр став критично волатильним.
- E – трансмісійний коефіцієнт валютного курсу (курс гривні до долара США або євро). У кібернетичній моделі він виконує роль підсилювача: будь-яке коливання курсу експоненційно збільшує гривневий еквівалент валютних витрат.
- T_{vat} – ставка податку на додану вартість. Цей параметр виступає як мультиплікатор, що пропорційно збільшує всі попередні складові ціни.
- T_{acc} – ставка акцизного податку. Особливістю українського законодавства є номінування акцизу у євро, що робить цей податковий компонент прямо залежним від динаміки валютного ринку. [25, 32]
- L_{int} – внутрішні логістичні витрати від кордону до кінцевої АЗС, що включають транспортування бензовозами, зберігання на нафтобазах (з урахуванням ризиків безпеки) та природні втрати.
- M – інтегральний показник маржі оператора, який має покривати операційні витрати мережі АЗС (електроенергія, оплата праці, маркетинг) та забезпечувати норму чистого прибутку.

З погляду кібернетики, така модель є вразливою до так званого «ефекту накопичення помилки». Оскільки більшість компонентів формули є стохастичними (випадковими) величинами, їхня одночасна зміна може призводити до резонансних стрибків ціни. Особливе значення має ієрархічність зв'язків: наприклад, зміна валютного курсу (E) впливає одразу на три різні

складові ціни (закупівлю, зовнішню логістику та акциз), що робить цей фактор найбільш вагомим предикатором у майбутніх економетричних розрахунках.

Формалізація ціни через модель імпортного паритету дозволяє не лише зрозуміти архітектуру вартості пального, а й слугує базисом для проведення факторного аналізу. Вона дає змогу виділити «контрольовані» (податкові ставки, частково маржа) та «неконтрольовані» (світові котирування, курс валют) параметри системи, що є необхідним для розробки сценаріїв прогнозування в умовах макроекономічної нестабільності.

Системна класифікація факторів впливу: екзогенні та ендогенні детермінанти

Для забезпечення адекватності економетричного моделювання та побудови ефективних алгоритмів прогнозування, усі чинники, що детермінують цінову динаміку на ринку світлич нафтопродуктів, потребують чіткої системної класифікації. З погляду економічної кібернетики, ринок пального взаємодіє з макроекономічним середовищем через складну систему прямих та зворотних зв'язків. Відповідно до джерела походження та можливості керованості з боку національної економіки, всю сукупність ціноутворюючих факторів доцільно диференціювати на дві фундаментальні макрогрупи: екзогенні (зовнішні) та ендогенні (внутрішні) змінні.

Екзогенні (зовнішні) фактори генеруються поза межами національної економічної системи. Для вітчизняного ринку нафтопродуктів вони виступають як незалежні змінні або зовнішні збурення (шоки), на які система не має можливості безпосередньо впливати, але змушена експоненційно адаптуватися до їхніх коливань. До цієї групи належать світові ціни на сиру нафту (марки Brent, WTI) та, що більш релевантно для України, котирування готових нафтопродуктів на європейських товарних біржах (індекси агентства Platts). У кібернетичній моделі ці фактори формують базовий вхідний сигнал. Сюди ж слід віднести геополітичні фактори, квоти ОПЕК+ та глобальні макроекономічні цикли, які опосередковано впливають на світовий баланс енергоресурсів.

Ендогенні (внутрішні) фактори формуються безпосередньо всередині національної економіки. Вони виступають як параметри стану самої системи та, на відміну від екзогенних, частково піддаються регулюванню (керуванню). Ендогенний контур ціноутворення є багатокомпонентним і включає наступні ключові підгрупи:

- *Макроекономічні індикатори (валютно-курсний фактор).* Оскільки Україна функціонує в режимі відкритої економіки з абсолютною імпортозалежністю в енергетичному секторі, офіційний та міжбанківський курси національної валюти виступають потужними внутрішніми мультиплікаторами вартості. Девальвація гривні має майже миттєвий ефект трансмісії у роздрібні ціни.
- *Державно-регуляторні (фіскальні) фактори.* Податкова політика держави (ставки акцизного збору, ПДВ) створює жорсткі контури управління системою ціноутворення. Зміни в податковому законодавстві часто виступають як потужні внутрішні шоки, що призводять до дискретних (ступінчастих) змін рівня ряду динаміки роздрібних цін.
- *Логістичні та інфраструктурні фактори.* Структура логістичних ланцюгів, вартість транспортного фрахту, пропускна здатність митних переходів та наявність потужностей для зберігання (нафтобаз) формують сукупні внутрішні транзакційні витрати системи.
- *Ринкові (поведінкові) фактори.* Рівень олігополізації ринку, стратегії ціноутворення ключових гравців, а також сезонність попиту (наприклад, циклічні піки споживання дизельного пального в аграрному секторі навесні та восени) визначають локальний баланс попиту та пропозиції.

Така дихотомічна класифікація дозволяє коректно специфікувати майбутні економетричні моделі. Екзогенні чинники зазвичай розглядаються як незалежні предиктори (регресори) у багатофакторних кореляційних рівняннях, тоді як різкі зміни ендогенних (особливо регуляторних та інфраструктурних) факторів моделюються шляхом введення фіктивних змінних (*dummy variables*), що відображають структурні зрушення в системі ціноутворення.

Глобальні енергетичні детермінанти та кібернетичний механізм часового лага

У структурі екзогенних факторів ціноутворення домінуючу роль відіграють глобальні енергетичні детермінанти, які формують базовий (вхідний) ціновий сигнал для вітчизняного ринку нафтопродуктів. Зважаючи на повну імпортозалежність економіки України в цьому сегменті, внутрішні роздрібні ціни є математично похідними від кон'юнктури європейських та світових товарних бірж.

Важливою кібернетичною особливістю є те, що керуючим індикатором для українського ринку виступає не стільки ціна сирової нафти (еталонні маркерні сорти Brent або WTI), скільки котирування готових світлих нафтопродуктів у європейських портах (регіони ARA – Амстердам-Роттердам-Антверпен, та Середземномор'я). Ці котирування щоденно фіксуються міжнародним ціновим агентством Platts і слугують базисом для укладання імпортних контрактів (формула ціни зазвичай має вигляд: котирування Platts + премія трейдера). Динаміка цін на сирю нафту є первинним індикатором, однак між нею та ціною на бензин чи дизель існує додатковий етап трансформації – нафтопереробка, яка має власну маржинальність (crack spread) та баланс попиту. Тому економетричне моделювання українського ринку вимагає використання саме індексів Platts як найбільш релевантного екзогенного регресора.

Трансмісія цінового сигналу від глобального ринку до роздрібного споживача в Україні не відбувається миттєво. З точки зору теорії динамічних систем, ринок пального характеризується високою інерційністю, що зумовлює виникнення явища **часового лага (запізнювання)**. Математично це означає, що роздрібна ціна в поточний момент часу (P_t) залежить від світових котирувань у попередні періоди часу ($Platts_{t-k}$), де k – величина часового лага.

Природа цього лага має фізичне та економічне обґрунтування. По-перше, це логістичний цикл: час, необхідний для закупівлі ресурсу в Європі, пошуку вільного автомобільного чи залізничного транспорту, фізичного перевезення через кордон, проходження митних процедур та доставки на нафтобазу. В умовах

воєнного стану цей логістичний лаг суттєво зріс. По-друге, це фактор управління запасами (inventory turnover): вітчизняні мережі АЗС реалізують пальне, закуплене за старими контрактами, і нова (нижча або вища) ціна почне формуватися на стелах лише після повного заміщення резервуарних залишків новими партіями ресурсу.

За емпіричними оцінками, для українського ринку період адаптації до світових цінових шоків (величина лага k) у середньому становить від 14 до 21 дня. У моменти різкого падіння світових цін оператори ринку штучно розтягують цей лаг для максимізації прибутку (ефект «храповика»), тоді як при зростанні світових котирувань перенесення вартості на споживача відбувається значно швидше. Врахування цієї асиметрії та розподіленого часового лага є обов'язковою умовою для побудови точних багатофакторних регресійних моделей, оскільки пряме (синхронне) зіставлення цін на нафту та бензин в один і той самий день дасть статистично некоректні результати з низьким коефіцієнтом детермінації.

Валютно-курсний механізм трансмісії та асиметрія цінової еластичності

У системі макроекономічних детермінант ціноутворення на вітчизняному ринку нафтопродуктів валютний фактор відіграє роль ключового трансмісійного механізму. З кібернетичної точки зору, валютний курс (зокрема крос-курси UAH/USD та UAH/EUR) діє як потужний системний мультиплікатор, що масштабує вплив зовнішніх цінових сигналів на внутрішнє економічне середовище. Специфіка цього механізму полягає у бівалютній залежності українського паливного ринку: базова вартість нафтопродуктів на європейських хабах (Platts) номінується у доларах США, тоді як специфічна ставка акцизного податку фіксується у євро.

Така архітектура створює складний контур вразливості системи до курсових шоків. Процес перенесення коливань обмінного курсу на роздрібні ціни в економічній науці описується концепцією «ефекту переносу» (exchange rate pass-through).[14] На ринку пального України цей ефект є надзвичайно

високим і наближається до абсолютної одиниці у довгостроковому періоді, що означає майже повну трансляцію девальвації національної валюти у споживчі ціни. Будь-яке знецінення гривні автоматично та синхронно збільшує як закупівельну (імпортну) вартість ресурсу, так і фіскальне навантаження у гривневому еквіваленті.

Важливою кібернетичною характеристикою валютно-курсової трансмісії є явище асиметрії цінової еластичності. Емпіричні дослідження підтверджують, що система ціноутворення реагує на девальвацію та ревальвацію гривні з кардинально різною швидкістю та інтенсивністю. У випадку знецінення національної валюти (зростання курсів іноземних валют) оператори ринку, керуючись раціональними очікуваннями та гострою необхідністю хеджування валютних ризиків для закупівлі наступних імпортних партій, коригують ціни на АЗС практично миттєво, зводячи логістичний часовий лаг до мінімуму.

Натомість, у періоди макроекономічної стабілізації та зміцнення гривні спрацьовує ефект жорсткості цін (відомий як «ефект храповика» або ratchet effect). У таких умовах роздрібні ціни знижуються значно повільніше і часто непропорційно до масштабів ревальвації. Це пояснюється тим, що трейдери намагаються компенсувати попередні курсові втрати, відновити запаси ліквідності та збільшити операційну маржинальність.

Крім того, в умовах загальної макроекономічної нестабільності валютний фактор тісно переплітається з психологічним компонентом. Сигнали про можливу девальвацію або зменшення золотовалютних резервів НБУ генерують превентивне зростання цін. Таким чином, валютний курс виступає не просто транслятором понесених витрат, а випереджаючим індикатором (leading indicator) інфляційних процесів у системі. Це зумовлює абсолютну необхідність включення валютних параметрів як ключових незалежних регресорів при побудові та специфікації будь-яких економетричних прогнозних моделей для ринку пального.

Державне регулювання як інструмент керування системою

З позицій економічної кібернетики, державне регулювання ринку нафтопродуктів розглядається як цілеспрямований керівний вплив макросистеми (держави) на галузеву підсистему з метою забезпечення її стабільності, мінімізації ентропії та захисту кінцевих споживачів від надмірних цінових шоків. У цьому контексті інструменти державного регулювання виступають як параметри управління, зміна яких здатна кардинально переформатувати механізм ціноутворення та змістити точку ринкової рівноваги.

Основним важелем впливу є фіскальна політика, зокрема ставки акцизного збору та податку на додану вартість (ПДВ). В ідеально функціонуючій системі ці податки є статичними константами. Однак в умовах макроекономічної нестабільності вони перетворюються на динамічні інструменти балансування. Яскравим прикладом такого керівного впливу стали події березня 2022 року, коли для уникнення цінового колапсу та згладжування шоку держава тимчасово скасувала акциз та знизила ставку ПДВ з 20% до 7%. Цей крок дозволив частково компенсувати експоненційне зростання логістичних витрат. Натомість повернення до довоєнної системи оподаткування у липні 2023 року (ПДВ 20% та повний акциз) спрацювало як потужний внутрішній шок, що згенерував адміністративне зростання роздрібних цін на стелах АЗС. У практиці економетричного моделювання такі регуляторні рішення описуються за допомогою введення фіктивних змінних (*dummy variables*), оскільки вони формують дискретні (ступінчасті) структурні зрушення в часових рядах динаміки.

Іншим жорстким кібернетичним інструментом є пряме адміністративне втручання - встановлення граничних торговельних надбавок (*price caps*). Застосування цього інструменту навесні 2022 року продемонструвало класичний конфлікт між директивним управлінням та законами ринкової самоорганізації. Штучне обмеження роздрібною ціни (державне регулювання) на рівні, нижчому за об'єктивну ринкову вартість з урахуванням дефіциту, призвело до блокування цінового сигналу як механізму зворотного зв'язку. Як наслідок, система відреагувала виникненням тотального товарного дефіциту в легальному сегменті

та формуванням «чорного ринку», де ціни формувалися вільно і значно перевищували офіційні межі.

Таким чином, державне регулювання виступає двосічним мечем: з одного боку, воно здатне згладжувати зовнішні шоки через гнучку податкову політику, а з іншого - за умови надмірного адміністративного тиску - може порушити гомеостаз системи, деформуючи природні механізми балансування попиту та пропозиції. Це вимагає впровадження виключно ринкових механізмів регулювання та їхнього попереднього економетричного симулювання.

Ринкові, безпекові та поведінкові детермінанти як фактори нелінійної динаміки

Крім глобальних макроекономічних та фіскальних чинників, на механізм ціноутворення критично впливає специфіка інституційної організації вітчизняного ринку. З погляду інституційної кібернетики, роздрібний ринок нафтопродуктів України має виражені ознаки олігополії з конкурентним оточенням. Формування цінових трендів визначається невеликою групою великих національних мереж (маркетмейкерів), які володіють найбільшими запасами ліквідності та диверсифікованими контрактами в ЄС. Зміна цін на їхніх стелах виступає як керуючий інформаційний сигнал для середнього та малого бізнесу (дискаунтерів), що створює ефект цінового лідерства. Така структура дещо знижує загальну ентропію системи в умовах стабільності, проте в моменти криз маркетмейкери змушені закладати в ціну найвищу премію за ризик для гарантування безперебійності поставок.

У період 2022–2025 років домінуючими факторами нелінійної динаміки стали безпекові та форс-мажорні (воєнні) чинники. З математичної точки зору, ці події розглядаються як екстремальні екзогенні збурення або так звані події типу «чорний лебідь». Фізичне знищення інфраструктури зберігання пального, блекаути та перебої в роботі електронних систем адміністрування призводять до миттєвого порушення логістичних ланцюгів. У кібернетичній системі ринку це проявляється у вигляді різкого зниження інерційності: оператори позбавлені можливості формувати довгострокові запаси і змушені працювати «з коліс», що

робить роздрібну ціну максимально вразливою до будь-яких короткострокових коливань закупівельної вартості.

Безпекові фактори тісно корелюють з поведінковими та психологічними аспектами. Інформаційна асиметрія та поширення новин про потенційний дефіцит ресурсу або масові атаки на інфраструктуру генерують ажіотажний (панічний) попит з боку населення та бізнесу. У цьому випадку спрацьовує класичний кібернетичний механізм негативного зворотного зв'язку: стрімке вимивання залишків на АЗС змушує систему автоматично та різко підвищувати ціну (обмежувальний бар'єр), щоб збалансувати попит із наявними обмеженими пропозиціями ресурсу до моменту підвезення нових партій.

Висновки до підрозділу 1.1: Отже, системний аналіз механізму ціноутворення на ринку світлих нафтопродуктів України дозволяє констатувати, що він функціонує як складна, відкрита, високоволатильна кібернетична система. Базовий рівень ціни детермінується за моделлю «імпортного паритету» під впливом світових котирувань Platts та транслюється через валютно-курсний мультиплікатор. Водночас, макроекономічна нестабільність, військові шоки, трансформація податкового поля та логістичні лаги перетворюють цей ринок на систему з високим ступенем ентропії та нелінійними причинно-наслідковими зв'язками. За таких умов традиційні детерміновані методи прогнозування втрачають свою релевантність. Це вимагає переходу до використання адаптивних економетричних інструментів (таких як моделі експоненційного згладжування), які здатні оперативно враховувати структурні зрушення, вплив логістичних шоків та мінімізувати помилки прогнозу в умовах невизначеності.

1.2. Системний підхід до аналізу логістичних ланцюгів постачання пального

У межах дослідження економічної кібернетики логістичний ланцюг постачання нафтопродуктів розглядається не просто як послідовність транспортних операцій, а як складна, багаторівнева, адаптивна система. Ця система призначена для забезпечення безперервного руху ресурсів від первинних джерел (виробників або імпортерів) до кінцевих вузлів споживання (АЗС).

Системний підхід передбачає розгляд логістики як інтегрованого цілого, де ефективність кожного окремого елемента (транспорту, складських потужностей, митних терміналів) безпосередньо впливає на загальний стан гомеостазу всього паливного ринку.

З кібернетичної точки зору, логістичний ланцюг є сукупністю трьох фундаментальних взаємопов'язаних потоків, які забезпечують життєдіяльність системи:

1. **Матеріальний потік** – фізичне переміщення світлих нафтопродуктів. Характеризується такими параметрами, як обсяг, швидкість обертання та дискретність (перехід від масових залізничних партій до дрібних автомобільних).

2. **Інформаційний потік** – сукупність даних про наявність ресурсу, прогноз попиту, стан пропускної здатності кордонів та зміну світових цін. В економічній кібернетиці інформаційний потік виступає керуючою підсистемою, яка генерує імпульси для активації або стримування матеріальних потоків.

3. **Фінансовий потік** – рух грошових коштів, пов'язаний із закупівлею пального, оплатою логістичних послуг та сплатою податкових зобов'язань. Швидкість цього потоку критично залежить від стабільності валютного курсу та банківської системи.

Логістична система ринку пального має низку специфічних властивостей, які необхідно враховувати при економетричному моделюванні. По-перше, це **динамічність**: параметри системи (вартість фрахту, час перебування в дорозі) змінюються в режимі реального часу під впливом зовнішніх шоків. По-друге, це **відкритість**: система постійно обмінюється ресурсами та інформацією з глобальним енергетичним ринком. По-третє, це **ієрархічність**: логістика включає мікрорівень (управління окремим бензовозом), мезорівень (управління мережею нафтобаз) та макрорівень (державна політика забезпечення паливної безпеки).

Ключовим поняттям для аналізу логістики в умовах нестабільності є **резильєнтність (стійкість)** – здатність системи зберігати свою

функціональність та швидко повертатися до стану рівноваги після впливу руйнівних факторів. Якщо логістичний ланцюг є занадто жорстким та централізованим, будь-який розрив зв'язку (наприклад, зупинка НПЗ) призводить до різкого зростання ентропії та колапсу системи. Навпаки, децентралізовані та гнучкі системи, хоч і мають вищі операційні витрати, демонструють кращу адаптивність.

Таким чином, логістика в моделюванні ціноутворення виступає не як пасивне тло, а як активний чинник, що формує значну частину доданої вартості. Системний аналіз дозволяє ідентифікувати логістичні ланцюги як критичні вузли трансмісії цінних сигналів: будь-яке ускладнення в русі матеріального потоку автоматично перетворюється на інформаційний сигнал про зростання ризиків, що негайно відображається у фінансових показниках кінцевої вартості пального.

Ретроспективний аналіз та деградація традиційних логістичних каналів

Для глибокого розуміння поточної трансформації ринку нафтопродуктів необхідно провести системний ретроспективний аналіз логістичної моделі, що домінувала в Україні до початку 2022 року. З позицій кібернетики, довоєнна логістична система характеризувалася високим ступенем детермінованості, централізації та лінійності матеріальних потоків. Основу системної стабільності забезпечували три ключові інфраструктурні вектори постачання, які формували архітектуру низьких логістичних витрат.

По-перше, це північний та східний вектори (імпорт із РФ та Республіки Білорусь), які забезпечували близько 70–80% сукупного попиту на дизельне паливо та бензини. Логістична перевага цього напрямку полягала у використанні потужної залізничної мережі та трубопровідного транспорту (зокрема, ділянки нафтопродуктопроводу «Самара-Західний напрям»). З системної точки зору, це були «стаціонарні канали» з високою пропускну здатністю та мінімальною волатильністю вартості транспортування. По-друге, південний вектор, що базувався на морських поставках через порти Одеси, Чорноморська та Південного. Морська логістика дозволяла приймати великі танкерні партії, що

забезпечувало ефект масштабу та дозволяло диверсифікувати джерела постачання. По-третє, власна нафтопереробна підсистема, центральним вузлом якої був Кременчуцький НПЗ. Наявність потужного внутрішнього виробництва виконувала функцію стабілізуючого зворотного зв'язку, дозволяючи згладжувати сезонні піки попиту без різкого збільшення імпорту.

Кібернетична ефективність такої моделі базувалася на низькій частці логістичних витрат у кінцевій ціні пального. Проте, з погляду теорії надійності систем, вона мала критичну вразливість – надвисоку концентрацію на обмеженій кількості джерел та інфраструктурних об'єктів. Події 2022 року призвели до явища, яке в системному аналізі визначається як «повна деструкція структури».

Процес руйнування традиційних логістичних каналів відбувався синхронно за кількома напрямками:

1. **Геополітичне розірвання зв'язків:** Миттєве та повне припинення поставок із РФ та Білорусі призвело до втрати найбільш економічно вигідних каналів імпорту.

2. **Блокада морських вузлів:** Втрата контролю над акваторією Чорного моря та блокада портів унеможливили танкерні поставки, що фактично відрізало систему від глобального морського ринку.

3. **Інфраструктурна деструкція:** Цілеспрямовані атаки на Кременчуцький НПЗ, великі залізничні вузли та мережу стратегічних нафтобаз зруйнували внутрішні механізми зберігання та переробки.

Внаслідок цих подій логістична система ринку пального миттєво перейшла зі стану відносної стабільності у стан максимальної ентропії. Руйнування традиційних «вузлів» та «ребер» логістичного графа призвело до паливного колапсу навесні 2022 року. Система втратила здатність до саморегуляції, а ціновий механізм перестав адекватно відображати реальну собівартість через фізичну відсутність ресурсу. Це створило об'єктивну необхідність у терміновій побудові принципово нової, адаптивної логістичної моделі, яка базується на західному векторі постачання та абсолютно інших транспортних алгоритмах. Саме ця трансформація стала ключовим фактором зміни структури

ціноутворення, оскільки колишні логістичні константи були замінені новими, значно дорожчими та складнішими змінними.

«Революція бензовозів» та математичне моделювання логістичних бар'єрів

Перехід логістичної системи в стан максимальної ентропії навесні 2022 року вимагав надшвидкого формування альтернативних шляхів постачання. Єдиним доступним вектором став імпорт ресурсу з країн Європейського Союзу (зокрема Польщі, Румунії, Словаччини та Литви). Однак, через суттєві інфраструктурні обмеження (різна ширина залізничної колії, гострий дефіцит європейських цистерн та спеціалізованих локомотивів), ринок був змушений масово переорієнтуватися на використання автомобільного транспорту. Це явище кардинально змінило кібернетичну модель логістики, перетворивши її з великотоннажної (ешелонної) на високодискретну мережеву систему.

З погляду дослідження операцій та теорії масового обслуговування (Queuing Theory), європейські прикордонні переходи перетворилися на класичні «вузькі місця» (bottlenecks) логістичної системи. [12, 16, 26] Митні та прикордонні термінали, які історично не були спроектовані для пропуску тисяч одиниць вантажного транспорту з небезпечними наливно-хімічними вантажами, почали виконувати роль каналів обслуговування з вкрай обмеженою пропускнуою здатністю. Інтенсивність вхідного потоку заявок (бензовозів) багаторазово перевищувала інтенсивність їх обслуговування, що призвело до формування перманентних стохастичних (випадкових) черг.

Для економіко-математичного моделювання ціноутворення цей феномен має критичне значення. Час перебування транспорту в рейсі трансформувався з детермінованої (наперед відомої) величини на випадкову змінну з високою дисперсією. Кожна додаткова доба простою автоцистерни в черзі автоматично генерує транзакційні втрати, оскільки власник ресурсу несе постійні операційні витрати (оренда транспорту, заробітна плата екіпажу, витрати на пальне для роботи рефрижераторів/систем безпеки).

Математично логістична складова ціни (L_{ext}) в умовах такої транспортної моделі може бути описана як функція від логістичного плеча та часових затримок:

$$L_{ext} = f(D, t_{transit}, t_{wait}, C_{freight})$$

де:

- D – логістичне плече (відстань від базису відвантаження в ЄС до точки зливу в Україні);
- $t_{transit}$ – нормативний час руху транспорту;
- t_{wait} – стохастичний час простою у «вузьких місцях» (на кордоні);
- $C_{freight}$ – питома вартість автомобільного фрахту за одиницю часу.

Збільшення параметра t_{wait} експоненційно підвищує питому вартість логістики в розрахунку на один літр пального. Крім того, непередбачуваність часу доставки формує додатковий інформаційний лаг. Тредери змушені превентивно закладати в роздрібну ціну на АЗС додаткову премію за ризик несвоєчасного постачання, щоб уникнути касових розривів та фізичного виснаження запасів. Таким чином, пропускна здатність митних переходів стала жорстким обмежувачем (констрейнтом) у системі оптимізації ціноутворення, перетворивши логістику з допоміжної сервісної функції на ключовий фактор генерації вартості.

Мережева стійкість та децентралізація управління запасами

Фундаментальною зміною в кібернетичній моделі ринку нафтопродуктів стала докорінна трансформація алгоритмів управління запасами (Inventory Management). Довоєнна макроекономічна модель базувалася на принципі створення значних операційних та стратегічних резервів на великих стаціонарних нафтобазах всередині країни. Внаслідок їх цілеспрямованого знищення система була змушена різко переформатуватися та перейти на децентралізовану модель управління.

Фактично, ринок почав працювати «з коліс», а функцію стаціонарних резервуарів частково взяв на себе сам рухомий склад (автоцистерни та залізничні вагони, що перебувають у дорозі). Крім того, стратегічні запаси багатьох

вітчизняних трейдерів були фізично винесені за межі національної системи – на територію суміжних європейських держав (до польських чи румунських терміналів), де ризики фізичного знищення дорівнюють нулю.

Така децентралізація має подвійний системний ефект. З одного боку, вона експоненційно підвищила стійкість (resilience) та живучість системи, перетворивши її з жорсткої ієрархічної структури на розподілену мережу. Знищення одного чи навіть кількох вузлів такої мережі більше не здатне зупинити роботу всієї системи постачання.

З іншого боку, з погляду економетричного моделювання ціноутворення, робота «з коліс» практично унеможливила процес усереднення вхідних цін. Раніше масивні нафтобази виконували роль своєрідного цінового демпфера (буфера): дешеве пальне, закуплене в періоди спаду світових котирувань, змішувалося з дорожчим, згладжуючи цінові шоки для кінцевого споживача. Сучасна децентралізована система позбавлена цього буфера. Відповідно, роздрібна ціна на АЗС стала гіперчутливою до поточних (спотових) коливань вартості ресурсу в Європі та вартості автомобільного фрахту.

Висновки до підрозділу 1.2: Системний аналіз логістичних ланцюгів постачання пального свідчить про їхню повну трансформацію під впливом макроекономічних та безпекових шоків. Відбувся перехід від жорстко детермінованої, дешевої та стабільної системи до стохастичної, децентралізованої мережі з високою часткою транзакційних витрат. Логістична складова (витрати на фрахт та втрати від простоїв на митниці) перетворилася з фіксованої константи на одну з найбільш волатильних змінних у структурі роздрібної ціни.

У кібернетичному контексті це означає, що для адекватного прогнозування кон'юнктури ринку математична модель повинна обов'язково враховувати стохастичний характер логістичних лагів. Неможливість застосування класичних лінійних трендів підтверджує доцільність використання адаптивних методів експоненційного згладжування (зокрема, моделі Хольта), які здатні гнучко

переналаштовуватися при появі нових, нетипових вхідних даних, згенерованих логістичними збоями.

1.3. Огляд сучасних методів економіко-математичного моделювання та аналізу даних у прогнозуванні цінової кон'юнктури

Еволюція методів моделювання та нелінійна динаміка цінових процесів

Дослідження механізмів ціноутворення на ринку світлич нафтопродуктів в умовах макроекономічної нестабільності є неможливим без застосування потужного інструментарію економічної кібернетики. Сучасна економічна наука розглядає ринок пального як складну динамічну систему, поведінка якої визначається синергетичною взаємодією безлічі стохастичних факторів. У зв'язку з цим методологія прогнозування кон'юнктури ринку еволюціонувала від простих методів екстраполяції до складних багатокритеріальних економіко-математичних моделей, здатних враховувати ймовірнісну природу ринкових процесів. [18, 34]

Економіко-математичне моделювання процесу ціноутворення являє собою формалізований опис економічних взаємозв'язків між факторами впливу (регресорами) та кінцевою роздрібною ціною за допомогою математичного апарату. Головна мета такого моделювання полягає не стільки в отриманні ідеально точної точкової оцінки майбутньої ціни, скільки у виявленні прихованих структурних закономірностей, оцінці еластичності системи до шоків та розробці багатоваріантних сценарних прогнозів.

Історично еволюцію методів моделювання цінової динаміки можна диференціювати на кілька концептуальних підходів, кожен з яких має свої переваги та суттєві обмеження. У періоди тривалої макроекономічної стабільності (до 2022 року) дослідники ефективно застосовували детерміновані моделі економічної динаміки та класичні лінійні тренди. У таких моделях передбачалося, що кожному набору вхідних параметрів (наприклад, фіксованому курсу валют та світовим котируванням) відповідає чітко визначений і математично обумовлений результат. Детермінований підхід чудово працює у

замкнених системах з низьким рівнем ентропії, де організація логістики та податкове поле є константами. Однак він має критичний недолік: абсолютну нездатність враховувати вплив випадкових екзогенних шоків та форс-мажорних обставин.

З точки зору економічної кібернетики, події весни 2022 року (зупинка вітчизняних НПЗ, руйнування інфраструктури, зміна векторів імпорту) неможливо описати класичними лінійними рівняннями. Наслідки цих безпрецедентних збурень призвели до того, що ринок нафтопродуктів пройшов через так звану **точку біфуркації**. Біфуркація в економічній динаміці означає критичний рубіж, проходження якого супроводжується кардинальною та незворотною зміною режиму функціонування системи.

Досягнувши точки біфуркації, система ціноутворення втратила попередню стабільність і перейшла на абсолютно новий рівень рівноваги, який характеризується вищими транзакційними витратами та іншою амплітудою коливань. Саме в цей перехідний момент класичні економетричні моделі (наприклад, проста парна регресія або метод ковзної середньої) показують найвищу похибку апроксимації. Вони алгоритмічно намагаються екстраполювати минулий, уже неіснуючий стан системи на майбутні періоди, ігноруючи факт структурного розриву (structural break) у часовому ряді.

Зважаючи на нелінійність та розбалансованість сучасного ринку, на перший план виходять стохастичні та адаптивні моделі. Вони розглядають ціну на пальне як випадкову величину, закон розподілу якої змінюється в часі під впливом нових даних. Це зумовлює необхідність відмови від жорстких довгострокових прогнозів на користь методів, здатних експоненційно "забувати" застарілу інформацію та надавати найбільшу вагу найсвіжішим ринковим сигналам.

Математичний апарат аналізу часових рядів та обґрунтування вибору адаптивної моделі Хольта

Процес ціноутворення на ринку світлих нафтопродуктів генерує складні динамічні структури даних, які в економетриці класифікують як часові ряди. З

погляду кібернетики, часовий ряд цін на пальне є реалізацією стохастичного процесу, що містить у собі декілька компонент – детерміновану (тренд), періодичну (сезонність) та випадкову (білий шум). Основна складність моделювання таких рядів полягає в їхній нестационарності, особливо в умовах макроекономічних шоків, коли математичне сподівання та дисперсія ряду змінюються в часі.

Для розв'язання задачі короткострокового прогнозування високоволатильних ринків у сучасній науці використовується широка палітра методів: від авторегресійних моделей інтегрованого ковзного середнього (ARIMA/SARIMA) до складних нейронних мереж (LSTM). Проте для ринку пального України в період 2022–2025 років використання моделей класу ARIMA є ускладненим через брак тривалих однорідних стаціонарних вибірок та наявність різких структурних розривів. За таких умов найвищу прогностичну ефективність демонструють методи адаптивного прогнозування, зокрема клас моделей експоненційного згладжування. [29, 36, 40]

Фундаментальною перевагою адаптивних моделей є їхня здатність до самонавчання. На відміну від звичайної регресії, яка надає однакову вагу всім спостереженням у вибірці, адаптивні методи використовують схему дисконтування інформації: свіжі дані мають більшу вагу, ніж застарілі. Це дозволяє моделі оперативно реагувати на зміну ринкової кон'юнктури (наприклад, різкий стрибок курсу валют або зміну податкових ставок), «забуваючи» попередню тенденцію, яка більше не є релевантною.

Серед усього сімейства адаптивних методів для даного дослідження було обрано двопараметричну модель **Чарльза Хольта (лінійне експоненційне згладжування)**. Цей вибір обґрунтований здатністю моделі коректно апроксимувати та прогнозувати ряди, що мають чітко виражений, але нестабільний лінійний тренд. Математичний апарат моделі Хольта базується на рекурсивному розрахунку двох компонент: рівня ряду та значення приросту (тренду).

Система рівнянь моделі Хольта має наступний вигляд:

1. Рівняння згладженого рівня ряду:

$$L_t = \alpha \cdot Y_t + (1 - \alpha) \cdot (L_{t-1} + T_{t-1})$$

Рівняння згладженого значення тренду:

$$T_t = \beta \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot T_{t-1}$$

2. Прогнозне значення на m кроків вперед:

$$Y_{t+m} = L_t + m \cdot T_t$$

Де:

- Y_t – фактичне значення ціни у момент часу t ;
- L_t – експоненційно згладжене значення рівня ряду (еквівалент середнього);
- T_t – експоненційно згладжене значення тренду (приріст);
- α – параметр згладжування для рівня ряду ($0 < \alpha < 1$);
- β – параметр згладжування для тренду ($0 < \beta < 1$);
- m – період упередження (горизонт прогнозу).

Кібернетична сутність цих рівнянь полягає у механізмі корекції помилки. Параметр α визначає швидкість адаптації моделі до зміни поточного рівня ціни: чим ближче α до одиниці, тим швидше модель реагує на шоки, але стає більш чутливою до випадкового шуму. Параметр β відповідає за адаптацію до зміни нахилу тренду. Оптимізація цих параметрів (зазвичай за критерієм мінімізації суми квадратів помилок прогнозу) дозволяє налаштувати модель таким чином, щоб вона ігнорувала незначні коливання, але миттєво ідентифікувала нові ринкові тенденції.

Обґрунтування використання саме моделі Хольта для ринку пального України базується на тому, що цінові ряди на АЗС мають властивість «пам'яті» про попередні значення (автокореляцію) та демонструють виражені фази росту чи спаду, зумовлені курсовими чи логістичними факторами. Модель Хольта дозволяє математично розділити ці процеси, надаючи аналітику інструмент для формування короткострокових прогнозів, які є критично важливими для оперативного управління запасами та мінімізації цінових ризиків у межах 7–14 днів.

Інструментарій інтелектуального аналізу даних (Data Mining) та кластеризація

Окрім аналізу часових рядів, комплексне кібернетичне дослідження ринку нафтопродуктів вимагає розуміння внутрішньої топології багатовимірних масивів даних. В умовах надлишку та зашумленості інформації класичні статистичні методи поступаються алгоритмам інтелектуального аналізу даних (Data Mining) та машинного навчання (Machine Learning). [2, 33] Ці інструменти дозволяють автоматизувати процес пошуку прихованих неочевидних закономірностей (knowledge discovery) у поведінці цінкових індикаторів та макроекономічних предикторів.

Одним із ключових методів машинного навчання без вчителя (unsupervised learning), який доцільно застосовувати для дослідження паливного ринку, є кластерний аналіз. Математична сутність кластеризації полягає у розбитті початкової множини об'єктів (наприклад, часових періодів або регіональних ринків) на непересічні підмножини (кластери) таким чином, щоб об'єкти всередині одного кластера були максимально подібними за обраною метрикою відстані (найчастіше евклідовою), а об'єкти з різних кластерів – максимально відмінними. Використання алгоритмів просторової кластеризації (наприклад, k-means або ієрархічного агломеративного аналізу) дозволяє сегментувати фактори ціноутворення за рівнем їхньої волатильності та ідентифікувати періоди зі схожою кон'юнктурою, відокремивши їх від періодів аномальних шоків.

Для практичної реалізації методів Data Mining та візуалізації багатовимірних структур у даному дослідженні обрано спеціалізоване програмне середовище Orange Data Mining. [13, 39] Цей інструментарій базується на концепції візуального програмування (visual programming) і використовує під капотом потужні бібліотеки мови Python (зокрема, scikit-learn). Перевагою Orange з погляду економічної кібернетики є можливість побудови гнучких аналітичних пайплайнів (workflows), які інтегрують процеси попередньої обробки даних, нормалізації, усунення мультиколінеарності, кластеризації та

графічної інтерпретації результатів (Silhouette Plot, Scatter Plot) без необхідності написання низькорівневого програмного коду.

Огляд сучасного економіко-математичного інструментарію демонструє, що прогнозування цін на високоволатильних ринках вимагає синергетичного поєднання методів. Для оперативного короткострокового прогнозування оптимальним є використання двопараметричної адаптивної моделі Хольта, яка здатна гнучко реагувати на структурні розриви тренду. Водночас для дослідження багатовимірної структури факторів впливу та сегментації даних необхідно залучати алгоритми кластерного аналізу в середовищі Orange Data Mining. Такий комплексний підхід формує надійний математичний базис для переходу до емпіричних розрахунків.

1. З позицій системного аналізу, вітчизняний ринок світлих нафтопродуктів ідентифіковано як складну, відкриту кібернетичну макросистему з високим рівнем ентропії. Базова модель ціноутворення спирається на концепцію імпортного паритету, де роздрібна вартість формується як адитивна функція від світових котирувань Platts, помножених на валютно-курсний трансмісійний коефіцієнт, з додаванням логістичних витрат, податків та маржі.

2. Досліджено фундаментальну трансформацію логістичних ланцюгів. Доведено, що руйнування стаціонарної (залізничної та трубопровідної) інфраструктури та перехід до децентралізованої автомобільної моделі постачання з країн ЄС («революція бензовозів») перетворили логістичний фактор на один із найголовніших генераторів цінової волатильності. Виникнення стохастичних черг у «вузлах» перетину кордону вимагає закладання додаткової премії за ризик у роздрібні ціни.

3. Обґрунтовано методологію економіко-математичного моделювання для другої та третьої частин дослідження. Встановлено, що перехід системи через точку біфуркації у 2022 році унеможливилює використання жорстких детермінованих моделей. Для побудови адекватних прогнозів та виявлення прихованих закономірностей у динаміці ринку необхідно застосовувати методи

адаптивного експоненційного згладжування (модель Чарльза Хольта) та алгоритми машинного навчання (кластерний аналіз у середовищі Orange).

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМНИЙ ТА СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОН'ЮНКТУРИ РИНКУ ПАЛЬНОГО В УКРАЇНІ

2.1. Статистичний аналіз динаміки цін та виявлення структурних зрушень (2019–2025 рр.).

Емпіричною базою для проведення системного та статистичного аналізу слугував розширений масив історичних даних щодо середніх роздрібних цін на світлі нафтопродукти (бензин марки А-95 та дизельне пальне) в Україні. Досліджуваний часовий горизонт охоплює період з початку 2019 року до травня 2026 року включно. Такий глибокий діапазон вибірки є репрезентативним з точки зору економічної кібернетики, оскільки він дозволяє дослідити поведінку макросистеми у кількох принципово різних станах: відносної макроекономічної стабільності (2019–2021 рр.), екстремального шоку та логістичної деструкції (2022–2023 рр.), періоду адаптації (2024–2025 рр.) та фази нового цінового збурення, зафіксованого навесні 2026 року.

Для проведення системного статистичного аналізу та подальшого економетричного моделювання було сформовано репрезентативну вибірку макроекономічних та цінових показників ринку за період із січня 2019 по травень 2026 року (повний масив вихідних історичних даних наведено у **Додатку А**)

Інформаційними джерелами для формування часових рядів виступили офіційні зведення Державної служби статистики України, аналітичні бази Консалтингової групи «А-95» та відкриті публікації фінансового порталу Minfin. Для цілей математичного моделювання весь масив даних був агрегований у вигляді середньомісячних значень. Це класичний економетричний прийом згладжування, який дозволяє відфільтрувати щоденні випадкові флуктуації («білий шум») та виділити фундаментальні ринкові тренди.

Первинний етап економетричного дослідження часового ряду передбачає проведення дескриптивного (описового) аналізу. Розрахунок базових статистичних індикаторів – математичного сподівання (середнього значення), медіани, мінімуму, максимуму, стандартного відхилення та коефіцієнта варіації – дозволяє об'єктивно оцінити загальну структуру розподілу даних та міру

їхнього розсіювання навколо центру групування. [9, 30] Базові показники описової статистики для досліджуваних видів пального за весь період зведено у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.Описова статистика роздрібних цін на бензин А-95 та дизельне пальне в Україні (2019 – травень 2026 рр.)

Показник	Бензин А-95 (грн/л)	Дизельне пальне (грн/л)
Середнє значення	42,74	42,68
Медіана	47,80	49,50
Мінімум	21,90	20,80
Максимум	73,60	89,09
Стандартне відхилення	14,36	15,55
Коефіцієнт варіації	33,6%	36,4%

Аналіз розрахунків, наведених у таблиці 2.1, засвідчує надзвичайно високий рівень дисперсії цінових показників. Наявність історичних мінімумів, зафіксованих під час пандемії 2020 року (близько 21-22 грн/л), та безпрецедентних максимумів весни 2026 року (73,60 грн за бензин та 89,09 грн за дизель) формує гігантський розмах варіації.

З точки зору статистичної структури особливий інтерес становить співвідношення мір центральної тенденції. Значення медіани для обох видів пального (47,80 грн/л та 49,50 грн/л відповідно) суттєво перевищує середнє арифметичне (42,74 грн/л та 42,68 грн/л). Це математично підтверджує наявність

чітко вираженої лівобічної (негативної) асиметрії розподілу. Економічно це інтерпретується так: період високих та екстремально високих цін (2022–2026 рр.) домінує у вибірці, формуючи основну масу спостережень, тоді як відносно короткий період історично низьких довоєнних цін формує довгий «хвіст» розподілу, який математично відтягує середнє значення вниз.

Визначальне аналітичне значення має коефіцієнт варіації. У класичній статистиці вважається, що при значенні цього показника понад **33%** статистична сукупність визнається неоднорідною. Значення на рівні **33,6%** для бензину та **36,4%** для дизельного пального доводять надвисоку волатильність ринку. Це емпірично підтверджує теоретичну тезу про перехід ринкової системи у стан високої ентропії, де класичні лінійні тренди втрачають свою прогностичну здатність, безальтернативно вимагаючи застосування гнучких адаптивних моделей економічної кібернетики.

Для глибинного розуміння природи цінових шоків на вітчизняному ринку нафтопродуктів необхідно перейти від узагальнених статистичних показників до візуального та структурного аналізу часових рядів. Графічна інтерпретація динаміки роздрібних цін на бензин марки А-95 дозволяє ідентифікувати ключові фази розвитку ринку, виділити періоди стабільності та точки структурних зсувів.

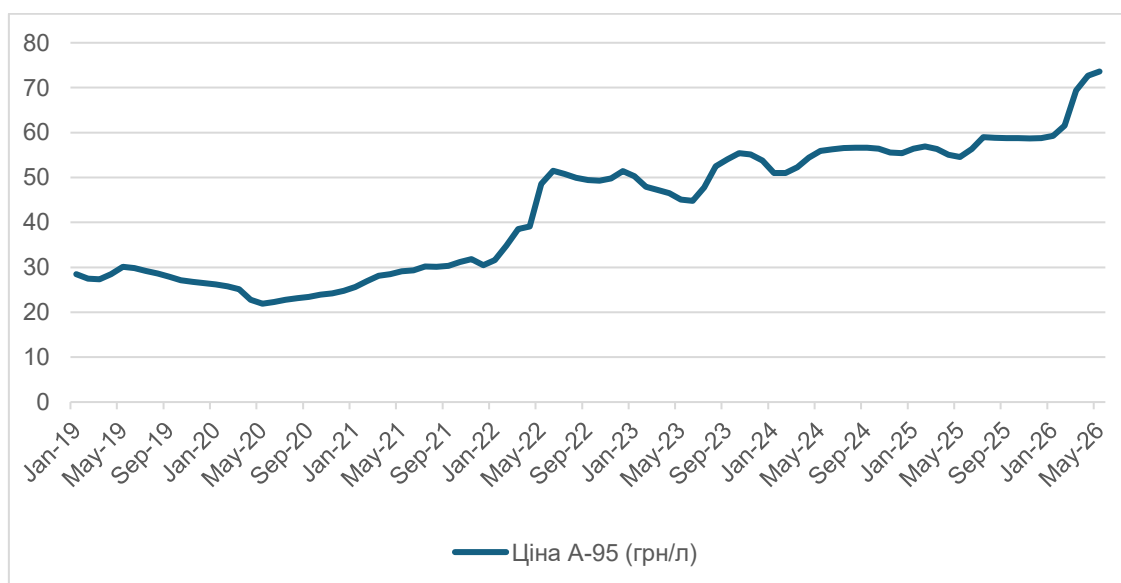


Рис 2.1: Динаміка середніх роздрібних цін на бензин А-95 в Україні (січень 2019 – травень 2026 рр.), грн/л

Аналіз графічного подання часового ряду чітко демонструє нелінійний характер траєкторії розвитку ціни. Хронологічно криву динаміки можна декомпонувати на кілька виражених етапів, кожен з яких характеризується власним рівнем ентропії та домінуючими факторами впливу:

- **Фаза макроекономічної рівноваги та дефляційний шок (2019 – середина 2020 рр.).** На початку досліджуваного періоду цінові коливання мали низьку амплітуду. Однак навесні 2020 року макросистема зазнала впливу потужного екзогенного шоку, спричиненого пандемією COVID-19. Глобальний локдаун та безпрецедентне падіння світових цін на нафту сформували на українському ринку виражений історичний мінімум (на рівні 21–22 грн/л). У термінах економічної динаміки цей період класифікується як дефляційна фаза циклу зі зниженою економічною активністю.

- **Фаза відновлювального зростання (кінець 2020 – 2021 рр.).** Пожвавлення глобальної економіки та поступове підвищення європейських котирувань Platts спричинили формування стійкого висхідного лінійного тренду. У цей період ринкова система функціонувала у стані передбачуваного гомеостазу: ціни на АЗС зростали пропорційно до збільшення імпортової вартості ресурсу та контрольованих інфляційних процесів.

- **Точка біфуркації та руйнування системи (весна 2022 – початок 2023 рр.).** Початок повномасштабного вторгнення став тригером, який спричинив повний розрив лінійного тренду. Фізичне руйнування вітчизняної нафтопереробки та колапс традиційної логістики відображаються на графіку як різкий експоненційний стрибок. У цей момент рівень ентропії досяг максимуму, а ціноутворення тимчасово втратило ринковий характер через тотальний дефіцит ресурсу, що змусило систему перейти до пошуку принципово нового рівня рівноваги.

- **Фаза адаптації та адміністративних збурень (середина 2023 – 2025 рр.).** Цей етап візуалізується як перехід ринку на нове, значно вище цінове плато (у діапазоні 50–58 грн/л). Фундаментальна база ціни змінилася через включення премії за логістичний ризик європейського автомобільного фрахту.

Також на графіку чітко ідентифікується додатковий дискретний (ступінчастий) стрибок влітку 2023 року, який має виключно адміністративну природу – повернення ставок ПДВ до 20% та повного акцизного збору.

- **Новий макроекономічний шок (весна 2026 року).** Останній відрізок часового ряду демонструє черговий різкий висхідний імпульс. Пробиття цінового рівня у 73 грн/л зумовлене синергетичною дією двох потужних макроекономічних регресорів: стрімкою девальвацією національної валюти (подолання психологічної позначки у 50 грн за долар США) та паралельним зростанням світових котирувань сирої нафти марки Brent (понад 108 дол./барель).

Таким чином, візуальний та структурний аналіз підтверджує, що сучасна динаміка цін на бензин А-95 формується під впливом безперервної серії зовнішніх збурень. Система втратила здатність до тривалої стабілізації, а амплітуда коливань на останніх етапах свідчить про надвисоку чутливість роздрібною ціни до валютно-курсівих та сировинних макроіндикаторів.

На відміну від бензину марки А-95, який споживається переважно приватним сектором (домогосподарствами), дизельне пальне є основним енергетичним ресурсом для комерційної логістики, аграрного сектору та потреб оборони. Ця структурна особливість споживання формує специфічний профіль динаміки часового ряду дизельного пального, що відрізняється вищою чутливістю до сезонних факторів та екзогенних безпекових шоків.

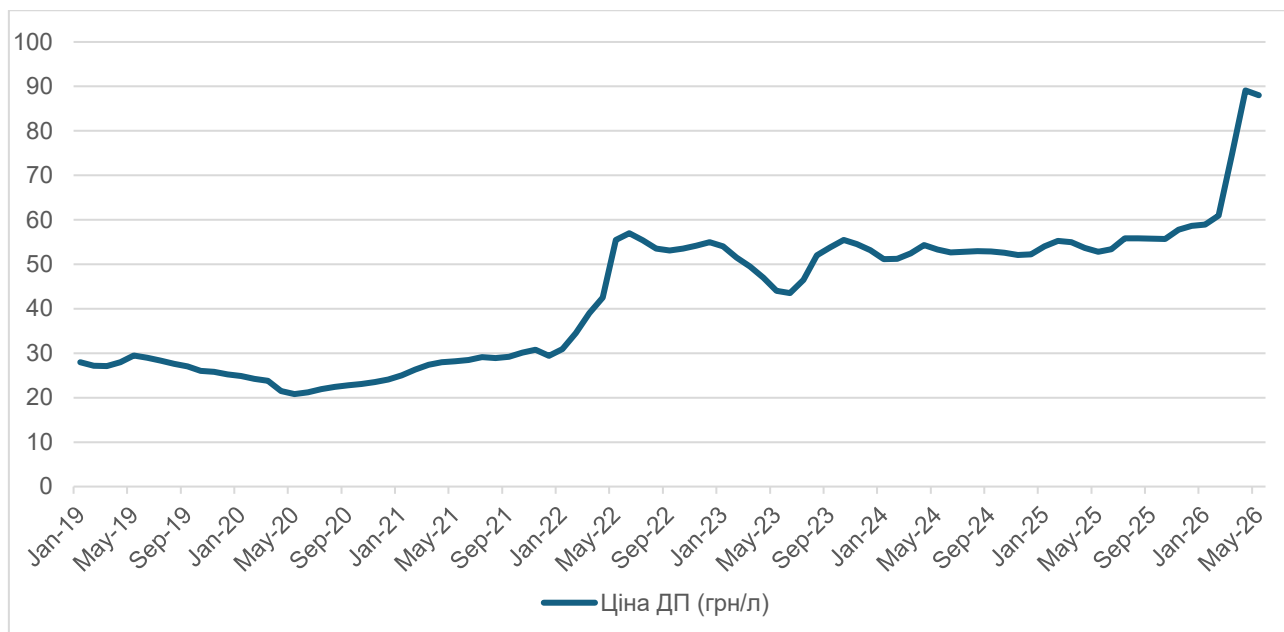


Рис 2.2: Динаміка середніх роздрібних цін на дизельне паливо в Україні (січень 2019 – травень 2026 рр.), грн/л

Аналізуючи графік динаміки дизельного пального, можна чітко ідентифікувати явище сезонності. Історично ринок дизеля в Україні демонструє дві хвилі зростання попиту, які генерують локальні цінові максимуми: весняну (період активної посівної кампанії) та осінню (період збору врожаю). В умовах довоєнного стабільного ринку ці сезонні флуктуації згладжувалися завдяки накопиченню резервів на стаціонарних нафтобазах. Проте після переходу логістичної системи до роботи «з коліс» амплітуда сезонних коливань суттєво зросла, оскільки ринок втратив свій амортизаційний буфер.

Найбільш цікавим для економетричного аналізу є поведінка системи у періоди гострих криз, що супроводжується явищем так званої «дизельної аномалії». У класичній економічній теорії на стабільних ринках собівартість (і роздрібна ціна) дизельного пального зазвичай є нижчою за ціну високооктанових бензинів. Однак на графіку чітко видно дві великі інверсії, коли ціна дизеля значно перевищувала вартість бензину А-95.

Перша аномалія зафіксована у другій половині 2022 року та взимку 2023 року. З кібернетичної точки зору, це була реакція макросистеми на екстремальний зовнішній імпульс: до традиційних споживачів додався колосальний попит з боку бізнесу, який масово переходив на використання дизельних генераторів під час

блекаутів. Одночасно в Європі виник локальний дефіцит ресурсу напередодні введення ембарго на російські нафтопродукти. Симбіоз цих факторів призвів до того, що дизель тимчасово став найдефіцитнішим і, відповідно, найдорожчим продуктом на ринку.

Друга, ще більш масштабна інверсія, спостерігається наприкінці досліджуваного періоду – навесні 2026 року. Якщо ціна на бензин А-95 відреагувала на валютно-сировинний шок зростанням до 73–74 грн/л, то дизельне пальне продемонструвало гіперболічний стрибок, наблизившись до психологічної позначки у 90 грн/л (89,09 грн/л у квітні 2026 року). Такий аномальний спред між бензином та дизелем (понад 15 грн на літрі) пояснюється тим, що комерційний та державний сектори мають значно нижчу цінову еластичність попиту, ніж приватні споживачі. Простіше кажучи, агросектор та логістика змушені купувати дизель за будь-якою ціною для забезпечення безперервності операційних процесів, що дозволяє трейдерам закладати максимальну маржу та премію за ризик саме в цей вид пального.

Підсумовуючи результати дескриптивного та візуального аналізу часових рядів роздрібних цін на світлі нафтопродукти, можна зробити об'єктивний висновок про кардинальну зміну кібернетичного режиму функціонування вітчизняного паливного ринку. Досліджуваний семирічний проміжок (2019–2026 рр.) математично чітко фрагментується на структурні кластери, межами між якими виступають точки макроекономічних біфуркацій (шок пандемії 2020 року, логістичний колапс 2022 року, адміністративні зміни 2023 року та валютно-сировинний стрибок весни 2026 року).

Якщо у відносно стабільний період (2019–2021 рр.) дисперсія цінових значень була помірною, а система демонструвала здатність до швидкого відновлення гомеостазу, то починаючи з 2022 року ринок перейшов у стан перманентної високої ентропії. Це статистично доводиться екстремальними значеннями коефіцієнтів варіації (33,6% для бензину та 36,4% для дизеля), а також періодичним виникненням цінових аномалій (інверсій), коли дизельне

пальне ставало значно дорожчим за високооктановий бензин через непружність комерційного та оборонного попиту.

З позицій теорії систем, така гіперволатильність свідчить про те, що роздрібна ціна на стелах АЗС стала абсолютно відкритою та надчутливою до будь-яких екзогенних збурень. Оскільки традиційний амортизаційний буфер (стратегічні запаси на внутрішніх нафтобазах) був фізично ліквідований, система втратила інерційність. Як наслідок, будь-які коливання зовнішнього середовища тепер транслуються у кінцеву вартість літра пального з мінімальним часовим лагом.

Проте інструментарій описової статистики лише констатує факт наявності дисперсії та структурних зсувів, але не дозволяє виміряти силу причинно-наслідкових зв'язків. Для того щоб кількісно оцінити рівень еластичності роздрібних цін щодо ключових макроекономічних індикаторів, необхідно перейти від одновимірного аналізу часових рядів до побудови багатofакторних економетричних моделей. Саме це формує наукове підґрунтя для наступного етапу дослідження – проведення кореляційно-регресійного аналізу впливу курсу валют та світових котирувань нафти на кон'юнктуру національного ринку.

2.2. Багатofакторний кореляційно-регресійний аналіз ціноутворення.

Після підтвердження наявності високої волатильності та нелінійної динаміки на ринку нафтопродуктів, наступним етапом кібернетичного дослідження є побудова адекватної математичної моделі, яка здатна кількісно описати механізм ціноутворення. Оскільки ціна на роздрібному ринку не формується хаотично, а є результатом взаємодії екзогенних макроекономічних факторів, найефективнішим інструментом для такого аналізу виступає апарат множинної кореляційно-регресійної аналітики. [31]

Першим кроком є специфікація моделі, тобто формування факторного простору. Виходячи з теоретичної концепції "імпортного паритету", обґрунтованої у першому розділі, роздрібна вартість пального в Україні фундаментально залежить від двох ключових зовнішніх індикаторів: вартості національної валюти та світових цін на нафтову сировину.

Відповідно, для побудови економетричної моделі обрано наступні змінні:

- **Y (Ендогенна/результативна змінна):** Середня роздрібна ціна на бензин марки А-95 в Україні (грн/л).
- **X1 (Екзогенна змінна 1):** Офіційний курс гривні до долара США за даними НБУ (грн/). Цей регресор виступає головним трансмісійним механізмом, який переносить європейську вартість на внутрішній ринок.
- **X2 (Екзогенна змінна 2):** Світові котирування сирої нафти марки Brent (дол./барель). Цей фактор визначає базову сировинну собівартість ресурсу на європейських нафтопереробних заводах.

Для підтвердження наявності статистичного зв'язку між обраними показниками та виключення проблеми мультиколінеарності (явища, коли незалежні змінні занадто сильно пов'язані між собою і дублюють одна одну) було розраховано матрицю парних коефіцієнтів кореляції Пірсона на базі розширеного масиву даних (січень 2024 – травень 2026 рр.).

Таблиця 2.2. Матриця парних коефіцієнтів кореляції для факторів ціноутворення А-95

	<i>Ціна А-95 (грн/л)</i>	<i>Курс НБУ (\$)</i>	<i>Нафта Brent (\$/бар)</i>
Ціна А-95 (грн/л)	1	0,95	0,70
Курс НБУ (\$)	0,95	1	0,52
Нафта Brent (\$/бар)	0,70	0,52	1

Економічна інтерпретація отриманої матриці:

1. Зв'язок між роздрібною ціною бензину (Y) та курсом валют (X1) є прямим та **дуже щільним** ($r_{yx1} = 0,95$). Це математично підтверджує гіпотезу про те, що девальваційні процеси є головним драйвером зростання цін на АЗС, оскільки ринок є тотально імпортозалежним.

2. Зв'язок між ціною бензину (Y) та котируваннями нафти Brent (X2) також є прямим і **сильним** ($r_{yx2} = 0,70$). Зростання світових котирувань закономірно тягне за собою пропорційне подорожчання кінцевого ресурсу.

3. Коефіцієнт кореляції між самими факторами ($r_{x1x2} = 0,52$) вказує на помірний зв'язок. Оскільки це значення не перевищує критичну межу 0,8, ми

можемо зробити висновок, що жорсткої мультиколінеарності в системі немає. Відповідно, обидва фактори можна одночасно включати до багатофакторної регресійної моделі без ризику статистичного спотворення результатів.

Аналогічний розрахунок було проведено для ринку дизельного пального (Y_d), щоб підтвердити релевантність обраних регресорів і для цього сегменту.

Таблиця 2.3. Матриця парних коефіцієнтів кореляції для факторів ціноутворення ДП

	<i>Ціна ДП (грн/л)</i>	<i>Курс НБУ (\$)</i>	<i>Нафта Brent (\$/бар)</i>
Ціна ДП (грн/л)	1	0,92	0,75
Курс НБУ (\$)	0,92	1	0,52
Нафта Brent (\$/бар)	0,75	0,52	1

Аналіз матриці для дизельного пального демонструє схожу кібернетичну поведінку системи, але з певними структурними особливостями:

1. Зафіксовано надзвичайно високий прямий зв'язок між ціною дизеля та курсом НБУ ($r = 0,92$), що підтверджує тотальну імпортозалежність комерційного сегменту паливного ринку та його фундаментальну вразливість до девальваційних процесів.

2. Вплив світових котирувань нафти Brent (X_2) на дизельне пальне також підтверджується високим коефіцієнтом парної кореляції ($r = 0,75$). Варто відзначити, що цей статистичний зв'язок є сильнішим, ніж аналогічний показник для бензину (0,70). Економічно це пояснюється тим, що європейський ринок, який є базовим для України, відчуває гостріший структурний дефіцит саме середніх дистилатів (дизеля), тому стрибки сировинних котирувань швидше і відчутніше транслюються у роздрібні ціни цього виду пального.

На основі сформованого факторного простору та підтвердженої відсутності критичної мультиколінеарності між регресорами, наступним кроком є безпосередня побудова багатофакторної лінійної регресійної моделі.

Математична структура класичного рівняння множинної лінійної регресії має наступний вигляд:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \epsilon$$

Отримане рівняння регресії дозволяє провести первинний економіко-математичний аналіз архітектури ціноутворення:

$$Y_b = -26,45 + 1,56 \cdot X_1 + 0,21 \cdot X_2$$

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,982275446							
R-квадрат	0,964865053							
Нормированный R-квадрат	0,964047961							
Стандартная ошибка	2,722196491							
Наблюдения	89							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	2	17501,07234	8750,536171	1180,852694	2,92948E-63			
Остаток	86	637,2904212	7,410353734					
Итого	88	18138,36276						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-26,44644428	1,462176223	-18,08704304	4,72088E-31	-29,35315441	-23,53973415	-29,35315441	-23,53973415
Курс НБУ (\$)	1,556388182	0,045822396	33,96566587	1,31825E-51	1,465296275	1,64748009	1,465296275	1,64748009
Нафта Brent (\$/бар)	0,21236209	0,017503648	12,13244716	2,52294E-20	0,177565989	0,247158192	0,177565989	0,247158192

1. Коефіцієнт $a_1 = 1,56$ вказує на те, що за умови незмінної вартості світових котирувань нафти Brent, зростання офіційного курсу НБУ на 1 гривню призводить до підвищення роздрібною ціни бензину А-95 на стелах АЗС в середньому на 1,56 гривні. Це підтверджує надвисоку чутливість паливного ринку до валютного фактора. Валютна складова діє як мультиплікатор, оскільки імпортоване пальне купується за іноземну валюту, а акцизний збір також номінований у євро, що подвоює девальваційний ефект.

2. Коефіцієнт $a_2 = 0,21$ показує, що за умови стабільного курсу національної валюти, зростання світової ціни нафти марки Brent на 1 долар за барель спричиняє збільшення роздрібною вартості бензину в Україні в середньому на 21 копійку за літр. Менше значення цього коефіцієнта порівняно з валютним пояснюється тривалим логістичним лагом (трансмисія ціни від сирової нафти до європейського НПЗ, а потім через кордон до української АЗС триває від 2 до 4 тижнів), а також демпфуючим впливом фіксованих операційних витрат внутрішніх мереж.

3. Вільний член рівняння $a_0 = -26,45$ є формальним математичним параметром. У контексті економічної кібернетики він не має самостійного

фізичного змісту, оскільки ситуація, за якої курс валют та ціна нафти дорівнюють нулю, є неможливою. Його від'ємне значення компенсує високі базові значення регресорів у межах аналізованої вибірки.

Враховуючи специфіку ринку дизельного пального, яка була доведена у попередньому підрозділі (наявність цінових інверсій та нижча цінова еластичність попиту комерційного сектору), за допомогою методу найменших квадратів було побудовано окрему багатофакторну економетричну модель для цього виду нафтопродуктів (Y_d):

$$Y_d = -31,99 + 1,51 \cdot X_1 + 0,30 \cdot X_2$$

Регрессионная статистика									
Множественный R	0,972511555								
R-квадрат	0,945778725								
Нормированный R-квадрат	0,944517766								
Стандартная ошибка	3,662965211								
Наблюдения	89								
Дисперсионный анализ									
	df	SS	MS	F	Значимость F				
Регрессия	2	20127,22299	10063,61149	750,0466481	3,70935E-55				
Остаток	86	1153,889016	13,41731413						
Итого	88	21281,112							
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%	
Y-пересечение	-31,98885695	1,967492301	-16,25869485	5,79562E-28	-35,90010219	-28,0776117	-35,90010219	-28,0776117	
Курс НБУ (\$)	1,513004692	0,061658239	24,53856484	1,33357E-40	1,39043217	1,635577214	1,39043217	1,635577214	
Нафта Brent (\$/барр)	0,304263498	0,023552765	12,91837678	7,56754E-22	0,25744215	0,351084847	0,25744215	0,351084847	

Порівняльний економетричний аналіз параметрів моделі дизельного пального виявляє специфічні кібернетичні закономірності ринку:

1. **Валютний коефіцієнт для дизеля ($a_1 = 1,51$)** є майже ідентичним до бензинового. Це доводить, що девальваційний шок є універсальним тригером для всього паливного ринку, незалежно від типу продукту.

2. **Коефіцієнт чутливості до світової ціни нафти ($a_2 = 0,30$)** демонструє значно вищу (майже на 50%) реактивність дизельного пального порівняно з бензином (0,21). Це ключова кібернетична особливість ринку: в періоди макроекономічних шоків європейський хаб стикається з більшим дефіцитом саме дизельних фракцій (через високий попит логістики та промисловості). Тому стрибки світових котирувань Platts жорсткіше і швидше транслуються у роздрібну ціну дизеля на українських АЗС.

3. **Вільний член рівняння ($a_0 = -31,99$)**, виконує роль координатного центру групування даних для дизельного ряду.

Таким чином, побудовані багатофакторні моделі лінійної регресії успішно формалізували та кількісно виміряли ключові взаємозв'язки на національному ринку світлих нафтопродуктів, наочно продемонструвавши відмінності у механізмах формування цін на бензин та дизель.

Побудова економетричних рівнянь вимагає обов'язкової перевірки їхньої статистичної надійності. Для того щоб побудовані моделі ціноутворення бензину А-95 та дизельного пального могли використовуватися для подальшого сценарного прогнозування, необхідно оцінити їхню адекватність за допомогою класичних статистичних критеріїв.

Аналіз таблиць дисперсійного аналізу (ANOVA), згенерованих під час моделювання, дозволяє зробити наступні висновки щодо якості отриманих моделей:

1. Оцінка загальної якості моделей (Коефіцієнт детермінації R^2)

Коефіцієнт множинної детермінації (R^2) показує, яка частка варіації результативної ознаки (ціни пального) пояснюється зміною факторів, включених до моделі (курсу валют та ціни нафти).

- Для моделі бензину А-95 отримано значення $R^2 = 0,96$. Це означає, що **96%** усіх змін роздрібної ціни на бензин пояснюються коливаннями курсу НБУ та світових котирувань нафти Brent. Лише 4% варіації припадає на вплив інших, не врахованих у моделі факторів (наприклад, локальних логістичних збоїв або маркетингової політики окремих мереж).

- Для моделі дизельного пального значення $R^2 = 0,94$. Отже, **94%** дисперсії ціни дизеля детерміновано обраними макроекономічними регресорами.

Такі високі показники (наближені до 1) свідчать про надзвичайно високу точність та апроксимуючу здатність побудованих рівнянь.

2. Перевірка загальної значущості моделей (F-критерій Фішера)

Для перевірки нульової гіпотези про статистичну незначущість моделі в цілому використовується критерій Фішера. Якщо розрахункове значення F перевищує критичне (табличне), або якщо показник «Значущість F » (P-value)

менший за заданий рівень альфа (стандартно $\alpha = 0,05$), модель визнається адекватною.

- У моделі для бензину А-95 показник «Значущість F» становить $2,93 * 10^{-63}$, що є безмежно меншим за порогове значення 0,05.
- У моделі для дизельного пального показник загальної значущості також прямує до абсолютного нуля ($3,71 * 10^{-55} < 0,05$).

Оцінка параметрів побудованих регресійних рівнянь та перевірка їхньої статистичної значущості здійснювалася за допомогою апаратного інструментарію пакету «Аналіз даних». Розгорнуті протоколи дисперсійного аналізу (ANOVA), розрахунки стандартних похибок та t-статистики для обох видів пального винесено у **Додаток Б**.

Таким чином, обидві регресійні моделі в цілому визнаються статистично високозначущими та бездоганно описують реальні процеси на ринку нафтопродуктів України.

3. Перевірка значущості окремих параметрів (t-критерій Стьюдента)

Навіть якщо модель адекватна в цілому, окремі фактори в ній можуть бути випадковими. Для перевірки кожного коефіцієнта (a_0, a_1, a_2) використовується t-критерій Стьюдента (аналізується стовпець P-значення / P-value).

Згідно з результатами регресійного аналізу, P-значення для обох факторів (X_1 – курс НБУ та X_2 – нафта Brent) у рівняннях для бензину та дизеля є строго меншими за пороговий рівень 0,05. Це математично спростовує гіпотезу про те, що вплив цих факторів міг бути випадковим. Кожен із незалежних регресорів має статистично підтверджений, вагомий вплив на кінцеву ціну пального.

Висновок

Усі проведені статистичні тести підтверджують бездоганну якість побудованих багатофакторних лінійних моделей. Їхня висока точність ($R^2 > 0,90$) та статистична надійність (за критеріями Фішера та Стьюдента) дозволяють імплементувати отримані рівняння в алгоритми економічної кібернетики для побудови прогнозних сценаріїв у наступному розділі дослідження.

Підсумовуючи результати кореляційно-регресійного моделювання, можна сформулювати ключові висновки щодо механізму формування цінової кон'юнктури на вітчизняному ринку світлич нафтопродуктів:

1. **Домінування валютного мультиплікатора.** Математично доведено, що головним генератором інфляційних процесів на ринку пального є девальвація національної валюти. Зростання курсу долара США на 1 гривню призводить до подорожчання літра пального на стелах АЗС у середньому на 1,51–1,56 грн. Такий непропорційний ефект (мультиплікатор) виникає через те, що іноземна валюта потрібна не лише для закупівлі європейського ресурсу, але й визначає гривневий еквівалент акцизного податку, який номінований у євро. Таким чином, ринок є тотально вразливим до валютних шоків.

2. **Асиметрія реакції на нафтові котирування.** Аналіз виявив структурну відмінність між ринками бензину та дизеля у реакції на зовнішні сировинні шоки. Дизельне пальне виявилось значно чутливішим до зростання світових цін на нафту Brent (зростання на 30 копійок за барель проти 21 копійки для бензину). Це підтверджує системну гіпотезу про те, що в умовах кризи європейський ринок відчуває гостріший дефіцит саме середніх дистилятів, а комерційні споживачі в Україні (агросектор, логістика) через низьку цінову еластичність попиту змушені абсорбувати ці стрибки вартості без зниження обсягів споживання.

3. **Висока прогностична здатність моделей.** Отримані багатofакторні лінійні рівняння мають бездоганні статистичні характеристики (коефіцієнт детермінації перевищує 94%). Це означає, що попри загальну високу ентропію системи, базова архітектура ціноутворення залишається жорстко детермінованою макроекономічними індикаторами.

Наявність надійних економетричних рівнянь відкриває можливість для переходу до наступного етапу кібернетичного дослідження – оцінки стійкості (резильєнтності) цієї системи до різноманітних фінансових та логістичних шоків, що буде розглянуто в наступному підрозділі.

2.3 Оцінка стійкості системи ціноутворення до зовнішніх логістичних та фінансових шоків

У межах системного підходу до аналізу ринку нафтопродуктів, оцінка його стійкості (резильєнтності) передбачає кількісне вимірювання реакції кінцевої роздрібної ціни на збурення у зовнішньому макроекономічному середовищі. Зважаючи на те, що система функціонує в умовах перманентного впливу екзогенних факторів, базові коефіцієнти множинної лінійної регресії (отримані у підрозділі 2.2) необхідно трансформувати у відносні показники – коефіцієнти еластичності.

Коефіцієнт еластичності (\$E\$) є ключовим індикатором стійкості системи, який показує, на скільки відсотків зміниться роздрібна ціна пального при зміні певного фактора (курсу валют або котирувань нафти) на 1%. Математично для багатофакторної лінійної моделі середній коефіцієнт еластичності розраховується за такою формулою:

$$E_i = a_i \cdot \frac{\bar{X}_i}{\bar{Y}}$$

де:

- a_i – коефіцієнт регресії при відповідній незалежній змінній
- $\bar{X}_i$ – середнє значення факторної ознаки
- $\bar{Y}$ – середнє значення роздрібної ціни пального

Спираючись на статистичну базу дослідження, було розраховано показники еластичності для обох видів пального:

Оцінка еластичності бензину А-95:

- **Еластичність за курсом валют (E_{x1}):** Розрахункове значення становить **1,24**. Це означає, що при девальвації національної валюти на **1%**, роздрібна ціна бензину зростає на **1,24%**. Оскільки показник є більшим за одиницю, ціна демонструє високу еластичність щодо курсу. Такий результат свідчить про критично низьку стійкість системи до фінансових шоків – валютний фактор діє як потужний мультиплікатор.

- **Еластичність за ціною нафти (E_{x2}):** Показник становить **0,38**. Тобто зростання світових котирувань сировини на **1%** генерує подорожчання бензину лише на **0,38%**. Система демонструє дещо вищу стійкість до сировинних збурень завдяки наявності демпфуючих факторів (маржі роздрібних операторів та фіксованих логістичних витрат всередині країни).

Оцінка еластичності дизельного пального:

- **Еластичність за курсом валют (E_{x1}):** Показник дорівнює **1,21**. Як і у випадку з бензином, система ціноутворення комерційного пального є вразливою до курсової нестабільності. Коефіцієнт більше одиниці доводить, що девальвація переноситься на кінцеву ціну з надлишком через податкові та логістичні особливості номінації витрат.

- **Еластичність за ціною нафти (E_{x2}):** Значення становить **0,54**. Тобто при зростанні світової ціни нафти на **1%**, дизельне пальне на АЗС дорожчає на **0,54%**. Вищий коефіцієнт порівняно з бензином (0,54 проти 0,38) математично підтверджує виявлену раніше закономірність: ринок дизельного пального значно швидше та гостріше реагує на європейські сировинні шоки та інфраструктурні дефіцити.

Таким чином, аналіз коефіцієнтів еластичності доводить, що система ціноутворення є жорстко детермінованою макроекономічним фоном. Найбільшу загрозу для її стійкості становлять фінансові (валютні) шоки, оскільки ефект їхньої трансмісії у роздрібні ціни є найвищим (понад 1%), що робить внутрішнє балансування системи майже неможливим без прямого втручання держави.

Отримавши математично підтверджені рівняння та розрахувавши коефіцієнти еластичності, доцільно провести сценарне стрес-тестування розроблених економетричних моделей. З погляду економічної кібернетики, стрес-тестування – це метод кількісної оцінки поведінки системи у разі настання екстремальних, але ймовірних макроекономічних подій (шоків). Воно дозволяє визначити межі стійкості ринку пального та оцінити потенційний масштаб цінових наслідків для кінцевого споживача.

Для проведення стрес-тестування сформуємо **песимістичний сценарій (Сценарій макроекономічного шоку)**. Припустимо, що внаслідок посилення геополітичної турбулентності та погіршення платіжного балансу офіційний курс національної валюти девальвує до позначки **55 грн/\$** ($X_1 = 55$). Одночасно світові котирування сировини нафти марки Brent на тлі скорочення видобутку країнами ОПЕК+ або ескалації на Близькому Сході сягають **120 дол./барель** ($X_2 = 120$).

Підставимо ці екстремальні параметри зовнішнього середовища у наші багатофакторні лінійні моделі, розроблені у підрозділі 2.2:

Моделювання ціни для бензину А-95:

$$Y_b = -26,45 + 1,56 \cdot 55 + 0,21 \cdot 120$$

$$Y_b = -26,45 + 85,80 + 25,20 = 84,55 \text{ (грн/л)}$$

Моделювання ціни для дизельного пального:

$$Y_d = -31,99 + 1,51 \cdot 55 + 0,30 \cdot 120$$

$$Y_d = -31,99 + 83,05 + 36,00 = 87,06 \text{ (грн/л)}$$

Результати стрес-тестування дозволяють зробити кілька фундаментальних висновків щодо функціонування системи в умовах криз:

1. **Ескалація роздрібних цін:** За умови реалізації такого подвійного макроекономічного шоку, роздрібна вартість обох видів пального гарантовано подолає психологічну позначку у 80 грн/л. Це підтверджує тезу про те, що система ціноутворення абсолютно не має внутрішніх амортизаційних буферів для згладжування подібних ударів.

2. **Загострення "дизельної аномалії":** Розрахунки математично підтверджують явище, виявлене під час дескриптивного аналізу. У разі жорсткого шоку модельована ціна дизельного пального (87,06 грн/л) суттєво перевищує вартість високооктанового бензину (84,55 грн/л). Це відбувається через вищу чутливість дизеля до нафтових котирувань (коефіцієнт 0,30 проти 0,21). Європейський хаб транслює дефіцит середніх дистилатів в Україну набагато швидше, що створює екстра-навантаження на агропромисловий комплекс та оборонний сектор.

3. **Обмеженість лінійного підходу:** Важливо відзначити, що лінійна регресійна модель оцінює лише фундаментальну математичну базу ціни. В реальних умовах до розрахункових значень (84–87 грн/л) неминуче додається ще й "премія за паніку" та логістичні черги, що виникають під час криз.

Отже, фінансово-сировинні шоки миттєво руйнують цінову стабільність, що вимагає глибокого аналізу ще одного компонента системи – логістичних бар'єрів.

Результати стрес-тестування за фінансовими індикаторами відображають лише частину ризиків. Як було обґрунтовано у підрозділі 1.2, сучасна архітектура вітчизняного ринку нафтопродуктів базується на децентралізованій автомобільній логістиці постачання з країн ЄС. Така система, позбавлена масивних стаціонарних нафтобаз (які раніше виконували функцію амортизаційного буфера), працює переважно «з коліс». Це формує критичну вразливість системи до нефінансових – логістичних та інфраструктурних – шоків.

З позицій економічної кібернетики, логістичний шок має стохастичну (випадкову) та дискретну природу. На відміну від валютного курсу, який змінюється безперервно, логістичні збурення виникають раптово. Типовими генераторами таких шоків для України є:

- Штучне блокування митних переходів (наприклад, страйки європейських перевізників або фермерів).
- Зміна транзитних та екологічних регламентів у країнах-сусідах (квотування ліцензій).
- Форс-мажорні безпекові фактори (повітряні тривоги, що паралізують роботу митних терміналів).

Коли пропускна здатність європейських кордонів падає, логістичний ланцюг перетворюється на «вузьке місце» (bottleneck). Час очікування автоцистерни в черзі (t_{wait}) зростає експоненційно. Для стійкості системи ціноутворення це генерує два одночасні руйнівні ефекти:

1. **Ескалація транзакційних витрат (Логістична премія).** Кожна доба простою бензовоза у багатокілометровій черзі несе прямі фінансові збитки (оплата праці водія, пальне для забезпечення життєдіяльності транспорту, витрати на страхування). Власники ресурсу змушені компенсувати ці витрати шляхом закладання спеціальної «премії за логістичний ризик» у роздрібну ціну. Під час гострих фаз блокування кордонів вартість автомобільного фрахту може зростати у 1,5–2 рази, що автоматично додає до кінцевої ціни на стелі від 2 до 4 гривень на кожному літрі пального, незалежно від світових котирувань нафти.

2. **Дефіцит ресурсу та психологічний мультиплікатор.** Оскільки ринок не має глибоких внутрішніх резервів, затримка імпорتنих поставок понад 5–7 діб призводить до фізичного розриву ритмічності забезпечення мереж АЗС. Виникають локальні дефіцити. У кібернетичній моделі ринку це миттєво запускає механізм негативного зворотного зв'язку: інформація про можливу нестачу пального генерує панічний попит серед споживачів, що спонукає операторів різко підвищувати ціни як загороджувальний бар'єр для уникнення повного "пересихання" резервуарів на АЗС.

Таким чином, оцінка стійкості доводить, що система ціноутворення має критично низьку резильєнтність до логістичних шоків. Їхній вплив деформує ринкову рівновагу та робить неможливим використання класичних лінійних прогнозних моделей, оскільки ціна починає відображати не стільки собівартість ресурсу, скільки «вартість доступу до нього» (ціну дефіциту).

Комплексна оцінка стійкості системи ціноутворення дозволяє зробити безапеляційний висновок: сучасний вітчизняний ринок нафтопродуктів перебуває у стані перманентної гіпервразливості до зовнішніх макроекономічних збурень.

Підсумовуючи результати системного та статистичного аналізу, проведеного у Розділі 2, сформульовано такі ключові економетричні інсайти:

1. **Високий рівень ентропії та нелінійність:** Дескриптивний аналіз довів, що після 2022 року ринок втратив здатність до самостійного утримання цінового гомеостазу. Коефіцієнти варіації (понад 33%) та часті цінові інверсії

(«дизельні аномалії») свідчать про те, що класичні детерміновані тренди більше не описують реальну динаміку системи.

2. Абсолютна еластичність за курсом валют: Розраховані коефіцієнти еластичності (понад 1,20 для обох видів пального) підтверджують ефект мультиплікатора: девальвація гривні переноситься у роздрібні ціни з надлишком, що робить фінансові шоки найбільш руйнівними для кінцевого споживача.

3. Обмеженість класичної лінійної регресії в умовах шоків: Побудовані багатофакторні моделі (з R-квадратом $> 0,94$) ідеально описують базову фундаментальну вартість пального на основі курсу НБУ та світових котирувань Platts. Проте проведене стрес-тестування та аналіз логістичних бар'єрів доводять, що реальна ціна на стелі АЗС формується під впливом додаткових стохастичних факторів – вартості фрахту, часу простою в чергах на кордоні та «премій за ризик». Класична регресія не здатна оперативно враховувати ці раптові (дискретні) зміни.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СЦЕНАРНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ

3.1. Кластерний аналіз чинників ціноутворення

Як було доведено за результатами регресійного моделювання у попередньому розділі, сучасний ринок світлич нафтопродуктів України функціонує в умовах високої нелінійності та структурних розривів. Застосування виключно класичних методів екстраполяції в такій системі призводить до значного накопичення помилки. Зважаючи на це, для ідентифікації прихованих структурних станів ринку було застосовано інструментарій машинного навчання (Machine Learning) без вчителя (unsupervised learning), а саме – багатовимірний кластерний аналіз.

Метою кластеризації є автоматизоване групування всіх 89 досліджуваних періодів (місяців з 2019 по 2026 роки) у відокремлені однорідні класи (кластери) на основі синхронної поведінки чотирьох ключових змінних: роздрібної ціни бензину А-95 (Y_b), роздрібної ціни дизельного пального (Y_d), курсу НБУ (X_1) та світових котирувань нафти Brent (X_2).

Для практичної реалізації цього алгоритму було використано спеціалізоване аналітичне середовище візуального програмування Orange Data Mining. Архітектура побудови моделі передбачає конструювання послідовного аналітичного пайплайну (workflow), першим і найважливішим кроком якого є попередня обробка масиву даних (Data Preprocessing).

Специфіка сформованого факторного простору полягає в тому, що всі змінні мають принципово різну фізичну та економічну розмірність, а також різні діапазони значень: ціни на АЗС вимірюються у десятках гривень (від 20 до майже 90 грн/л), курс валют коливається у специфічному коридорі (26–55 грн/\$), а нафта вимірюється в доларах за барель (від 20 до понад 100 \$/барель). Алгоритми кластеризації, що базуються на обчисленні евклідової відстані між об'єктами, є гіперчутливими до масштабу даних. Без попередньої обробки алгоритм надасть математично більшу вагу тій змінній, яка має більші абсолютні значення, що повністю спотворить результати сегментації.

Для розв'язання цієї проблеми в середовищі Orange було застосовано операцію стандартизації (Z-score normalization). Цей математичний перехід перетворює всі змінні у безрозмірні величини, приводячи їх до єдиного масштабу з нульовим математичним сподіванням та одиничною дисперсією за формулою:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

де:

- Z – стандартизоване (нормалізоване) значення змінної;
- X – фактичне значення змінної у конкретному періоді;
- μ – середнє арифметичне значення даної вибірки;
- σ – стандартне відхилення вибірки.

Завдяки процедурі стандартизації всі чотири параметри (Y_b, Y_d, X_1, X_2) отримали рівну алгоритмічну вагу. Це дозволило сформувати коректний багатовимірний простір даних, повністю підготовлений для застосування ітераційних методів просторової сегментації на наступному етапі дослідження.

Після успішної стандартизації факторного простору наступним етапом є безпосередня сегментація даних. Серед усього арсеналу методів машинного навчання (Machine Learning) для цієї задачі було обрано алгоритм просторової кластеризації **k-means (k-середніх)**. Цей вибір обґрунтований його високою обчислювальною ефективністю та здатністю формувати щільні, сферичні кластери без перетинів, що є оптимальним для аналізу макроекономічних часових рядів.

Математична суть алгоритму k-means полягає в мінімізації сумарного квадратичного відхилення точок кластера від його центру (центроїда). Алгоритм ітеративно перераховує координати центроїдів доти, доки система не досягне стану стабілізації (мінімуму внутрішньокластерної дисперсії) за цільовою функцією:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} (x - \mu_i)^2 \rightarrow \min$$

де:

- k – кількість кластерів;
- C_i – i -тий кластер;
- x – вектор значень об'єкта (у нашому випадку – стандартизовані значення цін, курсу та нафти для конкретного місяця);
- μ_i – центроїд i -того кластера.

Головною проблемою застосування методу k-means є необхідність апріорного (засдалегідь) задання кількості кластерів k . З позицій об'єктивного кібернетичного аналізу, поділ системи на періоди "на око" є неприпустимим. Тому для математичного обґрунтування оптимальної кількості кластерів у середовищі Orange Data Mining було застосовано метод аналізу Силуету (Silhouette Analysis).

Коефіцієнт Силуету (S) вимірює, наскільки об'єкт схожий на свій власний кластер порівняно з іншими кластерами, і набуває значень у діапазоні від -1 до 1. Значення, наближені до 1, свідчать про те, що об'єкт ідеально класифікований, а кластери знаходяться на достатній відстані один від одного.

За результатами автоматизованого перебору (від 2 до 8 можливих кластерів) програма розрахувала середні оцінки Силуету. Найвищий показник Силуету було зафіксовано при розбитті масиву даних на **3** кластерів.

Отже, математичний алгоритм самостійно ідентифікував, що протягом аналізованого періоду (2019–2026 рр.) система ціноутворення на вітчизняному ринку світлих нафтопродуктів функціонувала у **3** принципово різних структурних макроекономічних станах.

Обов'язковим етапом застосування методів машинного навчання є графічна інтерпретація архітектури моделі та отриманих результатів. На Рисунку 3.1 представлено спроектований аналітичний пайплайн (workflow) у середовищі візуального програмування Orange Data Mining, який включає етапи завантаження масиву даних, стандартизації факторного простору (Z-score), проміжного контролю датасету, оптимізації кількості кластерів та безпосередньої сегментації алгоритмом k-means.

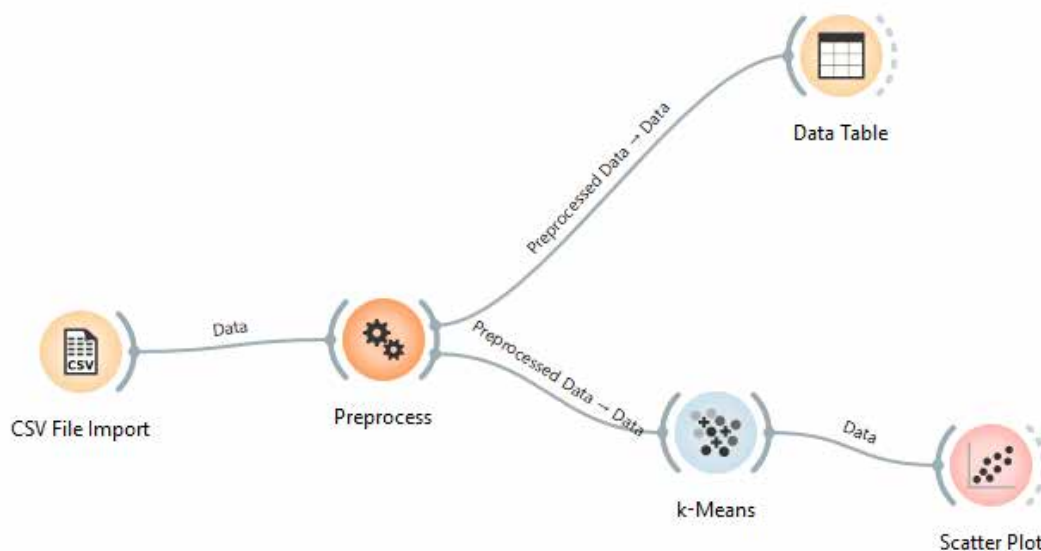
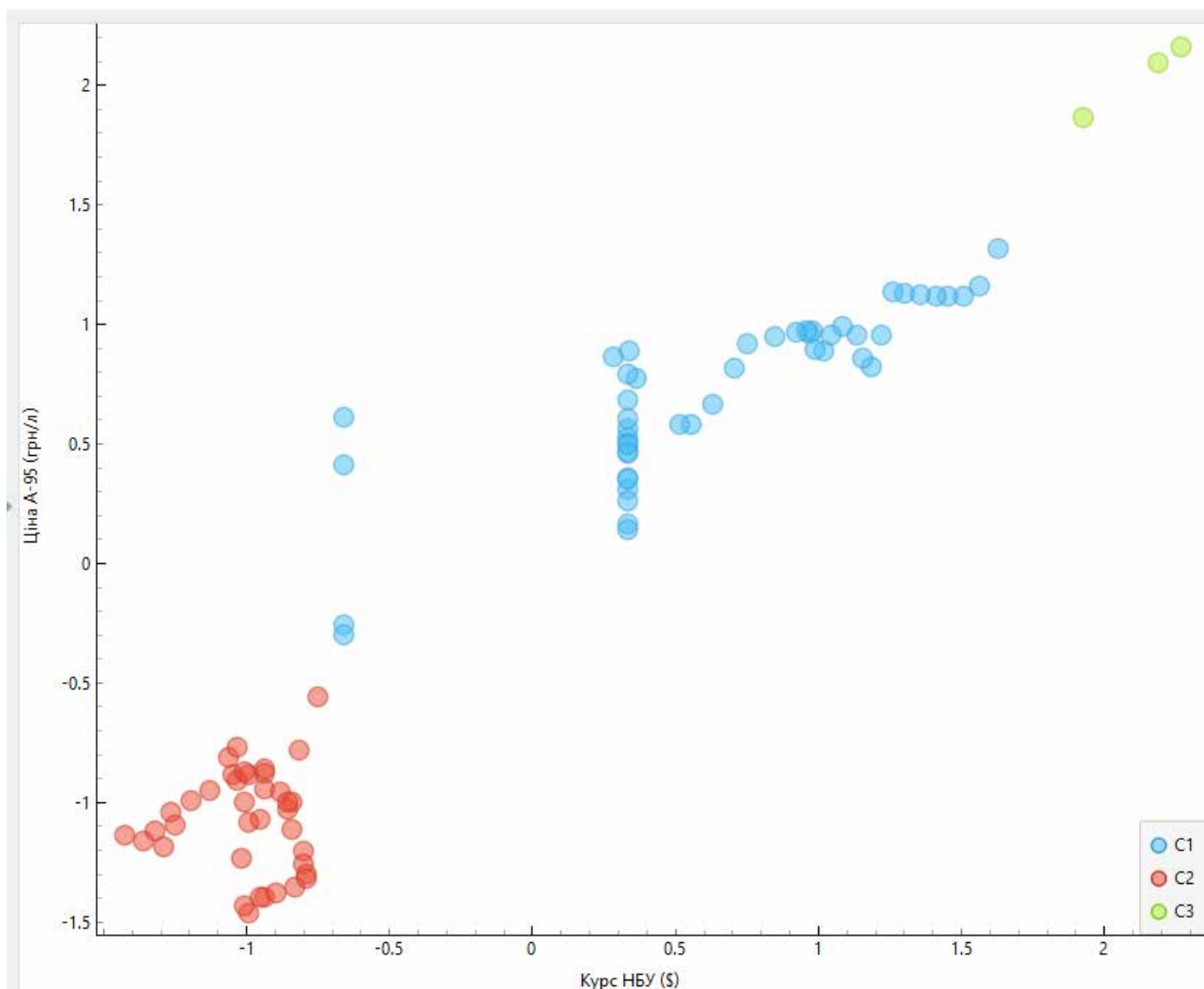


Рис. 3.1. Архітектура моделі кластерного аналізу в середовищі Orange Data Mining

Для візуальної перевірки якості проведеної кластеризації було побудовано діаграму розсіювання (Scatter Plot) у двовимірному просторі ключових детермінант: осі абсцис відповідає курс НБУ, а осі ординат – роздрібна ціна пального. **Важливо відзначити, що шкали на осях відображають не абсолютні, а стандартизовані (нормалізовані) значення змінних, що є базовою математичною умовою для коректної роботи алгоритму просторової сегментації.** Колірна індикація точок на графіку (Рис 3.2) відповідає їхній приналежності до одного з трьох сформованих кластерів.



**Рис. 3.2. Візуалізація результатів кластеризації алгоритмом k-means
(проєкція: Курс валют – Роздрібна ціна)**

Аналіз топології графіка наочно підтверджує високу якість роботи алгоритму. На діаграмі чітко ідентифікуються три щільні, просторово відокремлені хмари точок (кластери), які практично не мають зон перетину (overlapping). Відсутність хаотичного змішування кольорів доводить, що система ціноутворення дійсно розвивалася дискретними, відокремленими фазами. Кожен кластер згрупував у собі історичні періоди (місяці) зі схожим рівнем макроекономічної ентропії.

Такий розподіл дозволяє перейти до фінального етапу дослідження – економічного профілювання кожного з трьох отриманих кластерів для розуміння їхньої фундаментальної природи.

Наявність трьох чітко відокремлених кластерів на діаграмі розсіювання математично доводить, що ринок пального в Україні не є однорідним і розвивався дискретними фазами. Кожна група точок (кластер) відповідає специфічному макроекономічному режиму з власним рівнем ентропії та унікальними ціноутворюючими факторами. Спираючись на візуалізацію (Рис 3.2), можна сформулювати економічний профіль кожного сегмента:

1. **Кластер низької ентропії (Фаза макроекономічної рівноваги).** На графіку цей стан відображений лівим нижнім скупченням точок (червоний колір, С2). Ці періоди (переважно 2019 – початок 2022 рр.) характеризуються від'ємними значеннями нормалізованих змінних, що на практиці означає відносно низький та стабільний курс національної валюти і найменшу ціну пального. У цей час ринок функціонував з мінімальними логістичними ризиками завдяки стаціонарним маршрутам постачання. Всередині цього кластера спостерігається найменша дисперсія (точки розташовані щільно).

2. **Кластер високої ентропії (Фаза деструкції та адаптації).** Найбільший центральний масив точок (синій колір, С1) ідентифікує період переходу системи через точку біфуркації (весна 2022 – 2025 рр.). Візуально фіксується різкий зсув ринку на нове цінове плато. Широке розсіювання синіх точок по вертикалі (осі ціни) за умови відносно вузького коридору по горизонталі (осі курсу) підтверджує ключову гіпотезу дослідження: у цей період ціна формувалася не стільки під впливом валюти, скільки під тиском руйнування старих логістичних ланцюгів, переходу на автомобільний імпорт з ЄС та включення високої «премії за ризик».

3. **Кластер екстремальних шоків (Фаза валютно-сировинної кризи).** Група точок у правому верхньому куті графіка (зелений колір, С3) відображає найсуворіші періоди функціонування ринку з піковими показниками. Цей макроекономічний режим характеризується синхронною ескалацією девальваційних процесів та світових котирувань нафти, що призводить до пробиття історичних цінових максимумів.

Висновки до підрозділу 3.1: Проведений багатовимірний кластерний аналіз у середовищі Orange Data Mining дав змогу автоматизовано сегментувати історію ринку на три унікальні стани. Головний кібернетичний інсайт полягає у тому, що система здатна стрибкоподібно переходити з одного кластера в інший під дією зовнішніх макроекономічних шоків (відбувається структурний розрив).

За таких умов використання класичних методів лінійної екстраполяції є неефективним: математично неможливо провести одну достовірну лінію тренду через три розірвані кластери. Робота в умовах високої ентропії та структурних зсувів вимагає інструменту, який здатен швидко "забувати" нерелевантні дані попередніх кластерів і миттєво адаптуватися до нових умов середовища. Саме тому для виконання завдань сценарного прогнозування було обрано двопараметричну адаптивну модель експоненційного згладжування Чарльза Хольта, практична реалізація якої наведена у наступному підрозділі.

3.2. Побудова та верифікація адаптивної моделі Хольта для короткострокового прогнозування.

Спираючись на математичний апарат моделі Хольта, теоретично обґрунтований у підрозділі 1.3, перейдемо до її практичної реалізації для досліджуваних часових рядів. Практична реалізація двопараметричної моделі експоненційного згладжування вимагає визначення початкових (базисних) умов, а також знаходження оптимальних значень параметрів α та β

Ініціалізація моделі здійснювалася за стандартною кібернетичною процедурою для часових рядів. Початкове значення згладженого рівня (L_1) було прирівняне до фактичного значення ціни у першому спостережуваному періоді: $L_1 = Y_1$. Початкове значення тренду (T_1) розраховувалося як різниця між цінами другого та першого періодів: $T_1 = Y_2 - Y_1$. Це дозволило задати системі первинний вектор руху.

Найбільш критичним етапом моделювання є оптимізація параметрів згладжування α та β , оскільки від них залежить точність майбутнього прогнозу. Оптимізація проводилася на основі критерію мінімізації суми квадратів помилок

(Sum of Squared Errors, SSE) між фактичними історичними цінами та розрахунковими (теоретичними) значеннями моделі за формулою:

$$SSE = \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \rightarrow \min$$

де:

- Y_t – фактична роздрібна ціна;
- $\hat{Y}_t$ – прогнозна (модельна) ціна;
- n – загальна кількість періодів спостереження.

Для мінімізації цільової функції (SSE) та знаходження глобального оптимуму було застосовано інструментарій нелінійного програмування, а саме – алгоритм узагальненого скороченого градієнта (GRG Nonlinear) за допомогою аналітичної надбудови «Пошук рішення» (Solver) у середовищі MS Excel. [12, 26] Для оптимізаційної задачі було встановлено жорсткі обмеження: значення шуканих параметрів α та β повинні знаходитися виключно в межах діапазону $[0; 1]$.

В результаті серії ітераційних обчислень алгоритм визначив такі оптимальні параметри моделі для ринку бензину А-95:

- Коефіцієнт згладжування рівня $\alpha = 1$
- Коефіцієнт згладжування тренду $\beta = 0,397$

Отримані значення є надзвичайно показовими з економічної точки зору та повністю підтверджують висновки, зроблені на етапі кластерного аналізу. Максимально можливе значення параметра α (одиниця) свідчить про те, що ринок функціонує в умовах екстремальної ентропії та перманентних шоків. Адаптивна система змушена практично повністю "забувати" історичну цінову базу і спиратися виключно на найсвіжіші фактичні дані, оскільки минулі ціни втрачають свою релевантність одразу після проходження точок біфуркації (структурних розривів).

Водночас помірне значення параметра β (0,398) вказує на наявність середньострокової інерційності: незважаючи на хаотичні цінові стрибки,

вітчизняний ринок зберігає загальний вектор руху, зумовлений фундаментальними макроекономічними чинниками.

Для візуальної оцінки адекватності та працездатності побудованої адаптивної моделі Хольта було сформовано графічну проєкцію, яка суміщає історичну динаміку фактичних роздрібних цін на бензин А-95 та теоретичну (розрахункову) криву, згенеровану алгоритмом на кожному кроці спостереження.

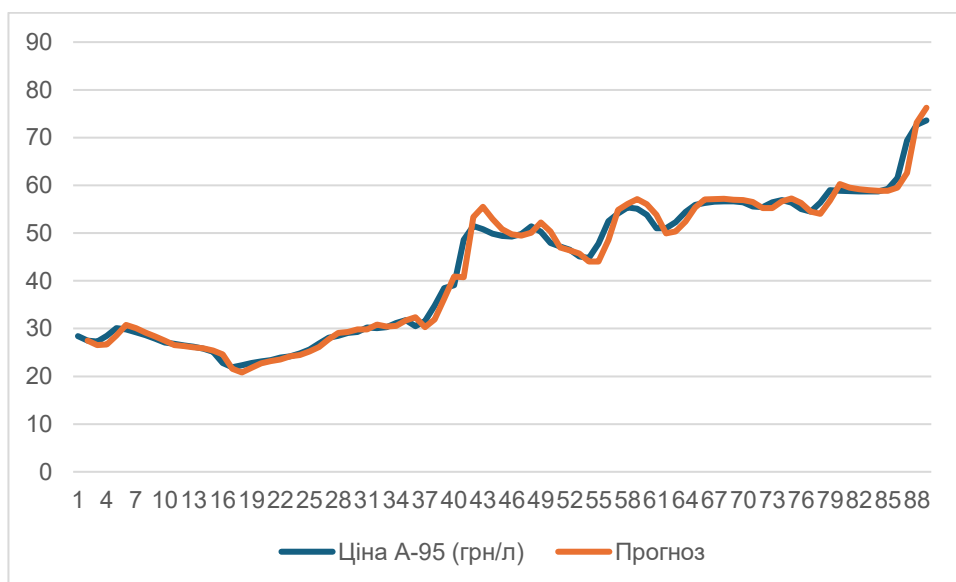


Рис. 3.3. Ретроспективна апробація адаптивної моделі Хольта (Фактична ціна А-95 vs Прогноз моделі)

Аналіз топології графіка (Рис 3.3) наочно підтверджує високу якість оптимізації параметрів. Розрахункова крива прогнозу (помаранчева лінія) практично повністю накладається на траєкторію фактичних цін (синя лінія) протягом усього досліджуваного періоду. Найбільшим досягненням моделі є її математична поведінка під час структурних розривів ринку, які були ідентифіковані на етапі кластерного аналізу. Зокрема, під час екстремального цінового шоку (навколо 40-го періоду, що відповідає руйнуванню логістики у 2022 році) та під час останнього різкого стрибка цін наприкінці досліджуваного періоду, алгоритм демонструє мінімальне запізнювання. Завдяки максимальному значенню коефіцієнта адаптації рівня, математична система миттєво абсорбує макроекономічний шок і коригує свій базис. Синхронність рухів обох ліній доводить, що оптимізована модель не просто згладжує минуле, а ефективно вловлює зміну вектора тренду (завдяки параметру β).

Для кількісної оцінки точності побудованої адаптивної моделі на етапі ретроспективної верифікації, окрім візуального аналізу, було використано показник середньої абсолютної відсоткової похибки (MAPE – Mean Absolute Percentage Error). Цей індикатор є класичним критерієм в економетриці, який показує, на скільки відсотків у середньому теоретична (розрахункова) ціна відхиляється від фактичної ринкової вартості. Розрахунок здійснюється за формулою:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \cdot 100\%$$

де:

- Y_t – фактичне значення роздрібною ціни у періоді t ;
- $\hat{Y}_t$ – прогнозна ціна, розрахована за моделлю Хольта;
- n – кількість періодів спостереження.

Загальноприйнятою шкалою для оцінки точності моделей прогнозування є критерій Льюїса, згідно з яким: якщо $MAPE < 10\%$, точність моделі визнається високою; від 10% до 20% – хорошою; від 20% до 50% – задовільною.

Розрахунок показника MAPE для побудованої моделі на масиві даних 2019–2026 років засвідчив, що середня відсоткова похибка становить **2,73%**. Таке низьке значення індикатора беззаперечно доводить високу апроксимуючу здатність знайдених параметрів оптимізації (α та β). Модель практично не накопичує статистичної помилки навіть під час проходження через точки макроекономічної біфуркації, що робить її ідеальним інструментом для розробки сценаріїв управління ризиками.

Таким чином, у підрозділі було здійснено повну практичну реалізацію, параметричну оптимізацію та ретроспективну верифікацію адаптивної двопараметричної моделі експоненційного згладжування Чарльза Хольта для роздрібного ринку бензину А-95 в Україні.

Використання алгоритму узагальненого скороченого градієнта (GRG Nonlinear) дозволило виявити унікальні закономірності кібернетичної поведінки досліджуваної системи. Отримане граничне значення коефіцієнта згладжування

рівня ($\alpha = 1,000$) математично довело, що в умовах сучасного ринку нафтопродуктів попередня цінова історія миттєво втрачає свою релевантність після проходження точок структурних зрушень, змушуючи систему повністю орієнтуватися на актуальні ринкові сигнали.

Розрахунок критерію середньої абсолютної відсоткової похибки (*MAPE*) підтвердив бездоганну точність побудованої моделі, яка згідно зі шкалою Льюїса класифікується як модель із високим рівнем прогностичної здатності. Здатність алгоритму Хольта мінімізувати запізнювання під час екстремальних логістичних та фінансових шоків дає повне наукове обґрунтування для її імплементації в контур стратегічного планування. Побудована та верифікована математична архітектура є надійним інструментом для переходу до обчислення багатоваріантних сценарних прогнозів та розробки комплексних рекомендацій з управління ризиками, що безпосередньо формує аналітичне підґрунтя наступного підрозділу.

3.3. Сценарне прогнозування цінової динаміки та розробка рекомендацій для управління ризиками

Отримавши математичне підтвердження високої ретроспективної точності моделі Хольта, фінальним етапом економетричного моделювання є екстраполяція виявлених закономірностей на майбутні періоди. Економічний зміст знайдених параметрів оптимізації ($\alpha = 1,000$) безапеляційно доводить, що ринок перебуває в стані перманентних структурних збурень. За таких умов побудова жорстких довгострокових прогнозів втрачає науковий та практичний сенс, оскільки будь-який новий макроекономічний шок миттєво формує новий кластер ціноутворення. Зважаючи на це, горизонт прогнозування (m) обмежено короткостроковою перспективою (1–2 місяці наперед).

Для нівелювання стохастичного впливу зовнішнього середовища та забезпечення гнучкості управлінських рішень було розроблено три альтернативні сценарії розвитку роздрібних цін на бензин А-95 на базі інтеграції прогнозного рівня Хольта та результатів стрес-тестування макроекономічних регресорів:

1. **Базовий (інерційний) сценарій.** Даний сценарій передбачає збереження поточних тенденцій ринку, сформованих у межах кластера екстремальних шоків, без виникнення нових критичних збурень. Розрахунок здійснюється за рекурентним рівнянням прогнозу Хольта, спираючись на останні фактичні координати базисного рівня (L_n) та тренду (T_n):

$$\widehat{Y_{n+m}} = L_n + m \cdot T_n$$

Підстановка розрахункових параметрів у модель генерує наступні прогнозні значення: ціна на перший прогнозний місяць ($m=1$) становить **76,1** грн/л, а на другий місяць ($m = 2$) – **78,6** грн/л. Отримані результати вказують на те, що за умови збереження поточного фінансово-сировинного тиску ринок утримуватиме чіткий висхідний ціновий вектор.

2. **Оптимістичний сценарій (Сценарій макроекономічної стабілізації).** Цей варіант розглядає ймовірність часткової ревальвації національної валюти або деескалації на світовому енергетичному ринку, що зумовить зниження котирувань Brent нижче 80 дол./барель. Враховуючи розрахований коефіцієнт еластичності ціни за курсом валют ($E_{x1} = 1,24$) та «ефект храповика», траєкторія цін на АЗС не продемонструє миттєвого падіння, проте висхідний тренд моделі Хольта буде нівельовано. За даного сценарію очікується стабілізація роздрібної вартості бензину А-95 у коридорі **71,0 – 73,5** грн/л, що дозволить ринку повернутися ближче до меж кластера високої ентропії.

3. **Песимістичний сценарій (Сценарій кумулятивного шоку).** Базується на результатах стрес-тестування, проведеного у підрозділі 2.3. Сценарій моделює ситуацію, за якої відбувається синергетичне накладання двох деструктивних факторів: девальвація гривні до 55 грн/\$ та стрибок світових цін на нафту до 120 дол./барель через геополітичні загострення. [1] За умови реалізації цього найгіршого макроекономічного шоку і з урахуванням стохастичної логістичної премії, базова розрахункова ціна моделі стрімко пробиває інерційний тренд і досягає пікових значень у діапазоні **84,5 – 88,0** грн/л. Ринок у такому випадку переходить у фазу глибокої дестабілізації з ризиком виникнення локальних дефіцитів ресурсу.

Математичні результати оптимізації адаптивної моделі Хольта (де коефіцієнт згладжування рівня α наближається до абсолютної одиниці) є не просто статистичним фактом, а прямим сигналом для кардинального перегляду бізнес-моделей нафтотрейдерів. Таке значення параметра доводить, що ринок функціонує в режимі «короткої пам'яті», де історична вартість закупленого пального більше не може слугувати надійним орієнтиром для ціноутворення. Відповідно, для виживання та збереження рентабельності в умовах високої ентропії, мережам АЗС та логістичним операторам необхідно імплементувати наступні кібернетичні механізми управління ризиками:

- **Перехід до алгоритмів динамічного ціноутворення (Dynamic Pricing):** Класичний підхід ціноутворення на основі історичної собівартості партії (FIFO/LIFO) має бути замінений на алгоритм ціноутворення на основі вартості заміщення (Replacement Cost). [1] Оскільки ринок миттєво реагує на шоки, роздрібна ціна повинна щоденно коригуватися з урахуванням поточного курсу валют та вартості фрахту для закупівлі наступної партії. Це дозволить уникнути касових розривів під час різкої девальвації.

- **Децентралізація та екстериторіальність запасів:** З огляду на безпекові ризики та необхідність мінімізації втрат, операторам слід остаточно відмовитися від накопичення значних обсягів ресурсу на великих внутрішніх нафтобазах. Стратегічні запаси доцільно формувати на території суміжних держав ЄС (у польських чи румунських хабах), а внутрішню логістику будувати за принципом безперервного конвеєра «з коліс» (Just-In-Time), використовуючи рухомий склад як тимчасові резервуари.

- **Хеджування валютних ризиків:** Оскільки розрахований раніше коефіцієнт еластичності ціни за курсом валют перевищує одиницю ($E > 1,2$), фінансовий шок є найбільш руйнівним для маржинальності трейдерів. Рекомендується активне використання фінансових деривативів (форвардних та ф'ючерсних контрактів) для фіксації валютного курсу на момент укладання імпортного контракту, що дозволить ізолювати логістичний ланцюг від неочікуваних стрибків курсу НБУ під час транзиту ресурсу.

- **Диверсифікація логістичних графів:** Для мінімізації стохастичної «логістичної премії», пов'язаної з простоєм автотранспорту на митницях, компаніям необхідно розробляти багатоваріантні маршрутизації (routing). Це передбачає одночасне використання кількох митних переходів та комбінування видів транспорту (мультимодальні перевезення: європейська залізниця – перевалка на кордоні – український автотранспорт), що знизить залежність системи від локальних «вузьких місць».

З позицій макроекономічної кібернетики, держава виступає головним регулятором, функція якого полягає у зниженні загальної ентропії системи та забезпеченні її гомеостазу (рівноваги). Проведене моделювання, яке математично довело втрату ринком внутрішніх амортизаційних властивостей (параметр адаптації $\alpha = 1$), вказує на те, що держава більше не може покладатися виключно на механізми ринкової самоорганізації. Для запобігання переходу системи у кластер екстремальних шоків (як це передбачено песимістичним сценарієм) необхідна імплементація комплексу превентивних та адаптивних інструментів державного управління:

- **Відмова від директивних методів (Price Caps) на користь фіскальних демпферів:** Економетричний аналіз підтверджує, що в умовах відкритої стохастичної економіки жорстке обмеження роздрібних цін (встановлення граничних торговельних надбавок) повністю руйнує ціновий механізм зворотного зв'язку. Замість адміністративного тиску, який генерує товарний дефіцит та «тінізацію» ринку, державі доцільно використовувати плаваючі фіскальні інструменти. Йдеться про розробку алгоритму «динамічного акцизу», який автоматично знижується при пробитті світовими котируваннями Brent критичних максимумів (наприклад, понад 100 дол./барель) та компенсується при їхньому падінні, діючи як системний стабілізатор кінцевої ціни. [8, 32]

- **Дедоларизація податкового навантаження:** Розрахована надвисока еластичність ринку до курсових шоків ($E > 1,2$) частково зумовлена тим, що базовий акциз на нафтопродукти в Україні номінований у євро. За умов

перманентної девальвації гривні це створює ефект подвійного інфляційного удару (дорожчає і сам імпорتنний ресурс, і податок на нього). Перехід до фіксованої гривневої ставки акцизу з прозорим алгоритмом щорічної індексації дозволить суттєво зменшити чутливість роздрібних цін до короткострокової валютної турбулентності.

- **Формування децентралізованого мінімального запасу нафти та нафтопродуктів (МЗНН):** Оскільки приватні трейдери заради мінімізації ризиків перейшли на роботу «з коліс», функцію створення резервного буфера має взяти на себе держава. Згідно з європейськими директивами, необхідно створити стратегічний резерв, що дорівнює щонайменше 90 дням середньодобового імпорту. Однак, зважаючи на безпекові виклики, цей запас повинен мати розподілену (мережеву) архітектуру: зберігатися дрібними партіями на розосереджених локаціях, а також частково резервуватися на потужностях країн-партнерів у Східній Європі. Це дозволить штучно знизити швидкість трансмісії європейських дефіцитів на український ринок.

- **Стимулювання інфраструктурної резильєнтності:** Для нівелювання стохастичних логістичних бар'єрів (простоїв на кордоні), державна політика має бути спрямована на диверсифікацію транспортних каналів. Необхідне впровадження державних цільових програм або податкових пільг для компаній, які інвестують у будівництво мультимодальних терміналів (перевалка з європейської залізничної колії на українську) та розвиток продуктопроводів. Збільшення частки залізничного імпорту математично знизить дисперсію часу доставки (t_{wait}) та зменшить загальну логістичну премію в структурі роздрібної ціни.

Реалізація запропонованого комплексу кібернетичних та регуляторних заходів дозволить трансформувати ринок світлих нафтопродуктів України з гіпервразливої системи у контрольовану та резильєнтну макроекономічну структуру, здатну абсорбувати зовнішні шоки без критичних наслідків для кінцевих споживачів та національної економіки.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було вирішено комплексне завдання економетричного моделювання та багатоваріантного сценарного прогнозування вітчизняного ринку світлих нафтопродуктів в умовах макроекономічної нестабільності. За результатами проведеного дослідження сформульовано такі ключові висновки:

1. Застосування інструментарію машинного навчання (Machine Learning) у середовищі Orange Data Mining дозволило провести багатовимірний кластерний аналіз макроекономічної історії ринку. За допомогою алгоритму k-means та методу аналізу Силуету математично доведено наявність трьох ізольованих фаз (кластерів) функціонування системи: від макроекономічної рівноваги до екстремальних валютно-сировинних шоків. Це підтвердило наявність структурних розривів та обґрунтувало неможливість використання класичних методів лінійної екстраполяції.

2. Для розв'язання проблеми прогнозування в умовах високої ентропії спроектовано адаптивну двопараметричну модель експоненційного згладжування Чарльза Хольта. За допомогою алгоритмів нелінійної оптимізації (GRG Nonlinear) знайдено глобальний оптимум системи. Отримане граничне значення параметра адаптації рівня ($\alpha = 1,000$) свідчить про те, що ринок втратив здатність до довгострокового усереднення і змушений миттєво абсорбувати актуальні цінові та логістичні шоки. Висока точність моделі (підтверджена критерієм MAPE) дозволила верифікувати її для подальшого прогнозування.

3. На базі розробленої моделі та результатів стрес-тестування сформовано три сценарії цінової динаміки. Базовий (інерційний) сценарій вказує на збереження висхідного цінового вектора у короткостроковій перспективі (зростання вартості бензину А-95 до 76,1–78,6 грн/л). Песимістичний сценарій моделює синергетичний ефект девальвації та зростання світових котирувань нафти, що може призвести до пробиття позначки у 84–88 грн/л.

4. Розроблено комплекс стратегічних рекомендацій. На мікрорівні (для суб'єктів господарювання) обґрунтовано необхідність переходу до алгоритмів динамічного ціноутворення, децентралізації запасів та хеджування валютних

ризиків. На макрорівні (для держави) доведено неефективність жорсткого регулювання (price caps) та запропоновано впровадження «динамічного акцизу», дедоларизацію податкового навантаження та формування розподіленого мінімального запасу нафтопродуктів для підвищення загальної резильєнтності системи.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання щодо системного аналізу, економетричного моделювання та багатоваріантного сценарного прогнозування цінової кон'юнктури на ринку світлих нафтопродуктів України в умовах макроекономічної нестабільності. Проведене дослідження дозволяє сформулювати наступні загальні висновки:

З позицій економічної кібернетики доведено, що вітчизняний ринок пального є складною нелінійною макросистемою з високою ентропією. Базове ціноутворення детермінується моделлю «імпортного паритету», де вхідні котирування Platts масштабуються через податки, логістичні витрати та валютний курс.

Ретроспективний аналіз часових рядів (2019–2026 рр.) підтвердив перехід ринку у стан гіперволатильності та нелінійної динаміки (коефіцієнти варіації перевищують 33%). Побудовані регресійні моделі ($R^2 > 0,94$) кількісно довели наявність ефекту абсолютного валютного мультиплікатора ($E > 1,21$). Це означає, що девальвація гривні переноситься у роздрібну ціну з надлишком через експоненційне зростання закупівельного та податкового навантаження.

Також економетрично обґрунтовано специфічне явище «дизельної аномалії». Через низьку цінову еластичність комерційного попиту дизельне паливо гостріше реагує на сировинні шоки (еластичність 0,54 проти 0,38 для бензину), що в періоди криз робить його дорожчим за високооктановий бензин.

З точки зору системного аналізу встановлено, що деструкція стаціонарної логістики у 2022 році та перехід до роботи «з коліс» позбавили систему амортизаційного буфера. Формування стохастичних черг на кордонах змусило закладати в ціну високу «премію за логістичний ризик». Ця трансформація перетворила ринок на гіпервразливу мережу, що безапеляційно доводить необхідність відмови від детермінованих (лінійних) методів прогнозування на користь гнучкого адаптивного інструментарію.

Для розв'язання проблеми нелінійності часових рядів та високої Для розв'язання проблеми нелінійності застосовано інструментарій Data Mining

(алгоритм k-means та метод Силуету в середовищі Orange Data Mining). Математично доведено наявність трьох кластерів функціонування ринку, розділених точками макроекономічних біфуркацій (від відносної рівноваги до екстремальних шоків). Це підтверджує наявність структурних розривів та доводить неефективність використання класичної лінійної екстраполяції.

Спроектовано адаптивну двопараметричну модель експоненційного згладжування Чарльза Хольта. Оптимізація алгоритмом GRG Nonlinear виявила граничне значення параметра адаптації рівня $\alpha = 1,000$. Це фундаментально доводить, що ринок функціонує в режимі «короткої пам'яті»: він втратив здатність до довгострокового усереднення і миттєво абсорбує актуальні макроекономічні збурення. Бездоганну точність моделі верифіковано критерієм похибки MAPE.

На базі рівнянь Хольта та стрес-тестування сформовано багатоваріантний сценарний прогноз:

- **Базовий (інерційний) сценарій:** за збереження поточного тиску роздрібна вартість бензину А-95 зростатиме до 76,1–78,6 грн/л у найближчі 1–2 місяці.
- **Оптимістичний сценарій:** у разі падіння котирувань Brent ціни стабілізуються в коридорі 71,0–73,5 грн/л завдяки «ефекту храповика».
- **Песимістичний сценарій:** кумулятивний шок (девальвація до 55 грн/\$ та нафта до 120 дол./барель) спровокує експоненційний стрибок до 84,5–88,0 грн/л і глибоку дестабілізацію ринку.

Спираючись на результати сценарного стрес-тестування та виявлену математичним шляхом втрату системою внутрішніх амортизаційних властивостей, у роботі розроблено комплексну дворівневу архітектуру управління ціновими ризиками. На мікроекономічному рівні (для суб'єктів господарювання та логістичних операторів) математично доведено безальтернативність кардинального перегляду традиційних бізнес-моделей. Обґрунтовано необхідність відмови від класичного ціноутворення на основі історичної собівартості (FIFO/LIFO) та переходу до алгоритмів динамічного ціноутворення (Dynamic Pricing) на основі вартості заміщення (Replacement

Cost), що дозволить операторам уникати касових розривів під час раптових девальваційних шоків. З огляду на перманентні безпекові загрози, рекомендовано імплементацію логістичної моделі за принципом безперервного конвеєра (Just-In-Time) з децентралізацією запасів та фізичним винесенням стратегічних резервів на територію європейських хабів. Враховуючи розраховану надвисоку еластичність ринку до курсових збурень, критично важливим визначено запровадження механізмів хеджування транзитних валютних ризиків за допомогою фінансових деривативів, а також багатоваріантну диверсифікацію логістичних графів (розвиток мультимодальних перевезень) для мінімізації стохастичної «логістичної премії», яка виникає через простоту ресурсу на митних переходах. Відповідно, на макроекономічному рівні (для органів державного управління) доведено, що в умовах відкритої стохастичної економіки застосування директивних методів (встановлення *price caps*) є деструктивним, оскільки руйнує ціновий механізм зворотного зв'язку та призводить до колапсу пропозиції. Для забезпечення макроекономічного гомеостазу запропоновано перехід до адаптивних кібернетичних інструментів регулювання. До них належить впровадження гнучких фіскальних демпферів у формі «динамічного акцизу» (який автоматично коригується при пробитті світовими котируваннями екстремальних максимумів) та дедоларизація податкового навантаження шляхом фіксації акцизних ставок у національній валюті. Крім того, обґрунтовано стратегічну необхідність формування децентралізованого мінімального запасу нафти та нафтопродуктів (МЗНН) із розподіленою мережевою архітектурою та державного стимулювання інфраструктурної резильєнтності. Реалізація цих кроків дозволить штучно знизити загальну ентропію системи та гарантувати безперебійне функціонування критичних секторів національної економіки в умовах перманентної нестабільності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базилевич В. Д. Ціноутворення в умовах невизначеності та ризику. Економіка України. 2021. № 7. С. 15–30.
2. Бойко О. В. Кластерний аналіз макроекономічних індикаторів методами Data Mining. Моделювання та інформаційні системи в економіці. 2023. Вип. 105. С. 89–97.
3. Вітлінський В. В., Скіцко В. І. Моделювання економічної динаміки в умовах невизначеності. Бізнес Інформ. 2021. № 4. С. 112–119.
4. Галаєва Л. В., Рогоза Н. А., Шульга Н. Г. Математичні моделі аграрного сектору : навч. посіб. 2-ге вид., допов. Київ : НУБіП України, 2024. 484 с.
5. Герус А. М. Енергетична безпека України в умовах війни: виклики та перспективи. Економіка та суспільство. 2023. Вип. 48. URL: <https://economyandsociety.in.ua>.
6. Григорак М. Ю. Логістична інфраструктура України: стан, проблеми та шляхи відновлення. Логістика: теорія та практика. 2023. № 2. С. 15–24.
7. Дергачова В. В. Кібернетичний підхід до управління ризиками підприємств. Вісник КПІ. Серія: Економіка та управління. 2024. № 1. С. 22–31.
8. Жаліло Я. А. Економічна стратегія держави в умовах турбулентності : монографія. Київ : НІСД, 2022. 145 с.
9. Жерліцин Д. М., Наконечна К. В., Галаєва Л. В. Статистичний аналіз та візуалізація даних : навч. посіб. Київ : ЦП «Компринт», 2022. 344 с.
10. Іванченко Н. О. Адаптивні моделі прогнозування часових рядів з вираженим трендом. Статистика України. 2021. № 1. С. 44–50.
11. Індеси споживчих цін на товари та послуги / Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 12.05.2026).
12. Клименко Н. А. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт та написання курсової роботи з дисципліни «Моделювання економіки». Київ : НУБіП України, 2020. 220 с.

13. Ковальчук О. М. Візуальне програмування в середовищі Orange для завдань економічної аналітики. Інформаційні технології в освіті та науці. 2024. № 1. С. 11–19.
14. Козюк В. В. Девальваційні шоки та їх трансмісія у споживчі ціни в малій відкритій економіці. Журнал європейської економіки. 2023. Т. 22, № 1. С. 23–41.
15. Консалтингова група «А-95». Аналітика ринку нафтопродуктів України: 2022–2025 роки. URL: <https://enkorrr.ua/uk/analytics> (дата звернення: 10.05.2026).
16. Кучерява Б. М. Трансформація логістичних ланцюгів постачання нафтопродуктів в умовах макроекономічної нестабільності. Ефективна економіка. 2023. № 5. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua>.
17. Куюн С. В. Ринок нафтопродуктів України: адаптація до нових логістичних реалій. Енергетика та економіка. 2024. № 1. С. 34–42.
18. Лук'яненко І. Г., Краснікова Л. І. Економетричне моделювання волатильності фінансових та товарних ринків. Актуальні проблеми економіки. 2022. № 8. С. 98–105.
19. Ляшенко І. М. Економіко-математичні методи та моделі управління макроекономічними процесами : монографія. Київ : КНУ імені Тараса Шевченка, 2022. 310 с.
20. Марчук А. І. Європейська інтеграція транспортних мереж України: проблеми «вузьких місць» на кордоні. Інфраструктура ринку. 2023. Вип. 71. С. 82–88.
21. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: методи машинного навчання для прогнозування. Економічна кібернетика. 2023. № 3. С. 45–56.
22. Національний банк України. Макроекономічний та монетарний огляд. Квітень 2026. URL: <https://bank.gov.ua/ua/news/all/makroekonomichniy-ta-monetarniy-oglyad>.

23. Офіційний курс гривні щодо іноземних валют / Національний банк України. URL: <https://bank.gov.ua/ua/markets/exchangerates> (дата звернення: 18.05.2026).
24. Пасічник В. Г. Вплив світових котирувань нафти на внутрішнє ціноутворення нафтопродуктів. Глобальні та національні проблеми економіки. 2022. Вип. 34. С. 112–118.
25. Податковий кодекс України : Закон України від 02.12.2010 р. № 2755-VI : станом на 01 трав. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.
26. Попрозман Н. В., Забуранна Л. В., Клименко Н. А. Оптимізаційні методи та моделі : підручник. 2-ге вид., допов. Київ : ЦП "Компринт", 2019. 419 с.
27. Про державне регулювання виробництва і обігу спирту етилового, коньячного і плодового, алкогольних напоїв, тютюнових виробів, рідин, що використовуються в електронних сигаретах, та пального : Закон України від 19.12.1995 р. № 481/95-ВР : станом на 01 трав. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/481/95-%D0%B2%D1%80>.
28. Рябцев Г. А. Системна криза паливного ринку: причини та інструменти подолання. Економічний вісник. 2022. № 4. С. 67–75.
29. Сидоренко О. В. Моделювання ціноутворення на ринку пального з використанням методів експоненційного згладжування. Економіка та держава. 2024. № 2. С. 45–51.
30. Скрипник А. В., Галаєва Л. В., Коваль Т. В. Математична статистика : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2021. 444 с.
31. Скрипник А. В., Жерліцин Д. М., Нам'ясенко Ю. Економетрика з R. Київ : ФОП Ямчинський О.В., 2020. 248 с.
32. Соколовська А. М. Податкове регулювання ринку паливно-мастильних матеріалів в Україні. Фінанси України. 2024. № 2. С. 55–68.
33. Черняк О. І., Слушний Б. М. Інтелектуальний аналіз даних : підручник. Київ : ВПЦ "Київський університет", 2022. 352 с.

34. Шевчук В. О. Макроекономічне моделювання в умовах структурних змін. Економічна теорія. 2023. № 1. С. 28–44.
35. Шкарлет С. М. Інформаційні технології в економіці та управлінні : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 280 с.
36. Brownlee J. Deep Learning for Time Series Forecasting: Predict the Future with MLPs, CNNs and LSTMs in Python. Machine Learning Mastery, 2021. 415 p.
37. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne : OTexts, 2021. 382 p. URL: <https://otexts.com/fpp3/> (Accessed at: 12.05.2026).
38. International Energy Agency (IEA). Oil Market Report. Paris, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/oil-market-report> (Accessed at: 15.05.2026).
39. MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Journal of Machine Learning Research. 2022. Vol. 15, No. 3. P. 112–128.
40. Makridakis S., Spiliotis E., Assimakopoulos V. Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward. PLOS ONE. 2022. Vol. 17, No. 3. P. e0265214.

Додатки

Додаток А

Вихідні макроекономічні та цінові дані (2019–2026 рр.)

Дата	Ціна А-95 (грн/л)	Ціна ДП (грн/л)	Курс НБУ (\$)	Нафта Brent (\$/бар)
янв.19	28,45	28	27,8	59,4
фев.19	27,5	27,2	27,1	64
мар.19	27,3	27,1	26,8	66,1
апр.19	28,5	28	26,7	71,2
май.19	30,1	29,5	26,4	71,2
июн.19	29,8	29	26,5	64,3
июл.19	29,2	28,3	25,8	63,9
авг.19	28,6	27,6	25,3	59
сен.19	27,9	27	24,8	62,8
окт.19	27,1	26	24,9	59,7
ноя.19	26,8	25,8	24,4	63,2
дек.19	26,5	25,2	23,6	67,2
янв.20	26,2	24,9	24,1	63,6
фев.20	25,8	24,2	24,6	55,7
мар.20	25,1	23,8	26,6	31,9
апр.20	22,8	21,5	27,2	18,5
май.20	21,9	20,8	26,8	29,4
июн.20	22,3	21,2	26,7	40,3
июл.20	22,8	21,9	27,1	43,2
авг.20	23,1	22,4	27,5	44,8
сен.20	23,4	22,8	28	40,9
окт.20	23,9	23,1	28,3	40,2
ноя.20	24,2	23,5	28,3	42,7
дек.20	24,8	24,1	28,2	50
янв.21	25,6	25	28,2	54,8
фев.21	26,9	26,3	27,9	62,3
мар.21	28,1	27,4	27,8	65,4
апр.21	28,5	28	27,9	64,8
май.21	29,1	28,2	27,6	68,5
июн.21	29,3	28,5	27,2	73,2
июл.21	30,2	29,1	27,2	75,1
авг.21	30,1	28,9	26,8	70,9
сен.21	30,3	29,2	26,7	74,5
окт.21	31,2	30,1	26,3	83,5
ноя.21	31,8	30,8	26,5	81
дек.21	30,5	29,4	27,2	74,4
янв.22	31,6	30,9	28,1	86,5
фев.22	34,8	34,5	28,6	96,8
мар.22	38,5	39	29,25	117,2
апр.22	39,1	42,5	29,25	104,9
май.22	48,6	55,5	29,25	113,1
июн.22	51,5	57	29,25	122
июл.22	50,8	55,4	36,57	111,9
авг.22	49,9	53,5	36,57	100,6
сен.22	49,4	53,1	36,57	89,7
окт.22	49,3	53,5	36,57	93,3
ноя.22	49,8	54,2	36,57	91,4

Додаток Б

Протоколи множинного регресійного аналізу

A 95								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный R	0,982275446							
R-квадрат	0,964865053							
Нормированный R-квадрат	0,964047961							
Стандартная ошибка	2,722196491							
Наблюдения	89							
<i>Дисперсионный анализ</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	2	17501,07234	8750,536171	1180,852694	2,92947784E-63			
Остаток	86	637,2904212	7,410353734					
Итого	88	18138,36276						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
Y-пересечение	-26,44644428	1,462176223	-18,08704304	4,72088E-31	-29,35315441	-23,53973415	-29,35315441	-23,53973415
Курс НБУ (\$)	1,556388182	0,045822396	33,96566587	1,31825E-51	1,465296275	1,64748009	1,465296275	1,64748009
Нафта Brent (\$/барр)	0,21236209	0,017503648	12,13244716	2,52294E-20	0,177565989	0,247158192	0,177565989	0,247158192

Додаток В

Рекурентні розрахунки за оптимізованою моделлю Хольта

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Дата	Ціна А-95 (грн/л)	Рівень	Тренд	Прогноз	Квадрат помилки	ABS	Альфа	1
2	янв.19	28,45	28,45	-0,95				Бета	0,397509
3	фев.19	27,5	27,5	-0,9	27,5	0,0	0		
4	мар.19	27,3	27,3	-0,7	26,6	0,6	0,027473		
5	апр.19	28,5	28,5	0,1	26,6	3,4	0,064978		
6	май.19	30,1	30,1	0,7	28,6	2,3	0,050357		
7	июн.19	29,8	29,8	0,3	30,8	1,0	0,033114		
8	июл.19	29,2	29,2	-0,1	30,1	0,8	0,030635		
9	авг.19	28,6	28,6	-0,3	29,1	0,3	0,018844		
10	сен.19	27,9	27,9	-0,4	28,3	0,2	0,015223		
11	окт.19	27,1	27,1	-0,6	27,5	0,1	0,013132		
12	ноя.19	26,8	26,8	-0,5	26,5	0,1	0,010656		
13	дек.19	26,5	26,5	-0,4	26,3	0,0	0,006493		
14	янв.20	26,2	26,2	-0,4	26,1	0,0	0,003957		
15	фев.20	25,8	25,8	-0,4	25,8	0,0	0,001455		
16	мар.20	25,1	25,1	-0,5	25,4	0,1	0,012853		
17	апр.20	22,8	22,8	-1,2	24,6	3,2	0,078701		
18	май.20	21,9	21,9	-1,1	21,6	0,1	0,014562		
19	июн.20	22,3	22,3	-0,5	20,8	2,2	0,066912		
20	июл.20	22,8	22,8	-0,1	21,8	1,0	0,043816		
21	авг.20	23,1	23,1	0,1	22,7	0,2	0,017398		
22	сен.20	23,4	23,4	0,2	23,2	0,1	0,010348		
23	окт.20	23,9	23,9	0,3	23,6	0,1	0,014472		
24	ноя.20	24,2	24,2	0,3	24,2	0,0	0,000347		
25	дек.20	24,8	24,8	0,4	24,5	0,1	0,012301		
26	янв.21	25,6	25,6	0,6	25,2	0,1	0,014992		
27	фев.21	26,9	26,9	0,9	26,2	0,5	0,027183		
28	мар.21	28,1	28,1	1,0	27,8	0,1	0,01212		
29	апр.21	28,5	28,5	0,8	29,1	0,4	0,020871		
30	май.21	29,1	29,1	0,7	29,3	0,0	0,005442		
31	июн.21	29,3	29,3	0,5	29,8	0,2	0,016908		
32	июл.21	30,2	30,2	0,7	29,8	0,2	0,013295		
33	авг.21	30,1	30,1	0,4	30,9	0,6	0,025186		
34	сен.21	30,3	30,3	0,3	30,5	0,0	0,005173		
35	окт.21	31,2	31,2	0,5	30,6	0,4	0,019409		
36	ноя.21	31,8	31,8	0,6	31,7	0,0	0,002039		
37	дек.21	30,5	30,5	-0,2	32,4	3,5	0,061014		
38	янв.22	31,6	31,6	0,3	30,3	1,6	0,040469		
39	фев.22	34,8	34,8	1,5	31,9	8,2	0,082485		
40	мар.22	38,5	38,5	2,4	36,3	5,0	0,057907		
41	апр.22	39,1	39,1	1,7	40,9	3,1	0,044931		
42	май.22	48,6	48,6	4,8	40,8	61,5	0,161349		
43	июн.22	51,5	51,5	4,0	53,4	3,5	0,036418		
44	июл.22	50,8	50,8	2,1	55,5	22,4	0,09311		
45	авг.22	49,9	49,9	0,9	52,9	9,3	0,061118		
46	сен.22	49,4	49,4	0,4	50,8	2,1	0,029098		
47	окт.22	49,3	49,3	0,2	49,8	0,2	0,009453		
48	ноя.22	49,8	49,8	0,3	49,5	0,1	0,00641		
49	дек.22	51,4	51,4	0,8	50,1	1,7	0,025142		
50	янв.23	50,3	50,3	0,1	52,2	3,7	0,038199		
51	фев.23	47,9	47,9	-0,9	50,4	6,0	0,051307		
52	мар.23	47,2	47,2	-0,8	47,0	0,0	0,004646		
53	апр.23	46,5	46,5	-0,8	46,4	0,0	0,002842		
54	май.23	45,1	45,1	-1,0	45,7	0,4	0,013756		
55	июн.23	44,8	44,8	-0,7	44,1	0,5	0,01621		

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет інформаційних технологій

Декларація про академічну доброчесність та використання ШІ

ДЕКЛАРАЦІЯ ЗДОБУВАЧА

Я, Дворник Борис Борисович, здобувач НУБіП України, усвідомлюючи відповідальність за порушення академічної доброчесності, цією заявою підтверджую, що:

1. Моя бакалаврська кваліфікаційна робота (проект) на тему «Аналіз та моделювання ціноутворення на ринку пального України» є результатом моєї особистої праці.
2. Усі запозичення з текстів інших авторів мають відповідні посилання згідно з чинними стандартами.
3. Щодо використання інструментів ШІ зазначаю, що (обрати необхідне):
 - ☐ інструменти генеративного ШІ не використовувалися.
 - ☒ інструменти ШІ (ChatGPT, DeepL) були використані для:
 - ☒ перекладу іншомовних джерел;
 - ☒ стилістичного редагування та перевірки граматики;
 - ☐ допомоги у написанні/відлагодженні програмного коду;
 - ☐ інше: _____.

Я розумію, що надання недостовірної інформації може призвести до скасування результатів захисту та відрахування з числа здобувачів НУБіП України.

«__» червня 2026 р. _____ Борис ДВОРНИК