

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

Інститут інформаційних технологій в економіці

Кафедра штучного інтелекту, моделювання та статистики

Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика і Дата Сайнс»

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

Форма здобуття освіти: очна (денна)

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему «Прогнозування втрат експортного потенціалу аграрного сектору
України із застосуванням нечіткої кластеризації»
(назва теми)

здобувача _____ Ковальчука Серафима Віталійовича
(ПІБ, підпис)

Науковий керівник: _____ д. е. н., професор Андрій МАТВІЙЧУК

(підпис)

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

Завідувач кафедри: к. ф.-м. н., професор
Галина ВЕЛИКОІВАНЕНКО

(підпис)

Київ 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ВПЛИВ ВІЙНИ НА АГРАРНИЙ РИНОК	6
1.1. Огляд літератури	6
1.2. Зміни цін та індексів на сільськогосподарську продукцію	9
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ НА БЕЗПЕКУ ГЛОБАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ ПРОДОВОЛЬСТВА.....	22
2.1. Системний аналіз впливу війни росії проти України на глобальні ланцюги постачання продовольства.....	22
2.2. Наслідки війни в Україні для світових аграрних ринків і ланцюгів постачання	24
2.3. Логістичні наслідки війни в Україні та політична реакція ЄС на продовольчу кризу	31
РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ ЕКСПОРТНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АГРАРНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ	40
3.1. Опис методології, відбір факторів та їх обробка для оцінювання експортного потенціалу аграрного сектору	40
3.2. Нечітка кластеризація та побудова прогнозних моделей	58
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	78

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть аграрні ринки пройшли ті самі етапи глобалізації, що й ринки енергоносіїв, капіталу чи високотехнологічної продукції. Це означає не лише розширення можливостей для торгівлі й інвестицій, а й зростання уразливості до зовнішніх шоків. Особливість сільськогосподарського сектору полягає в тому, що він безпосередньо відповідає за задоволення базової потреби людини - потреби в їжі. Будь-які перешкоди в його роботі швидко трансформуються у проблеми продовольчої безпеки, зростання голоду, соціальну та політичну нестабільність у різних регіонах світу. Події останніх років – пандемія COVID-19, війна в Україні, конфлікти в Ефіопії та інших країнах – переконливо показали, наскільки крихкою може виявитися глобальна продовольча система за умов поєднання санітарних, воєнних та економічних криз.

Збройна агресія Росії проти України має особливо вагомі наслідки саме для аграрного сектору. Україна до початку повномасштабної війни була одним із ключових постачальників аграрної продукції на світові ринки: йдеться не лише про зернові, а й про олійні культури, продукти переробки, окремі види тваринницької продукції. Руйнування виробничої інфраструктури, мінування та тимчасова втрата частини угідь, дефіцит робочої сили, блокада портів, перебудова логістичних ланцюгів і зростання трансакційних витрат призвели до відчутного скорочення фактичного експорту в порівнянні з довоєнними можливостями. При цьому частина втрат пов'язана не стільки з фізичним знищенням ресурсів, скільки з неможливістю повною мірою реалізувати наявний експортний потенціал аграрного сектору в умовах війни.

Глобалізовані ланцюги постачання сільськогосподарської продукції, з одного боку, дають змогу частково компенсувати дефіцит в одних країнах за рахунок поставок з інших. З іншого боку, вони посилюють взаємозалежність між ринками та роблять аграрний сектор чутливим до геополітичних ризиків, перебоїв транспортування, торговельних обмежень і регуляторних рішень. Порушення

морських маршрутів через Чорне море, перевантаження сухопутної інфраструктури, зміна напрямків потоків сировини та готової продукції – усе це створює додаткові бар'єри для українського експорту та змушує виробників і продавців адаптуватися до більш складних умов. Для державної політики та бізнесу критично важливо не лише констатувати факт падіння експорту, а й кількісно оцінити, якими могли б бути обсяги постачань за відносно «нормальних» умов, і, відповідно, якими є втрати експортного потенціалу через війну. Це дасть можливість виявити фактори, що опосередковано впливають на падіння економіки, та визначити пріоритети державної політики з попередження їх наслідків, формування рішень з ефективного розвитку аграрної галузі та забезпечення продовольчої безпеки.

Значний внесок у вивчення наслідків війни в Україні для міжнародної торгівлі й глобальної продовольчої безпеки зробили Т. Глаубен, М. Сванідзе, Л. Гетц, М. Михайлова, О. Яценко, С. Хе, Д. Гейс, В. Чжан та інші дослідники, чиї роботи висвітлюють зміни у виробництві, логістиці та динаміці цін на сільськогосподарську продукцію. Питання впливу збройних конфліктів на сільське господарство та продовольчу безпеку розглядаються також у публікаціях FAO, Світового банку, ЄС, а просторові та економічні наслідки криз детально аналізуються в роботах В. Олсен, С.Ю. Лі, З. Чжан та інших науковців.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи моделей на основі нечіткої кластеризації та її застосування для оцінювання втрат експортного потенціалу аграрного сектору України в умовах війни.

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

- розкрити теоретичні засади функціонування аграрних ринків в умовах глобалізації та збройних конфліктів, а також їхнього впливу на продовольчу безпеку й стабільність ланцюгів постачання;
- проаналізувати зміни у світовому та національному аграрному секторі під впливом війни в Україні, зокрема трансформацію логістичних маршрутів, структури експорту та інвестиційної активності;

- розробити методику формування бази даних, попередньої обробки та уніфікації даних, включно з нормуванням і трансформацією змінних, усуненням мультиколінеарності та відбором ключових факторів експортного потенціалу;
- побудувати модель нечіткої кластеризації країн за траєкторіями відібраних показників аграрного розвитку та інтерпретувати отримані кластери;
- побудувати моделі прогнозування експортного потенціалу аграрного сектору країн кожного з кластерів та здійснити прогнозні розрахунки для України;
- на основі порівняння прогнозних та фактичних значень кількісно оцінити втрати експортного потенціалу аграрного сектору України в результаті російської військової агресії.

Об'єктом дослідження є експортний потенціал аграрного сектору України в системі глобального сільськогосподарського ринку в умовах російської військової агресії.

Предметом дослідження є методи та інструменти штучного інтелекту та машинного навчання, що застосовуються для оцінювання динаміки та втрат експортного потенціалу аграрного сектору України.

Інформаційною базою кваліфікаційної роботи є статистичні дані Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), Світового банку та інших міжнародних баз даних щодо виробництва, торгівлі, цін та ресурсного забезпечення аграрного сектору, а також офіційна статистика України за період 2000–2023 років. Для теоретичного обґрунтування та інтерпретації результатів використовуються наукові праці, аналітичні звіти міжнародних організацій, документи ЄС та профільних міністерств, що висвітлюють вплив російсько-української війни на аграрні ринки, глобальні ланцюги постачання й продовольчу безпеку, а також класичні та сучасні дослідження з економетрики, аналізу панельних даних і нечіткої кластеризації.

РОЗДІЛ 1

ВПЛИВ ВІЙНИ НА АГРАРНИЙ РИНОК

1.1. Огляд літератури

Протягом останніх двох десятиліть сільськогосподарські ринки зазнали сильних процесів інтернаціоналізації та глобалізації, а це означає, що все більше сільськогосподарських продуктів перетинає кордони держав і регіонів. Наприклад, світовий експорт пшениці зріс із 116,0 млн тонн у середньому за 2001–2005 роки до 176 млн тонн у 2016–2020 роках, тобто на 52,0%, кукурудзи в той же час з 70 млн тонн до 158 млн тонн (зростання на 126,0%), а соняшникової олії з 3 млн тонн до 13 млн тонн (зростання на 334,0%) [1].

Глобальна економіка стала відкритою до міжнародної торгівлі, однак у періоди повномасштабних збройних конфліктів її обсяги різко скорочуються. Саме таким конфліктом стала війна Росії проти України. Додатковим фактором нестабільності є її невизначена тривалість і відсутність чітких перспектив завершення. У таких умовах дедалі більше держав шукають шляхи мінімізації ризиків, особливо в тих сферах, що мають критичне значення: енергетиці, сировинних та високотехнологічних галузях, безпеці й обороні, а також – і це не менш важливо – у продовольчому та аграрному секторах. Цей стан відображається у різкій мінливості торговельних потоків, руху капіталу, міграції, а в кінцевому підсумку – у глобальному порядку світу. Це наслідок самої глобалізації та пов'язаних з нею постійних потрясінь, які призводять до розбіжностей та поляризації між окремими країнами, всупереч часто висловлюваним думкам, що в цьому процесі всі є переможцями [2].

Однак дискусії та заклики до відмови від глобалізації також не є вигідним рішенням, якщо не для всіх, то для більшості. Адже прогресивна спеціалізація праці призвела до багатьох складних взаємовідносин, в рамках яких компанії

виробляють деталі або напівфабрикати для віддалених клієнтів. Технології зазнали змін, ланцюги поставок стали довшими, що додатково збільшує ризик зривів [3].

Збройні конфлікти викликають глибокі порушення у функціонуванні світових сільськогосподарських ринків. Вони призводять до розриву глобальних ланцюгів поставок, погіршення нестабільності цін на продовольство та обмеження його доступності для споживачів у багатьох країнах. Вони також мають далекосяжні наслідки для глобальної продовольчої безпеки, оскільки країни, які залежать від імпорту сільськогосподарської продукції з територій, охоплених збройними конфліктами, змушені шукати альтернативні джерела постачання, що, як правило, призводить до надзвичайної нестабільності цін на сільськогосподарську продукцію. Це також ставить міжнародний агропромисловий ринок перед низкою викликів, пов'язаних з виробництвом і розподілом продовольства. Умови прогресуючої глобальної геополітичної нестабільності, спричиненої збройними конфліктами, змушують окремі країни створювати національні резерви продовольчої безпеки, зокрема шляхом встановлення додаткових мит та впровадження нетарифних заходів, у тому числі повної заборони експорту таких продуктів [4].

Крім того, військові дії ставлять світові продовольчі ринки під високий ризик, особливо через зростання незадоволеного попиту, нестабільні ціни на продовольство на міжнародних ринках і, нарешті, погіршення продовольчої ситуації в багатьох країнах. Війни, що підтверджує військовий конфлікт в Україні, Ефіопії та інших частинах світу, безпосередньо призводять до зростання цін на продовольство, корми для худоби, добрива, паливо, засоби захисту рослин тощо, що має негативний вплив на економічне зростання та ВВП багатьох країн, навіть тих, що знаходяться далеко від територій, охоплених війною.

Згідно з дослідженням, проведеним у 2023 році ФАО на вибірці близько 2,0 тис. сільськогосподарських господарств в Україні, наслідки війни були такими:

а) господарства, розташовані в районах військових дій, зафіксували близько 20% зниження площі посівів зернових та олійних культур,

б) 93% господарств, що займаються рослинництвом, і 76% господарств, що займаються тваринництвом, зафіксували зростання виробничих витрат,

в) близько 90% господарств, що займаються рослинництвом, зафіксували зниження доходів,

г) майже 40% усіх господарств змінили свої рішення щодо сільськогосподарської діяльності через війну,

д) більшість сільськогосподарських господарств, що займаються вирощуванням рослин, та 50,0% господарств, що займаються розведенням тварин, мали труднощі, пов'язані з виробництвом та продажем сільськогосподарської продукції [5].

Це реальні події, що є наслідком збройного конфлікту. Їх наслідком є не тільки ослаблення виробничого потенціалу сільського господарства, але й, що важливо для споживачів, серйозне скорочення потоку сільськогосподарської продукції, що надходить на ринок. Крім того, продукція часто є нижчої якості, але дорожчою. Зміни на світових сільськогосподарських ринках внаслідок війни в Україні, Ефіопії та інших регіонах мали і продовжують мати вплив на ціни на сільськогосподарську продукцію та засоби виробництва, а в кінцевому підсумку – на ціни на продукти харчування. Згідно з різними сценаріями, що передбачають зниження експорту основних сільськогосподарських культур Україною на рівні від 25,0% до 50,0% та зростання цін на мінеральні добрива в діапазоні 100,0–150,0% до 2025–2026 років, ціни на основні рослинні продукти можуть додатково зрости від 11,7% у випадку рису, 22,5% соняшникової олії, до 24,9% у випадку кукурудзи. Що стосується продуктів тваринного походження, то зростання може становити від 8,6% для яловичини, 10,0% для птиці до 11,7% для свинини [6].

Вплив війни на рівень сільськогосподарського виробництва та продовольчу безпеку держав підтверджують випадки в інших частинах світу. Наприклад, збройний конфлікт у Південному Судані в 2016–2018 роках призвів до зменшення площі орних земель на 16% [7], а в результаті громадянської війни в Сирії, що розпочалася в 2011 році, відбулося значне скорочення орних земель у північно-західних і південно-східних регіонах країни [8].

Проблеми в галузі сільського господарства та продовольства, що виникли внаслідок збройних конфліктів, в останні роки додатково посилюються надзвичайно несприятливими погодними умовами. Роки 2020–2022 були періодом надмірної активності кліматичного явища «Ла-Нінья» [9]. Значна частина світу зазнала зимових посух і подальшого погіршення стану водних ресурсів, що є особливо небезпечним у регіонах, де і без того вже було зафіксовано рекордно низький рівень води. У свою чергу, сухі та м'які зими знизили якість і доступність кормів, а також збільшили тиск шкідників, що вплинуло на врожайність. Разом з екстремальними погодними явищами, які стають все частішими через зміни клімату, все більш імовірним стає також виникнення весняних заморозків або літніх посух, що додатково збільшує невизначеність щодо перспектив сільського господарства в багатьох регіонах світу.

1.2. Зміни цін та індексів на сільськогосподарську продукцію

1.2.1. Зміни цін на сільськогосподарську продукцію на світових біржах

Війна в Україні та інших країнах суттєво вплинула на більшість сільськогосподарських ринків. Це видно на прикладі основних зернових культур світу, тобто пшениці та кукурудзи. Світова торгівля цими продуктами, яка виявилася відносно «стійкою» до наслідків пандемії COVID-19, дуже сильно відреагувала на військовий конфлікт в Україні. Ціна на пшеницю, яка на кінець 2021 року становила 220,3 євро/тонну, зросла до 257,0 євро/тонну на кінець березня і аж до 290,0 євро/тонну у вересні 2022 року, тобто на 31,6% за 9 місяців (рисунок 1.1).

Періодично з лютого по травень ціни були ще вищими. Ситуацію частково пом'якшила підписана в липні 2022 року так звана Чорноморська зернова ініціатива, яка дозволяє експортувати українське зерно через цю акваторію.

Зміни цін відбувалися в надзвичайно різний спосіб у різних регіонах та країнах світу. Так, наприклад, з січня по червень 2022 року ціна на пшеницю зросла: в росії

на 1,0 %, в Таїланді на 7,5 %, в США на 12,5 %, в Німеччині на 34,0 %, в Перу на 69,6 % і в Туреччині аж на 102,5 %.

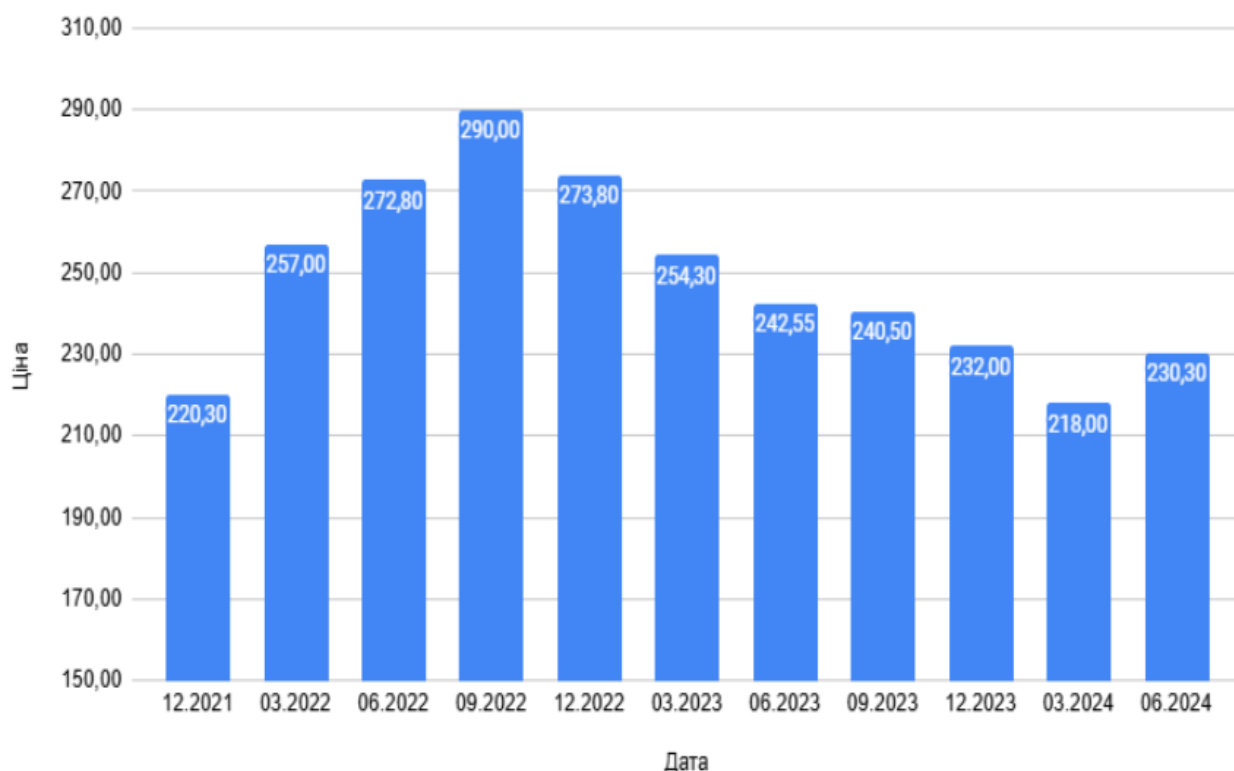


Рисунок 1.1 - Ціни на пшеницю в 2021–2024 роках на біржі MATIF (євро/тонна)

Джерело: розроблено автором на основі [10]

Отже, вони були наслідком дуже мінливої реакції на початок війни, що залежала від добробуту конкретної країни, оцінки можливого перебігу війни, турботи про продовольчу безпеку власного суспільства та, безсумнівно, впливу факторів, не пов'язаних з війною, а з місцевими процесами, такими як погодні умови, мінливість цілей сільськогосподарської політики тощо.

Схожа за перебігом змін і реакцією на війну в Україні була ситуація на ринку кукурудзи. З грудня 2021 року по вересень 2022 року ціни на цей продукт зросли аж на 40,3% (рисунок 1.2). Поступова стабілізація, як і у випадку з ринком пшениці, була наслідком тих самих причин.

Повторне зростання цін на ці два продукти, проте значно м'якше, ніж у 2022 році, відбулося в перші місяці 2024 року. Це було спричинено тривалими

напруженнями в регіоні Чорного моря після виходу росії з Зернової ініціативи, а також накопиченням несприятливих погодних умов у багатьох регіонах світу та побоюваннями щодо зниження виробництва кукурудзи через пошкодження посівів у основних виробників (Аргентина).

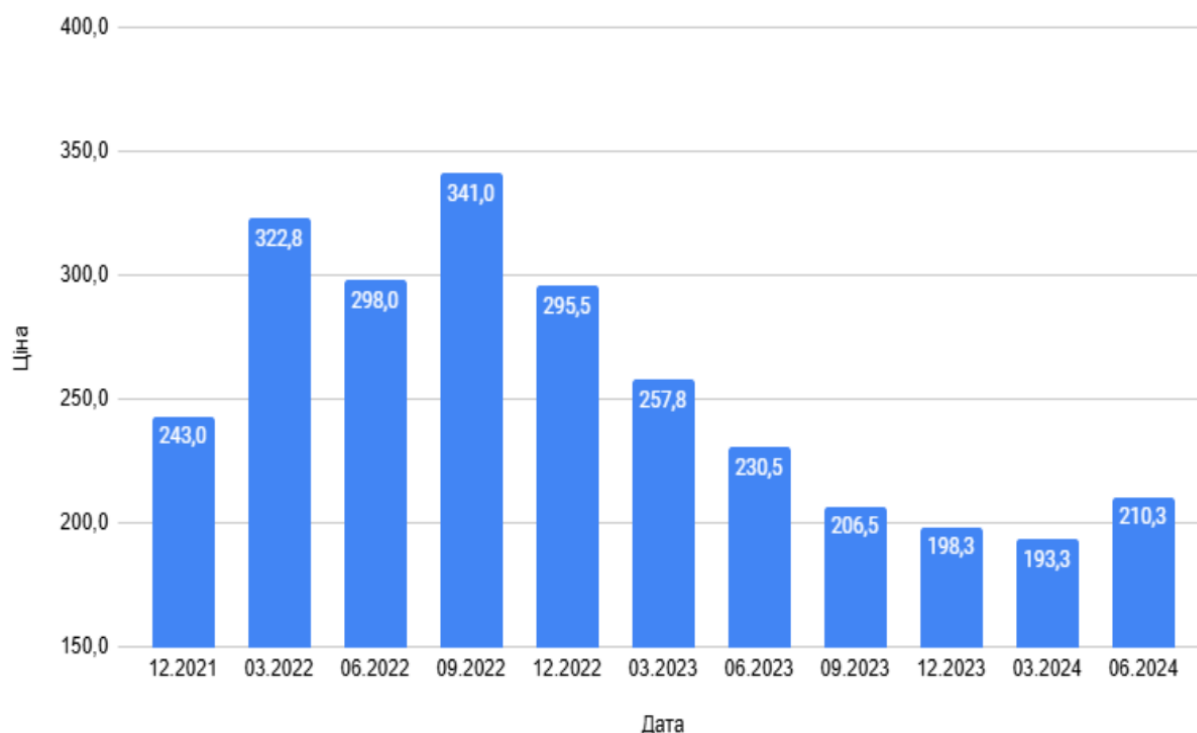


Рисунок 1.2 - Ціни на кукурудзу в 2021–2024 роках на біржі MATIF (євро/тонна)

Джерело: розроблено автором на основі [10]

Винятково різкі зміни відбулися також на ринку ріпаку. У випадку цього продукту додаткові імпульси зростання та падіння зумовлені тим, що він використовується як джерело харчової олії та біопалива, а також тим, що коливання тут корелюються з поведінкою ринків інших олійних культур, таких як соя та соняшник. Отже, зміни на цих ринках автоматично поширюються на ринок ріпаку. Війна в Україні була основною причиною зростання цін на ріпак протягом трьох місяців (грудень 2021 р. – березень 2022 р.) на 25,6% (рисунок 1.3). У квітні 2022 р. це зростання склало навіть 43,4%, однак наприкінці цього місяця почалася стійка тенденція до зниження, що було пов'язано, з одного боку, з ефективними заходами щодо нових шляхів транспортування сільськогосподарських культур з України,

включаючи ріпак і соняшник, а з іншого боку, з поліпшенням погодних умов у основних виробників ріпаку (росія, Австралія).

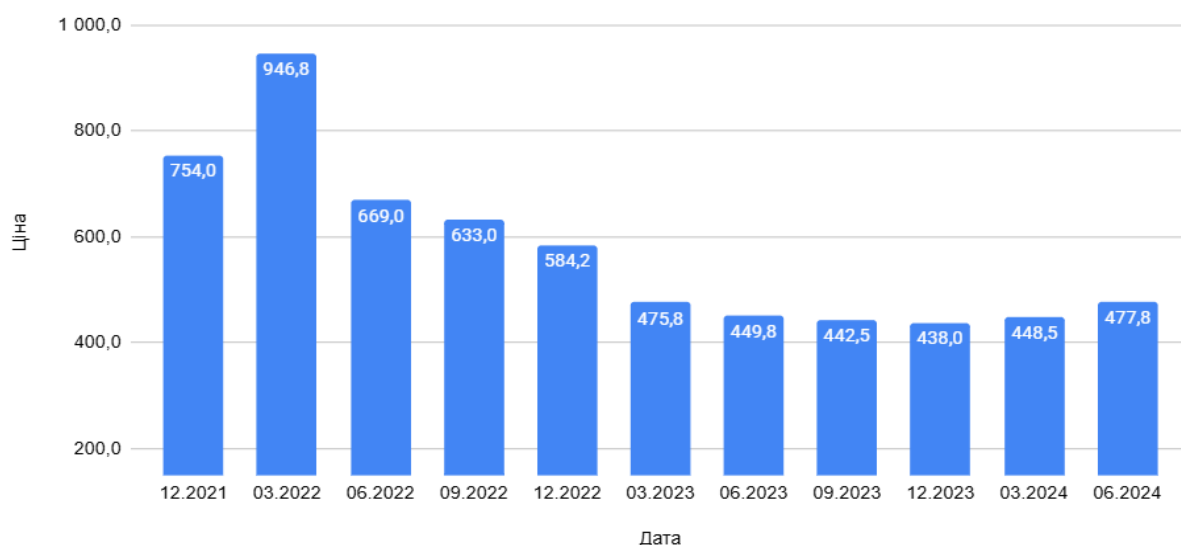


Рисунок 1.3 - Ціни на ріпак у 2021–2024 роках на біржі MATIF (євро/тонна)

Джерело: розроблено автором на основі [10]

Ринок сої не відреагував на російську агресію такими різкими змінами, як ринки, проаналізовані вище. З грудня 2021 року по вересень 2022 року ціни на цей продукт зросли на 11,4%, а на кінець 2022 року зростання досягло рівня 16,2% (рисунок 1.4).

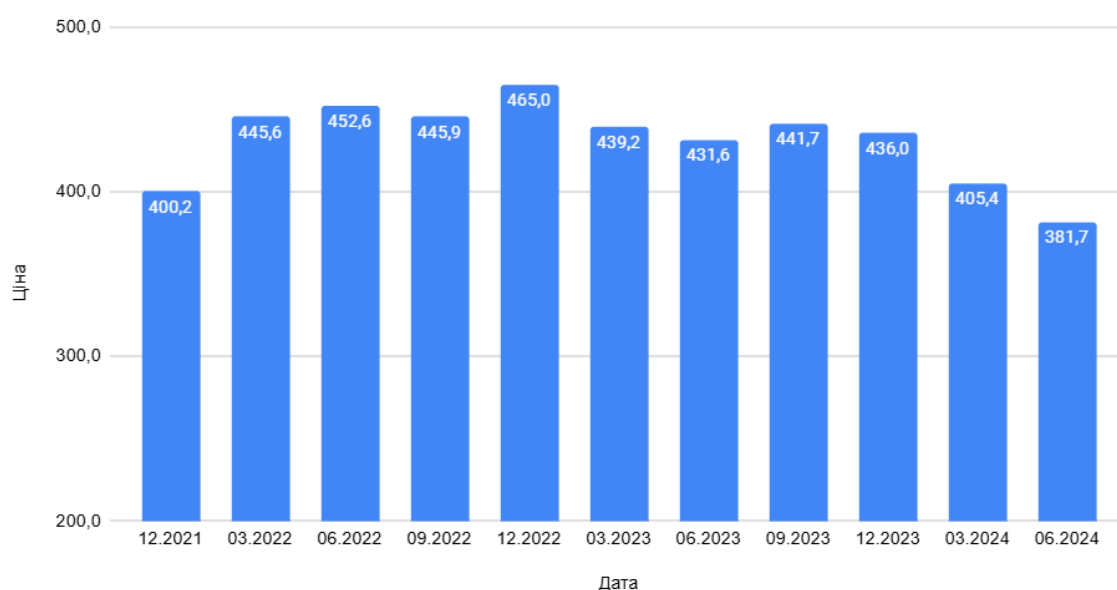


Рисунок 1.4 - Ціни на сою в 2021–2024 роках на біржі CBoT (EUR/тонна)

Джерело: розроблено автором на основі [10]

Після цього відбувалося постійне повільне зниження. Ці менші коливання цін на ринку сої порівняно з іншими сільськогосподарськими ринками, головним чином зерновими, слід пояснювати насамперед віддаленістю основних регіонів вирощування сої від місця збройного конфлікту (більша частина світового виробництва припадає на 3 країни, а саме: Бразилію, Сполучені Штати та Аргентину).

На ринку масла відбувалися і відбуваються надзвичайно бурхливі зміни. Зростання цін на цей продукт спостерігалось вже з середини 2020 року, після надзвичайно різкого падіння в момент спалаху пандемії COVID-19 і обмеження попиту, перш за все, з боку сектора HoReCa у зв'язку з локдауном. Поступова стабілізація світової економіки та вихід з рецесії після пандемії вплинули на зростання попиту і, як наслідок, цін на масло. Вибух війни в Україні став додатковим імпульсом до зростання, в результаті чого ціни на масло з грудня 2021 року по вересень 2022 року зросли на 30,8% (рисунок 1.5).

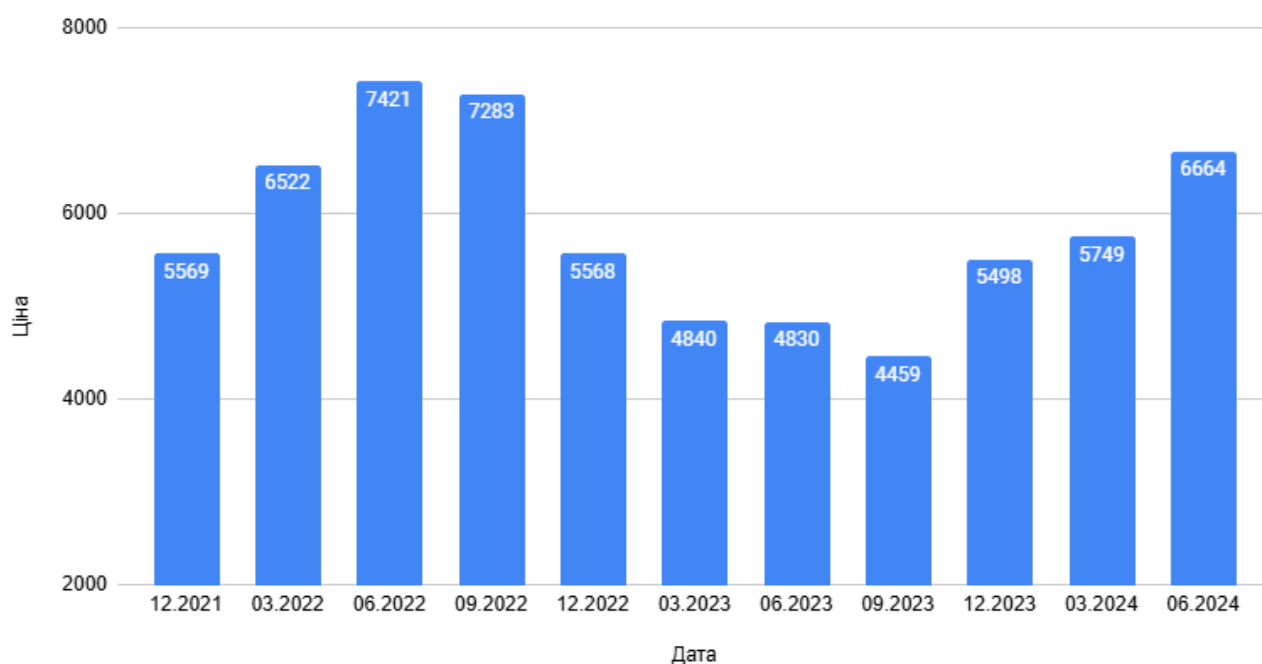


Рисунок 1.5 - Ціни на масло в 2021–2024 роках на біржі EEX, Лейпциг (євро/тонна)

Джерело: розроблено автором на основі [10]

Причиною такого значного зростання було головним чином підвищення виробничих витрат, у тому числі витрат на енергію, пов'язане з початком війни в Україні та зростанням цін на нафту і газ. Кінець 2022 року та більша частина 2023 року – це період зниження цін на масло у зв'язку зі зменшенням перебоїв у постачанні олійних культур з України, які є заміником масла. Наприкінці 2023 року та в середині 2024 року ціни на масло знову зростуть у зв'язку зі зростанням попиту на інші молочні продукти (вершки, молочні напої) і, як наслідок, обмеженням виробництва масла.

Ринок масла є прикладом сільськогосподарського ринку, який ілюструє, наскільки мінливими та різноспрямованими можуть бути зміни на сільськогосподарському ринку та скільки факторів на них впливає. Це, в основному, є наслідком високої диверсифікації продукції на ринку молочних продуктів у порівнянні, наприклад, з ринком пшениці чи кукурудзи.

З іншого боку, ринок цукру значною мірою не слідує за ринками інших сільськогосподарських продуктів, а підпорядковується власним закономірностям і мінливості. Зростання і падіння цін на цьому ринку адже вони почалися ще до воєн 2022 року. У перші місяці 2020 року відбулося різке зростання цін на цукор внаслідок зменшення його пропозиції у 2019 році в Бразилії та країнах Європейського Союзу, спричиненого несприятливими погодними умовами (посухами) та масовим поширенням шкідників і хвороб. У тому ж півріччі 2020 року відбулося значне зниження цін (приблизно на 20,0%), причиною якого стало зменшення глобального попиту у зв'язку з обмеженнями, введеними після спалаху пандемії COVID-19. У наступному 2021 році було зафіксовано повторне зростання цін на цукор у зв'язку з прогнозом скорочення виробництва – як наслідок поганих погодних умов під час посіву та збору цукрових буряків в Європі, а також наслідком введення ЄС правил щодо заборони використання в вирощуванні цукрових буряків засобів захисту рослин, що містять неонікотиніди. Вибух війни в Україні вплинув на зростання цін на цукор з грудня 2021 року по червень 2022 року лише на 4,9%, що значно менше в порівнянні з іншими ринками. Значне зростання було зафіксовано лише в 2023 році, коли з грудня 2022 року по вересень

2023 року ціни зросли на 32,3% (рисунок 1.6). Головним чином це було спричинено складними погодними умовами, які вплинули на зниження врожайності та обсягів збору врожаю (посуха в Азії, проливні дощі в Європі, що повністю унеможливило збір врожаю французьким і голландським фермерам).

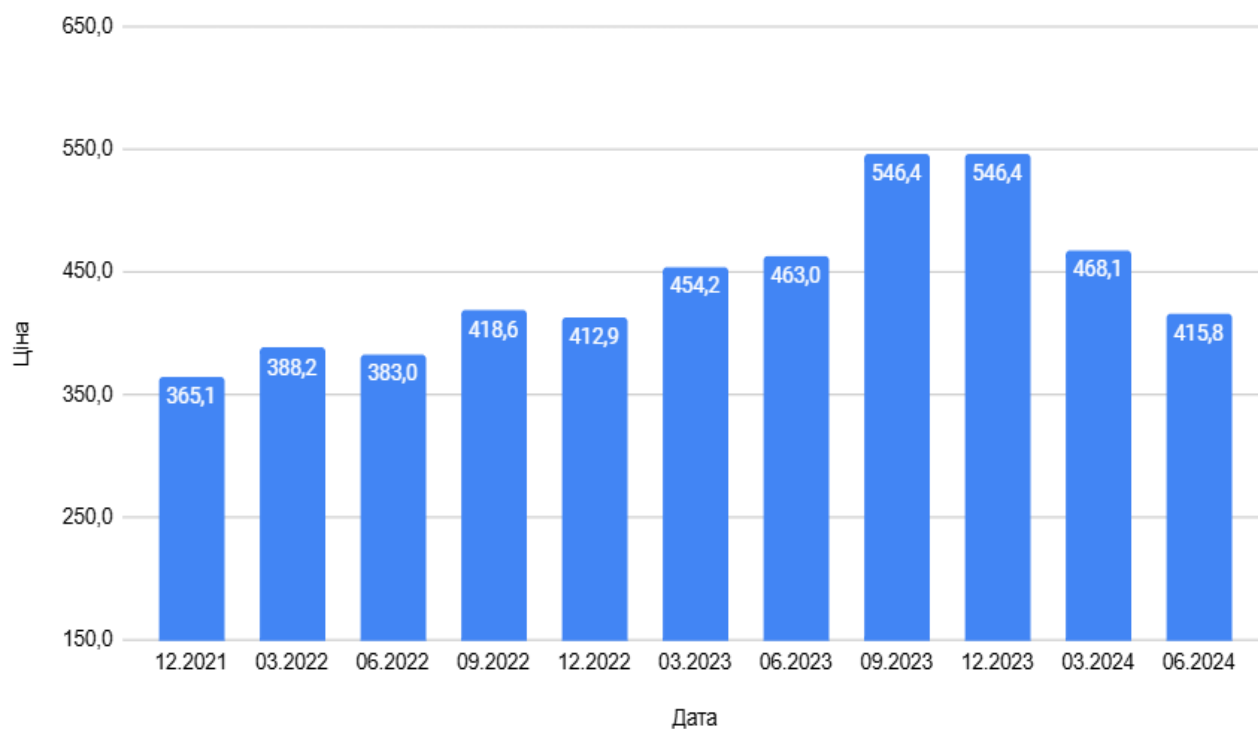


Рисунок 1.6 - Ціни на цукор у 2021–2024 роках на біржі ICE (євро/тонна)

Джерело: розроблено автором на основі [10]

Ринок цукру не слідує загальним тенденціям та мінливості інших сільськогосподарських ринків. У аналізованому періоді збройних конфліктів 2022 року він демонстрував тенденції, протилежні до інших сільськогосподарських ринків. У цьому випадку, однак, на відміну від ринку сої, ця відмінність не зумовлена просторовою віддаленістю від місць збройних конфліктів. Причиною його відмінності є скоріше місце цього продукту в раціоні харчування та забезпечення продовольчої безпеки. Цукор не належить до продуктів, що становлять основу харчування. Тому він не займає пріоритетного місця в стратегіях продовольчої безпеки. Таким чином, реакції ринку визначаються іншими факторами, ніж, наприклад, ті, що викликають коливання цін на зерно, молоко або м'ясо. Звичайно, це все ще є пропозиція і попит, але сприймаються, наприклад,

через призму погодних умов та загроз з боку шкідників і хвороб рослин, а не загроз голоду чи недоїдання. Звідси й інші реакції на сигнали про пропозицію та попит на цей продукт.

1.2.2. Зміни рівня індексу цін на продовольство ФАО

Зміни котирувань на сільськогосподарських біржах на основі передачі ринкових сигналів впливають на ціни щодо продуктів харчування. Це типовий економічний процес, який в основному свідчить про еволюцію в області попиту та пропозиції. Це сигнал, що вказує на ринкову нерівновагу. До цього механізму збройні конфлікти додають додаткові імпульси, що впливають з «невизначеності завтрашнього дня». Така ситуація мала місце після російського вторгнення в Україну в лютому 2022 року. Індекс світових цін на продовольство, який розраховує ФАО (FFPI), який ще в грудні 2021 року становив 133,9 пункти, на кінець березня, тобто через один повний місяць після початку війни, зріс до 160,3 пунктів (рисунок 1.7). З січня 2021 року зростання було ще більшим, оскільки склало аж 41,2%. Наступні місяці принесли систематичне зниження, і на кінець 2022 року FFPI повернувся до рівня, що був до війни. Це значне зниження, яке випередило навіть коливання цін на біржах, було значною мірою наслідком структури самого показника, який реєструє ціни на продукти харчування для 160 країн і близько 260 продуктів харчування, тобто також для країн, віддалених від місць військових конфліктів, а також для продуктів, важливих виключно для раціону харчування в окремих країнах.

Ціни на окремі сільськогосподарські та харчові продукти відреагували на російську агресію надзвичайно по-різному. У березні 2022 року ціни на зерно зросли до 170,1 пункту, на рослинні олії – до 251,8 пункту, але на м'ясо – лише до 119,4 пункту, а на цукор – до 117,9 пункту. У вересні, коли FFPI зафіксував тенденцію до зниження, ціни на окремі групи продуктів становили: цукор – 109,7 пункту, м'ясо – 120,3 пункту, зерно – 147,9 пункту та рослинні олії – 152,6 пункту. До кінця 2022 року стабілізація була зафіксована на всіх п'яти ринках, що

спостерігаються в рамках FFPI, крім ринку зернових, рослинної олій та регіональним ринком молочних продуктів. Таким чином, продукти, що походять з України, тобто з території військових дій, продовжували демонструвати високий рівень цін порівняно з періодом до російської агресії.

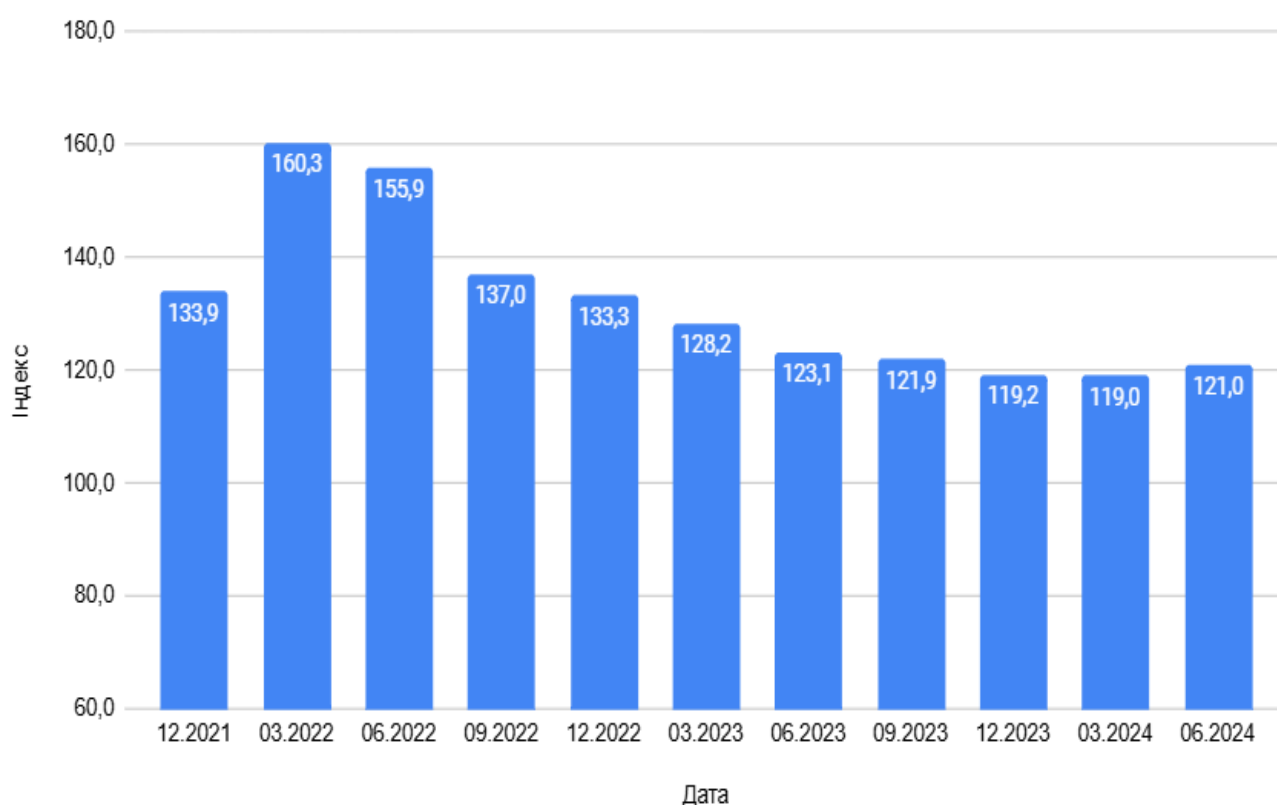


Рисунок 1.7 - Зміни рівня індексу цін на продовольство ФАО в 2021–2024 роках

Джерело: розроблено автором на основі [11]

1.2.3. Зміни рівня індексу GFSI

Зміни, такі значні, як це мало місце в першій половині 2022 року на основних світових біржах після початку війни в Україні, не могли не залишити свого «відбитку» на стані продовольчої безпеки світу, а також окремих регіонів і країн. Це також знайшло своє відображення в рівні глобального індексу продовольчої безпеки, що оцінює здатність країн забезпечувати населення доступною, якісною

та стабільною їжею (GSFI). Він формується на основі кількох ключових блоків: доступність продовольства, наявність, якість і безпека харчування та стійкість до ризиків. Чим він вищий тим краща продовольча безпека. Протягом кількох років цей індекс демонструє все вищий ризик, пов'язаний із збройними конфліктами та політичною нестабільністю. У 2022 році глобальний GFSI сформувався на рівні 62,2 бали (з 100 можливих), що означає зниження приблизно на 1,0% порівняно з 2019 роком, і коливався від 78,6 балів для Північної Америки та 74,8 балів для Європи до 47,0 балів для Африки на південь від Сахари [12].

У окремих країнах ситуація була і залишається ще більш різноманітною. У досліджувані роки 2019–2022 деякі країни значно поліпшили свою ситуацію з точки зору рівня продовольчої безпеки, а в деяких вона значно погіршилася. До першої групи належать, зокрема, такі країни, як Чехія (поліпшення позиції на 16 позицій з 32 на 16 серед 113 країн), Казахстан (+16), Японія (+15) та Еквадор (+15) (таблиця 1.1).

Перелічені країни представляють географічно віддалені одна від одної частини світу, а підвищення рівня їх продовольчої безпеки було головним чином наслідком місцевих, національних заходів. Наприклад, у Чехії це було поліпшення економічної (цінової) доступності та якості продовольства, у Казахстані – поліпшення фізичної доступності продовольства (пропозиції) внаслідок дешевого імпорту з росії, на яку були накладені експортні санкції, а в Японії – зростання фізичної та економічної доступності продовольства.

На протилежному полюсі опинилися країни, в яких стан продовольчої безпеки значно погіршився. До таких належать: Єгипет (-22), Колумбія (-21), Білорусь (-19), Аргентина (-17) та Нігерія (-13). Більшість країн – за деякими винятками, в яких стан продовольчої безпеки в 2019–2022 роках погіршився, розташовані в безпосередній близькості від збройних конфліктів або їхня безпека значною мірою залежала від імпорту продовольства з країн, охоплених збройними конфліктами (наприклад, країни Близького Сходу та Африки).

Таблиця 1.1 - Рівень індексу GFSI та місце в рейтингу в 2019 та 2022 роках у вибраних країнах з найбільшими змінами в рейтингу.

№	Країна	2019		2022		Зміна місця
		бали	позиція	бали	позиція	
1	Чехія	73,1	32	77,7	16	+16
2	Казахстан	67,3	48	72,1	32	+16
3	Японія	76,5	21	79,5	6	+15
4	Еквадор	61,8	63	65,6	48	+15
5	Китай	71,0	35	74,2	25	+10
6	Португалія	77,8	20	78,7	10	+10
7	Іспанія	75,5	25	75,7	20	+5
8	Україна	57,1	76	57,9	71	+5
9	Нова Зеландія	78,8	19	77,8	14	+5
10	Польща	75,6	24	75,5	21	+3
11	Італія	75,8	23	74,0	27	-4
12	Судан	45,7	99	42,8	105	-6
13	Сирія	38,4	107	36,3	113	-6
14	Ефіопія	49,2	91	44,5	100	-9
15	Гаїті	43,3	103	38,5	112	-9
16	Південна Корея	73,6	29	70,2	39	-10
17	Саудівська Аравія	73,5	30	69,9	41	-11
18	Бразилія	70,1	39	65,1	51	-12
19	Нігерія	48,4	94	42,0	107	-13
20	Аргентина	70,8	37	64,8	54	-17
21	Білорусь	70,9	36	64,5	55	-19
22	Колумбія	69,4	43	60,1	64	-21
23	Єгипет	64,5	55	56,0	77	-22

Джерело: розроблено автором на основі [12]

Потрясіння 2020–2022 років, тобто пандемія COVID-19, а потім війна в Україні, а також конфлікти в інших частинах світу в поєднанні з накопиченням екстремальних погодних явищ, продемонстрували виняткову крихкість світової продовольчої системи та наслідки, що випливають з цього, у вигляді ослаблення системи продовольчої безпеки все більшої кількості країн. Саме збройні конфлікти є одним з головних чинників, що спричиняють відсутність цієї безпеки, оскільки вони негативно впливають майже на всі аспекти продовольчої системи, від збору врожаю, переробки та транспортування до постачання засобів виробництва, фінансування та споживання.

Висновок розділу

Як показали проведені дослідження, наслідком змін у потенціалі сільського господарства під впливом війни є передача їхніх наслідків на поведінку світових сільськогосподарських ринків (сільськогосподарських бірж), рівень цін на продовольство і, нарешті, продовольчу безпеку країн, особливо тих, що залежать від імпорту сільськогосподарської продукції та продовольства.

Проведені дослідження дозволяють сформулювати кілька висновків, важливих для кращого розуміння взаємозв'язків між поведінкою ринків і сільськогосподарських бірж та ризиком збройних конфліктів.

По-перше, вплив геополітичного ризику, яким є війна, на поведінку ринків і сільськогосподарських бірж зростає разом із загрозою реального виникнення збройного конфлікту і накопичується в першому періоді такого військового конфлікту. Це твердження підтверджують також дослідження інших авторів [13].

По-друге, значно більший вплив збройних конфліктів спостерігається у відношенні до продуктів, що становлять основу харчування та забезпечення продовольчої безпеки (значно більший у випадку пшениці, ніж цукру).

По-третє, збройний конфлікт послаблює довгострокові відносини на користь тимчасових, нестійких контактів.

По-четверте, сила впливу збройного конфлікту частково слабшає із збільшенням відстані до місця розташування ринку або біржі. Це стосується насамперед продуктів, які є менш важливими для раціону місцевого споживача.

З метою протидії наслідкам війни у сільському господарстві та харчовій промисловості вживаються численні заходи, стратегії та ініціативи. Однак між раніше застосовуваними підходами та сучасним існує принципова різниця. Вона стосується насамперед кількості зацікавлених сторін, залучених до протидії деградації потенціалу сільського господарства. Це чітко показує сільськогосподарська політика України [14], де започатковуються національні та міжнародні ініціативи, такі як Agriculture Growing Rural Opportunities у співпраці з USAID, створюються численні комунікаційні зв'язки з приватним сектором,

центрального уряду та місцевими органами влади, а також неурядовими організаціями (НУО), що дозволяє отримувати достовірні дані про стан сільського господарства та його потреби. Створюються та підтримуються тісні контакти з місцевими лідерами ринку, такими як великі переробні та торговельні підприємства, постачальники засобів виробництва та послуг, асоціації, впливові сільськогосподарські ЗМІ тощо. Створюються та реалізуються стратегії та програми підтримки та підвищення конкурентоспроможності, інклюзивності та стійкості ринкової системи в галузі сільського господарства та виробництва продуктів харчування.

Зміни в аграрній політиці, що вживаються окремими державами під впливом наслідків збройних конфліктів, як правило, спрямовані на окремі групи сільськогосподарських виробників. Вони не охоплюють усі господарства через прагнення досягти максимального ефекту. Як правило (що підтверджує приклад України), вони орієнтовані на господарства, які забезпечують основну частину поставок сільськогосподарської продукції на ринок, тобто найбільші та найпродуктивніші сільськогосподарські господарства [15].

Це неминуче призводить до прогресуючого і помітного розшарування загальної кількості господарств у даній країні, незалежно від того, чи є вона активним учасником військових дій, на все меншу групу більших господарств на одному полюсі і все більшу групу малих господарств на іншому. Ця своєрідна поляризація моделі сільського господарства є однією з наслідків впливу війни на економіку, в даному випадку на сільське господарство. Вплив, який не до кінця усвідомлений політично і соціально. Крім того, цей процес є деструктивним в соціальному аспекті та несприятливим для забезпечення резильєнтності аграрного сектору, оскільки сімейні господарства, які за розміром є меншими, як правило, є більш стійкими до виживання без державної допомоги, ніж великі промислові ферми чи агрохолдинги.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ НА БЕЗПЕКУ ГЛОБАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ ПРОДОВОЛЬСТВА

2.1. Системний аналіз впливу війни росії проти України на глобальні ланцюги постачання продовольства

Продовольча безпека визначається як стан, коли суспільство постійно має фізичний, соціальний та економічний доступ до достатньої кількості безпечної та повноцінної їжі. Більше того, ця їжа повинна відповідати їхнім потребам і харчовим уподобанням, не створюючи перешкод для ведення активного та здорового способу життя [16].

Викладена вище концепція може бути виражена в чотирьох основних вимірах [17], а саме: доступність [18], економічний та фізичний доступ до продуктів харчування для домогосподарств [19], утилітарність використання [20] та стабільність [21]. Слід зазначити, що забезпечення продовольчої безпеки на глобальному рівні є складним процесом, який в останні роки був порушений багатьма факторами, такими як COVID-19 або спалахи різноманітних збройних конфліктів у різних регіонах світу [22].

Відповідно до мети, основним предметом інтересу даного розділу є аналіз впливу війни росії проти України на глобальну продовольчу безпеку. Проведений аналіз літератури виявив ключові області та виміри цього впливу. Перш за все, цей збройний конфлікт спричинив зростання цін на продовольство та зменшення його доступності, що було проаналізовано в попередньому розділі [23]. Автори вказують, що військовий конфлікт спричинив значні порушення в логістиці та глобальних ланцюгах постачання [24]. Крім того, було порушено доступ до засобів сільськогосподарського виробництва та спостерігалось явище занедбання сільськогосподарських угідь в Україні, яка є основним експортером пшениці,

кукурудзи та соняшникової олії [25]. Бен Хассен та Ель Білалі вказують, що російська військова агресія також вплинула на країни Близького Сходу, Північної Африки та Суб-сахарської Африки, порушивши їх продовольчу безпеку через відсутність доступності та обмеження поставок (країни, які базують свою продовольчу економіку на імпорті з росії та України), а також через різке зростання цін на продукти. В результаті збройного конфлікту світові ціни на продовольство зросли приблизно на 5 % для сільськогосподарських культур і на 2 % для продовольства в ЄС [26].

Наступною сферою впливу є торгівля та виробництво. В результаті військового конфлікту багато країн, таких як росія, Україна, Індія чи Туреччина, запровадили диверсифіковані обмеження на експорт сільськогосподарської продукції, а інші пом'якшили імпорتنі обмеження, щоб збільшити імпорт продовольства. Країни також вжили заходів, спрямованих на обробіток спустошених земель або збільшення внутрішнього виробництва добрив і пшениці (Бразилія), з метою поліпшення продовольчої самодостатності та зменшення залежності від імпорту [27].

Аналіз літератури також показав довгострокові наслідки збройного конфлікту. Слід окремо відзначити наслідки для ланцюгів постачання продовольства, графіків виробництва та світової економіки, що значно вплинуло на зміну підходу та пріоритетне ставлення до продовольчої самодостатності. Натомість країни з низьким рівнем доходу та ті, що значною мірою залежать від імпорту пшениці з регіону, охопленого війною, є найбільш вразливими до продовольчої нестабільності в середньо- та довгостроковій перспективі.

Проведений аналіз літератури показав, що існує очевидна потреба у створенні стійких та надійних продовольчих систем разом із глобальною системою управління та впровадженню політик, спрямованих на подолання викликів, пов'язаних із продовольчою безпекою, що виникли внаслідок війни між росією та Україною.

Тому представлено детальний аналіз значення України та росії у світовому експорті сільськогосподарської продукції, а також обговорюються основні заходи,

вжиті Європейським Союзом з метою підвищення глобальної продовольчої безпеки.

2.2. Наслідки війни в Україні для світових аграрних ринків і ланцюгів постачання

2.2.1. Наслідки для глобальних ланцюгів постачання продовольства

У сучасній геополітичній ситуації ланцюги поставок сильно відчують зовнішні загрози, включаючи перебої в постачанні продукції, спричинені вторгненням росії на територію України. російська Федерація та Україна є одними з найважливіших виробників сільськогосподарської продукції у світі [28].

Обидві країни є найбільшими експортерами сільськогосподарської продукції, посідаючи провідні місця у постачанні продуктів харчування та добрив на світові ринки [29]. Варто також підкреслити, що скупчення багатьох експортних постачальників сільськогосподарської продукції розташоване в обмеженій кількості країн. Висока концентрація такого експорту може збільшувати чутливість ринків до різних видів потрясінь та мінливості, прикладом чого є військовий напад росії на Україну. Глобальний характер війни кардинально вплинув на ланцюги поставок, зокрема в харчовому секторі, який і раніше стикався з обмеженнями, пов'язаними з пандемією COVID-19.

Значна частина світового експорту зернових, добрив і ключових видів кормів зосереджена саме в цих країнах, що зумовлює підвищену залежність міжнародних ринків від їхнього стабільного функціонування. Порушення постачання з боку України та росії спричинило істотний дисбаланс у глобальних ланцюгах продовольства й ресурсів, особливо в регіонах, які історично залежать від імпорту – зокрема в країнах Африки, Близького Сходу та Південної Азії. Для багатьох країн, що належать до груп найменш розвинених країн (LDC) та країн з низьким рівнем доходу та дефіцитом продовольства (LIFDC), імпорт продовольства та добрив є необхідним фактором для задоволення споживчих

потреб громадян. Саме виробники з росії та України є стратегічним джерелом поставок, з якого здійснювався експорт цих продуктів. Крім того, внаслідок тривалого блокування портів на Чорному морі виникла низка труднощів з експортом продовольства. Цей факт призвів до посилення недоїдання та голоду в глобальному вимірі.

Для аналізу Європи, Азії та Африки було обрано країни з високим відсотком імпорту пшениці у 2021 році. Представлені у відсотках дані на рисунку 2.1, рисунку 2.2 та рисунку 2.3 відображають масштаб проблеми, показуючи, як деякі з перелічених країн зробили свою внутрішню економіку залежною від поставок продовольства з України та росії.

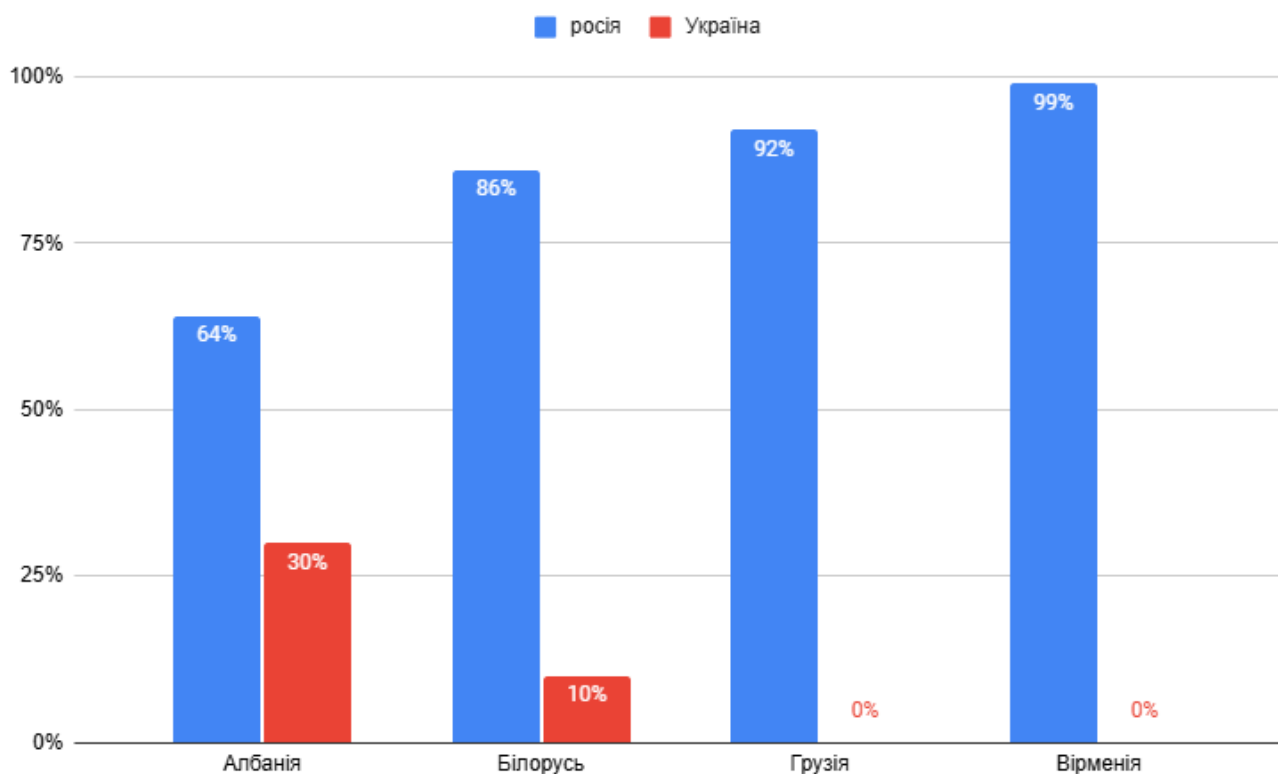


Рисунок 2.1 - Імпорт пшениці у 2021 році – Європа

Джерело: розроблено автором на основі [30]

У списку країн Європи зазначені держави, імпорт яких залежить від поставок зерна, здебільшого з російської Федерації. У цьому випадку політичний аспект відіграє ключову роль, впливаючи на тісний зв'язок в економічній сфері. Варто підкреслити, що ці країни не є членами Європейського Союзу.

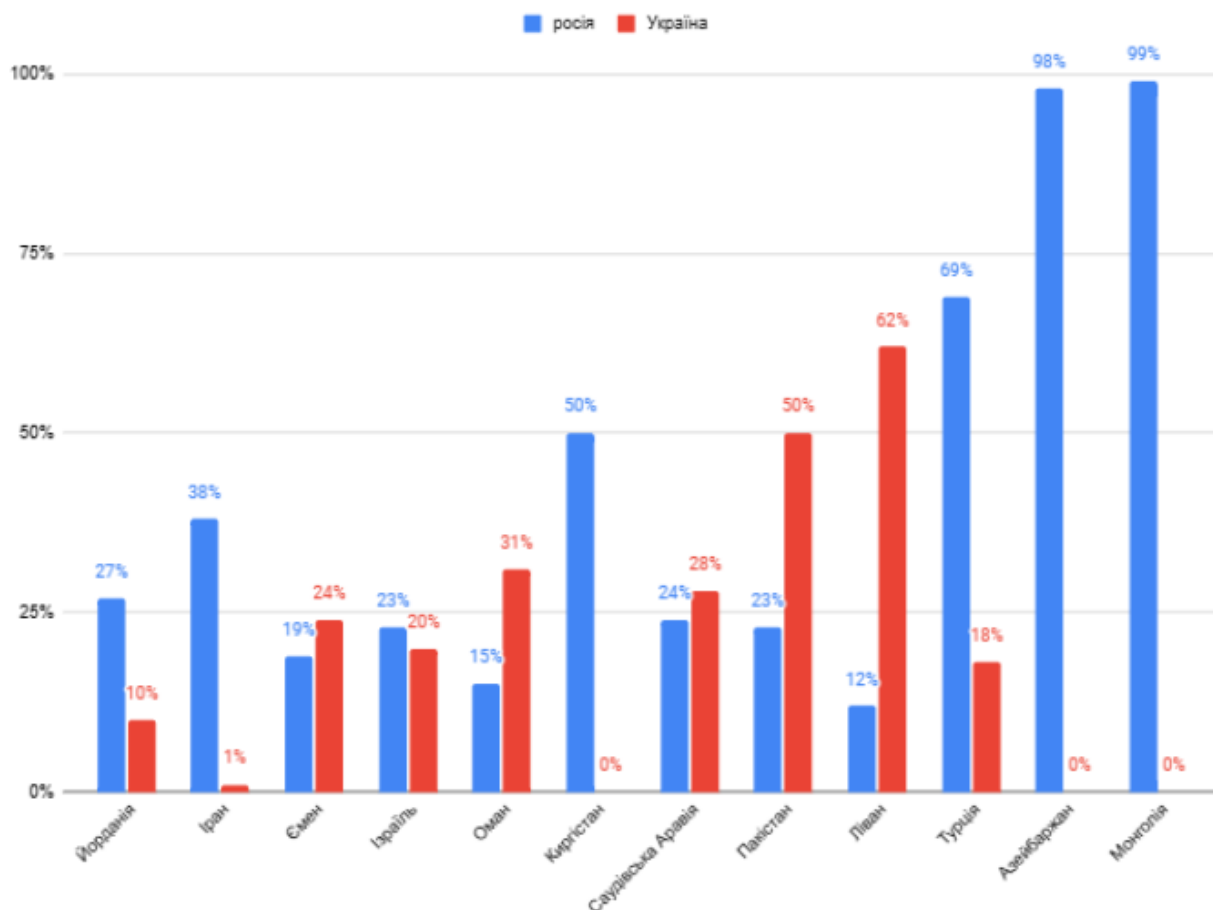


Рисунок 2.2 - Імпорт пшениці у 2021 році – Азія

Джерело: розроблено автором на основі [30]

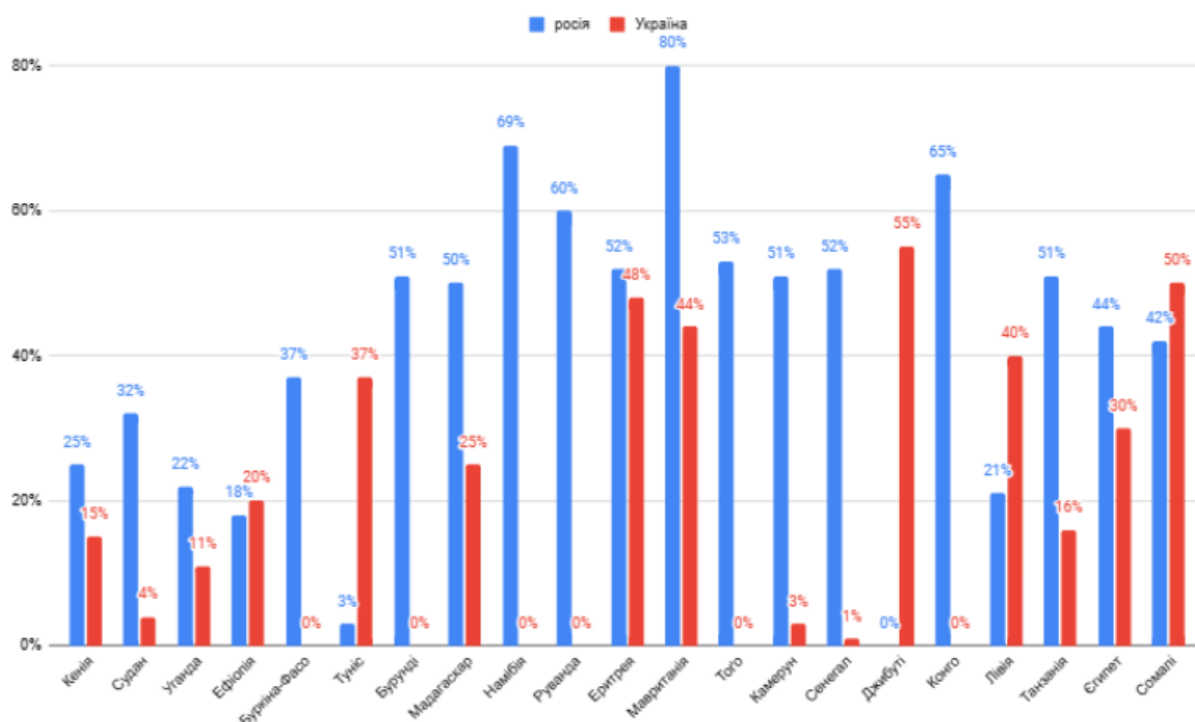


Рисунок 2.3 - Імпорт пшениці в 2021 році – Африка

Джерело: розроблено автором на основі [30]

Виклики, пов'язані з дефіцитом зерна, економічними труднощами та внутрішніми конфліктами, ставлять азіатські країни, особливо Ліван, Сирію та Ємен, у надзвичайно скрутне становище. До початку російської інвазії в Україну ліванський імпорт пшениці базувався переважно на поставках як з України, так і з росії, що становило вражаючі 75 % імпортованого зерна. Крім того, енергетичні кризи негативно вплинули на ситуацію в Сирії, де ціни на хліб у приватних пекарнях різко зросли, майже на 100%. Значне зростання цін на штучні добрива відштовхує місцевих фермерів від продовження виробництва зерна в умовах цих викликів. Найбідніша країна Аравійського півострова, Ємен, яка вже тривалий час перебуває у стані громадянської війни, отримувала близько 45% свого пшениці з України та росії.

Наслідком перерваних ланцюгів постачання є різке підвищення цін на борошно приблизно на 50% та хліб приблизно на 30%. Варто також зазначити, що ціни на олію для приготування їжі підскочили аж на 70%. Хоча Оман і Саудівська Аравія значною мірою залежать від імпорту зерна з росії та України, їхня економічна стабільність дозволяє їм закуповувати ресурси навіть за вищими цінами у інших постачальників. Проте, з огляду на конкурентоспроможність цін, обидві країни імпортують значні обсяги пшениці з росії та України, що становить близько 50% від загальних поставок пшениці. Регіон Перської затоки намагається вирішити свої проблеми з продовольчим забезпеченням шляхом оренди сільськогосподарських угідь в інших країнах та інвестування в озеленення пустельних територій для сільськогосподарських цілей. У Пакистані уряд доклав зусиль у вигляді міжнародних тендерів, щоб взяти під контроль продовольчу ситуацію. Однак динамічне зростання цін на зерно на світових ринках становить серйозний виклик, а продовольча криза може загрожувати здоров'ю та життю сотень тисяч жителів країни. Варто також зазначити, що Йорданія, незважаючи на імпорт майже 40% пшениці з росії та України, зуміла накопичити запаси зерна на 15–18 місяців, що дало їй певну гнучкість у разі потенційних збройних конфліктів.

Багато африканських країн, які значною мірою залежать від імпорту товарів з росії та України, наразі стикаються з серйозними викликами щодо продовольчої

безпеки. Незважаючи на місцеві зусилля, сільське господарство не в змозі істотно збільшити виробництво продовольства, зокрема зернових культур. Природні катастрофи та явища, пов'язані зі зміною клімату, є факторами, що гальмують розвиток сільського господарства в цих регіонах світу. Зокрема, Африка на південь від Сахари, яка відчуває наслідки опустелювання сільськогосподарських угідь, стикається з винятковими труднощами. Крім того, значне зростання цін на штучні добрива (в межах 250–300%) у регіоні є ще одним обмежувальним фактором.

На світовому ринку ціни на штучні добрива вже у 2021 році зросли приблизно на 80%, а збройний конфлікт посилив тенденцію до зростання. Крім того, коливання цін на газ і вугілля, сировину, що використовується для виробництва аміаку, також вплинули на вартість добрив. Світовий банк оцінює, що нові санкції, накладені на Білорусь і росію, вплинули на дефіцит поставок калію, що призвело до чергового стрибка цін на добрива цього виду. Найбільш гострою проблемою в контексті продовольчої кризи є блокада росією українських портів на Чорному морі та обмеження експорту зерна Україною. Ці події спричинили різке скорочення пропозиції зерна, що призвело до раптового зростання цін на продовольство. До групи країн, які найбільше постраждали від продовольчої інфляції, належать: Гана, де ціни зросли на 122%, Сенегал (110%), Уганда (107%), Нігерія (107%), Кенія (104%) та країни Південної Африки, де зростання цін склало 102%. В умовах наростаючої продовольчої кризи ця ситуація створює величезну небезпеку, яку доведеться долати країнам, що знаходяться під загрозою.

2.2.2. Значення України та російської Федерації у світовому експорті сільськогосподарської продукції

Дані, опубліковані до початку війни, показали, що росія та Україна входили до трійки провідних світових експортерів таких сировинних товарів, як пшениця, ячмінь, кукурудза, насіння ріпаку, ріпакова олія, а також насіння соняшнику та соняшникова олія. З таблиці, представленої на рисунку 2.4, що відображає стан на момент початку війни, випливає, що процентна частка у світовому експорті цих

продуктів була такою: 50% соняшникової олії експортувалося з України, а ще 22% – з російської Федерації.

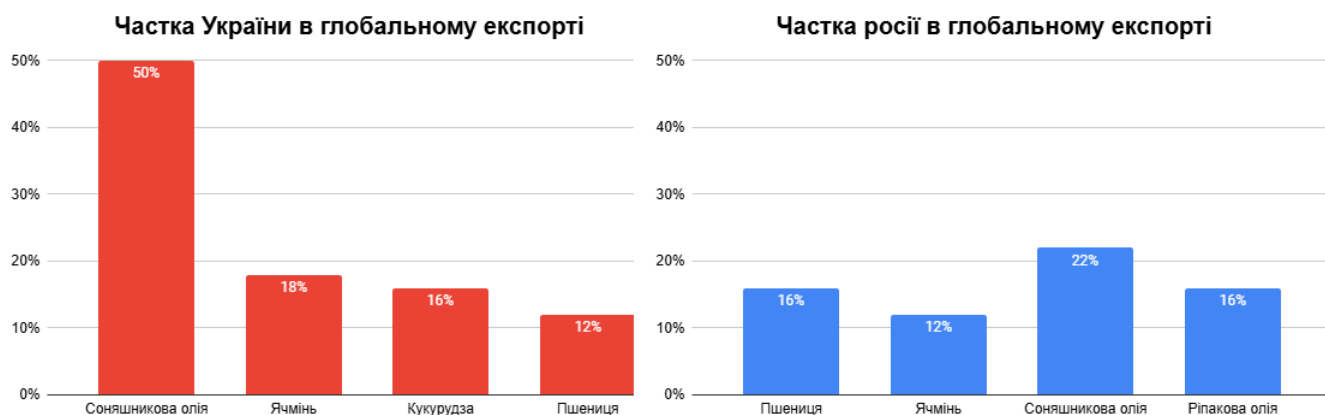


Рисунок 2.4 - Частка України та російської Федерації у світовому експорті сільськогосподарських продуктів

Джерело: розроблено автором на основі [31]

Слід також зазначити, що основним джерелом світових поставок азотних, калійних та фосфорних добрив є російська Федерація. У міжнародному рейтингу ця країна посіла перше місце як найбільший експортер азотних добрив, друге місце як провідний постачальник калійних добрив та третє місце в експорті фосфорних добрив. Відсоткова частка російської Федерації у світовому експорті добрив представлена на рисунку 2.5.

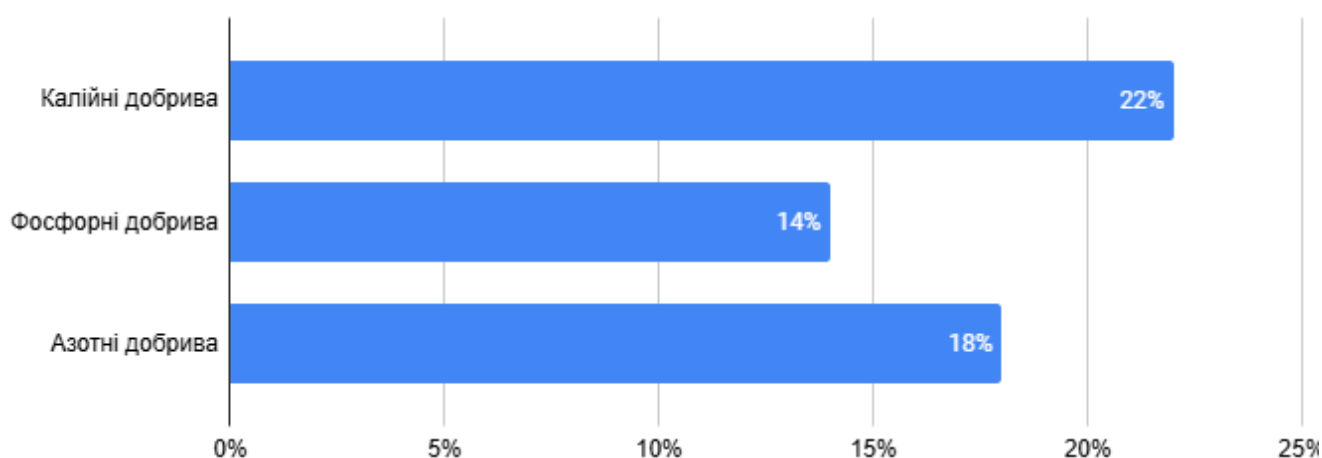


Рисунок 2.5 - Частка російської Федерації у світовому експорті штучних добрив

Джерело: розроблено автором на основі [30]

Нинішня війна в Україні викликає серйозні побоювання щодо врожаю. Вона вже призвела до закриття портів і припинення переробки олійних культур, що значно вплинуло на продукцію, призначену для експорту. Крім того, перспективи експорту росії наразі є невизначеними, з огляду на економічні та фінансові санкції, накладені на цю країну.

Наслідки раптового і значного скорочення експорту зерна та насіння соняшнику обома країнами були лише частково компенсовані альтернативними джерелами протягом маркетингового сезону 2022/23. У відповідь на загрози для глобальних ланцюгів поставок багато країн-експортерів збільшили свої виробничі потужності, кількість і частоту відправлень. Однак вони стикаються з обмеженнями, пов'язаними з надмірними витратами на реалізацію цих операцій.

російська Федерація є ключовим гравцем на світовому енергетичному ринку, тому однією з основних причин інтенсифікації фінансових витрат є зростання цін на енергоносії, яке супроводжує війну. Цей факт має ключовий вплив на сектор сільського господарства, оскільки ця галузь характеризується високою енергоємністю. Сільське господарство потребує значної кількості енергії як безпосередньо у вигляді палива, газу та електроенергії, так і опосередковано через використання агрохімікатів, таких як добрива, пестициди та мастильні матеріали.

Вищі ціни на ці сировини та енергію впливають на витрати сільськогосподарського виробництва і, як наслідок, на підвищення цін на продукти харчування. Крім того, вони також можуть призвести до обмеження їх використання, що вплине на зниження врожаїв та збитків у наступні роки, а отже, збільшить ризик подальшого зростання цін і, таким чином, загрожуватиме глобальній продовольчій безпеці.

У російській Федерації не передбачається значних перешкод у веденні сільськогосподарських культур, проте існують певні невизначеності щодо можливостей експорту. Незважаючи на те, що міжнародні санкції не поширюються на продовольство та добрива, будь-яка втрата експортних ринків, що є наслідком небажання торгувати з російською Федерацією, може знизити доходи російських фермерів і негативно вплинути на рішення щодо майбутніх посівів. Крім того,

введені економічні санкції можуть порушити імпорт необхідних для сільського господарства засобів, особливо пестицидів і насіння, від яких країна значною мірою залежить. Це може призвести до зменшення посівів, зниження врожайності та погіршення якості врожаю в майбутньому, що поставить під загрозу російський сільськогосподарський сектор та глобальні продовольчі ресурси в наступних посівних сезонах. Імпорт пестицидів та насіння соняшнику в 2021 році на рисунку 2.6 чітко ілюструє глибоку залежність російської Федерації від поставок з території Європейського Союзу.

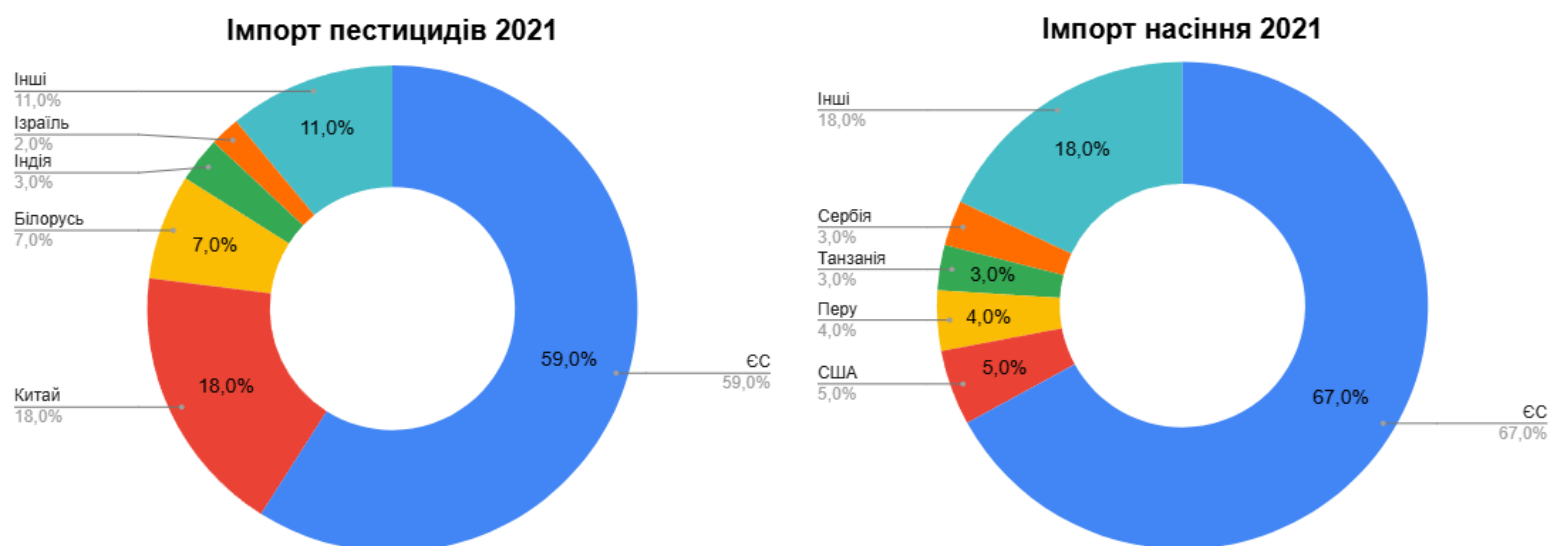


Рисунок 2.6 - Імпорт пестицидів та насіння у 2021 році – російська Федерація

Джерело: розроблено автором на основі [30]

2.3. Логістичні наслідки війни в Україні та політична реакція ЄС на продовольчу кризу

2.3.1. Війна в Україні – загрози для сучасної логістики

Активні військові дії на території України спричинили пошкодження транспортної інфраструктури по всій країні. З точки зору наземної інфраструктури

це стосується насамперед залізниці, яка відповідає за транспортування експортних продуктів харчування до портів на Чорному морі. Ключовими пунктами для масового транспортування сільськогосподарських товарів з України є порти Одеса та Миколаїв. Обслуговування вантажів, що надходять з російської Федерації, здійснюється на базі таких портів: Новоросійськ, Тамань і Туапсе.

На початковому етапі війни через понесені збитки більшість торгових операцій, що здійснювалися в портах, було призупинено. Більше того, підвищення страхових ставок або неможливість включення до договору ризиків, пов'язаних із збройним конфліктом, для суден, що плавають Чорним морем, погіршило і без того високі витрати на морські перевезення. Криза мала глобальний характер, що посилювало зростання світових витрат на імпорт продовольства. Були зроблені спроби відновити морські транспортні шляхи. У липні 2022 року Організація Об'єднаних Націй та Туреччина в рамках проведених переговорів підписали угоду, зміст якої стосувався відкриття безпечного коридору на Чорному морі. В результаті укладеної угоди порти в Чорноморську, Одесі та Южному/Південному відновили свою діяльність, прагнучи швидко компенсувати наслідки блокади транспортування продовольства. До липня 2023 року завдяки цій угоді було відправлено майже 34 мільйони тонн зерна. На рисунку 2.7 представлено зведення, що показує кількість перевезеного зерна. У ньому виділено кількість поставок до країн, що розвиваються, та країн з високим рівнем технологічного розвитку.

Майже дві третини загального обсягу пшениці було направлено до країн, що розвиваються, для яких вона є основним і надзвичайно важливим компонентом раціону харчування. У випадку кукурудзи розподіл експорту розподілився рівномірно.

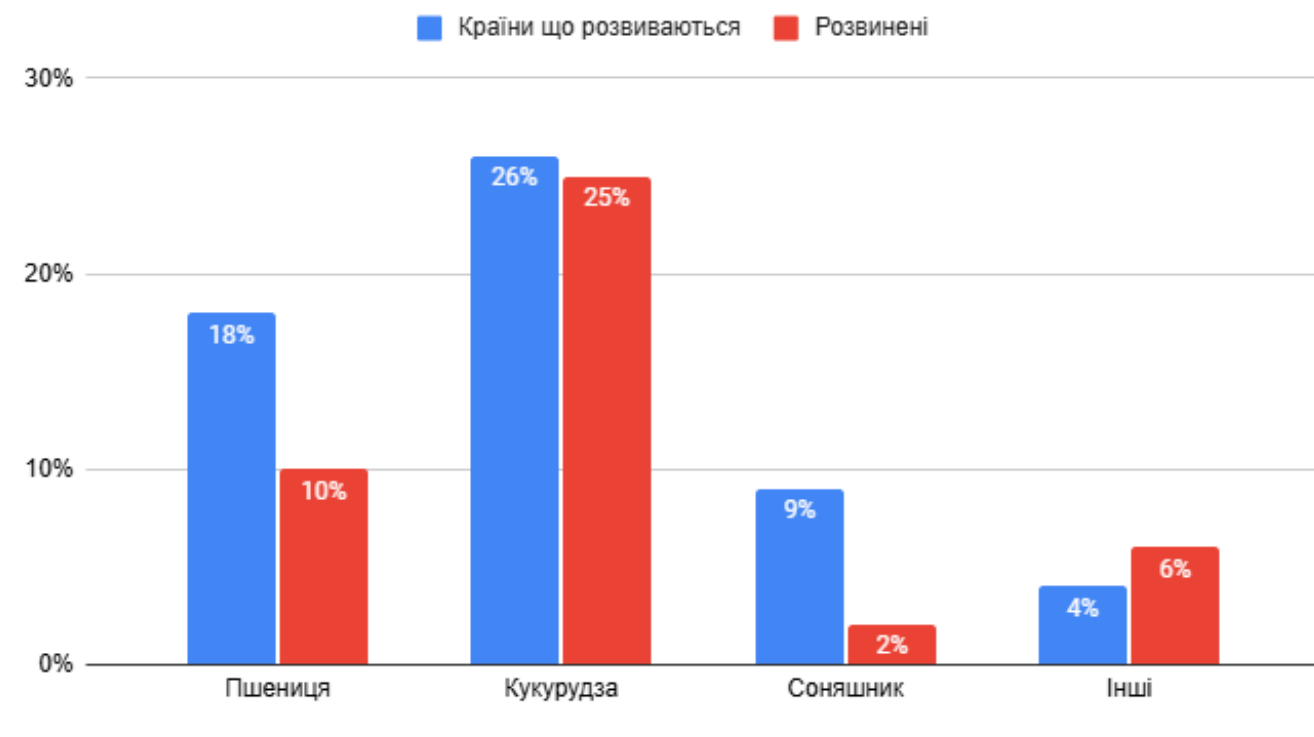


Рисунок 2.7 – Відсоток від усього експорту України в рамках Зернової ініціативи на Чорному морі від початку дії до липня 2023

Джерело: розроблено автором на основі [31]

Із загальної кількості перевезеного насіння соняшнику понад 80% потрапило до найбільш бідніших регіонів світу. Угода неодноразово продовжувалася, аж до липня 2023 року, коли росія оголосила про своє рішення припинити Чорноморську зернову ініціативу. Цей радикальний крок з боку росії впливає на подальші перспективи торгівлі зерном та сільськогосподарською продукцією. З огляду на спроби обмежити наслідки блокади портів на початковому етапі війни та масштаби кризи для глобальних ланцюгів поставок, знову виникають побоювання щодо безпеки поставок та стабільності ринків. Тривають зусилля, спрямовані на збільшення українського експорту сільськогосподарської продукції за допомогою альтернативних засобів транспорту (тобто залізничного, річкового або автомобільного). Проте втрата національної спроможності морського транспортування товарів, яка забезпечувала близько 90 % експорту країни, є практично неможливою для заміщення, навіть якщо внутрішня транспортна інфраструктура залишилася б значною мірою неушкодженою війною.

Варто розглянути питання нового розташування зернових елеваторів та заводів з переробки олійних культур. Незважаючи на значну розрізненість об'єктів, їх концентрація та пропускна здатність розташовані поблизу основних транспортних вузлів та морських портів. Цей факт створює ризик їх пошкодження під час військових дій. У цьому випадку необхідні менші регіональні переробні підприємства, які зазвичай не працюють протягом усього сезону через брак сировини.

Крім того, сучасні підприємства подрібнення олійного насіння стають потенційною мішенню для атак з боку супротивника. Імовірність знищення або зупинки виробничих потужностей може бути нівельована в рамках інтенсифікації роботи регіональних переробних підприємств. Тоді компенсація потужностей, які вибувають в результаті атак на великі переробні підприємства, стала б цілком реальною. Проте багато з цих менших підприємств не оснащені технологіями, що дозволяють переробляти різні сорти олійних культур, що є причиною, яка гальмує впровадження запропонованого методу дій. Крім того, в обох країнах затримка експорту впливає на зростання надлишкового рівня запасів у складах, особливо в силосах. За сприятливих умов зерно можна зберігати протягом декількох сезонів, але термін зберігання сирих олійних культур зазвичай є коротшим.

2.3.2. Сільськогосподарська політика ЄС – стабільність поставок продовольства та актуальні виклики

Європейський Союз вже давно робить акцент на цілісній сільськогосподарській політиці, спрямованій на забезпечення стабільних поставок продовольства, кормів та добрив для громадян. Завдяки такому підходу спільні виклики, пов'язані з доступністю сільськогосподарської продукції, здаються ефективно подоланими. Однак, незважаючи на загальний успіх, існують певні фактори, які заслуговують на нашу увагу. ЄС, будучи абсолютно самодостатнім у виробництві продовольства, зараз отримує вигоди від єдиного внутрішнього ринку. Саме цей ринок, ймовірно, виявиться ефективним захистом від можливих збурень.

Така стратегія не тільки гарантує продовольчу безпеку для громадян, але й створює певну платформу фінансової підтримки для фермерів. Факт незалежності в секторі сільськогосподарських поставок представлений на рисунку 2.8. Експорт пшениці з України та росії в 2016–2021 роках для Європи становив 7% від загального об'єму експорту, причому для Європейського Союзу цей відсоток досягнув лише 5%.

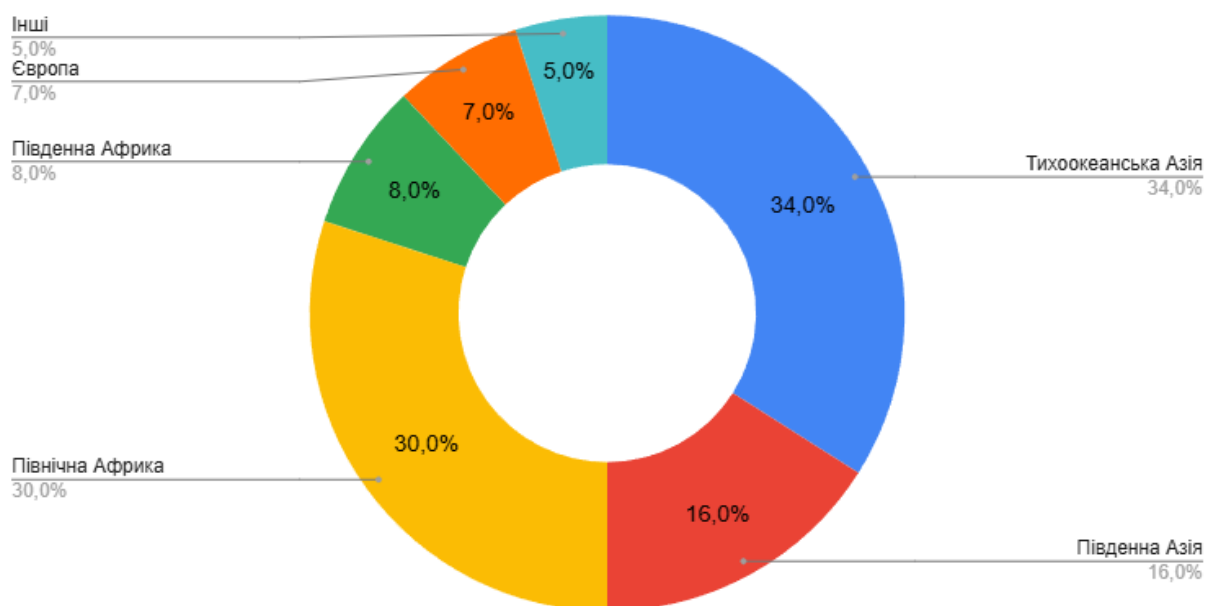


Рисунок 2.8 - Експорт пшениці з України та росії в 2016–2021 роках

Джерело: розроблено автором на основі [30]

Незважаючи на це, імпорт до Європи деяких сировинних товарів з України, таких як кукурудза, пшениця, олія, а також ріпаковий та соняшниковий шрот, значно скоротився після 2022 року. Причиною такого спаду є тривалий конфлікт в Україні та пов'язані з ним обмеження експорту. Ця подія може позначитися на окремих секторах економіки ЄС, зокрема на харчовій промисловості та виробниках кормів. Високі ринкові ціни та інфляційні тенденції є наразі одним із ключових викликів для Європейського Союзу. Військовий конфлікт в Україні вплинув на світові ринки сировини, що призвело до підвищення цін. В результаті зниження доступності сировини в поєднанні зі зростанням цін на корми може призвести до підвищення витрат на виробництво продуктів харчування та кормів в ЄС.

2.3.3. Коридори солідарності – відповідь на світову продовольчу кризу

У відповідь на труднощі, пов'язані з загрозою втрати морських транспортних шляхів для перевезення продовольства, ЄС виступив з ініціативою створення «коридорів солідарності». Ця нетрадиційна стратегія має на меті компенсувати зменшення обсягів надходження аграрної продукції, спричинені втратою ключових маршрутів внаслідок безкомпромісної блокади українських портів. Постачання поїздів, суден, вантажівок, створення кращих транспортних сполучень, прискорення митних операцій, складування на території ЄС – це лише частина компонентів стратегічного плану відновлення. За оцінками, на території ЄС накопичилося до 20 мільйонів тонн українського зерна у переповнених силосах, чекаючи на порятунок. Ця ситуація, безсумнівно, викликала занепокоєння як у політиків, так і в громадськості. Виниклі загрози могли призвести до тривалої продовольчої кризи, яка могла мати негативні наслідки на багатьох рівнях. Цей інноваційний проєкт не тільки сприяв пом'якшенню наслідків втрати морських торговельних шляхів, але й посилив здатність Європейського Союзу швидко та ефективно діяти в умовах майбутніх криз.

З моменту запуску до липня 2023 року кількість експортованих сільськогосподарських товарів, включаючи зерно, олійні культури та інші продукти, досягла вражаючої цифри – близько 45 мільйонів тонн. Ці виняткові експортні зусилля є чудовим прикладом ефективності та результативності «коридорів солідарності», які не тільки відновили, але й започаткували нові транспортні маршрути. Протягом цього періоду Європейський Союз продовжував інвестувати в розвиток програми, прагнучи збільшити її здатність компенсувати втрату морських транспортних шляхів.

Варто зазначити, що на цю мету європейські інституції, Європейський банк реконструкції та розвитку та Світовий банк виділили понад 1 мільярд євро на період до кінця 2023 року. Щоб продемонструвати вплив коридорів солідарності на світові ринки цін на сільськогосподарську продукцію, на рисунку 2.9

представлено коливання цін на пшеницю та кукурудзу наприкінці цього періоду. Завдяки запровадженню «коридорів солідарності» та Чорноморської зернової ініціативи стало можливим експортувати понад 78 мільйонів тонн сільськогосподарської продукції. Ця ініціатива сприяла зменшенню цін, але рівні експорту залишилися нижчими, ніж у попередні роки,

У вересні та жовтні 2022 року невизначеність щодо майбутнього Чорноморської зернової ініціативи спричинила повторне зростання цін, але потім у листопаді та грудні 2022 року спостерігалось їх зниження. З того часу ціни продовжують поступово знижуватися, хоча і з певними коливаннями. 17 липня росія оголосила про несподіване рішення призупинити свою участь в угоді про експорт зерна, яка була раніше укладена між Туреччиною та Організацією Об'єднаних Націй. Ця раптова заява викликала значний резонанс на міжнародній арені, піднявши питання щодо майбутнього торгівлі та співпраці в аграрному секторі. Рішення росії про призупинення участі в цій ключовій угоді є не тільки виклик для імпортерів, але також кидає тінь сумніву на стабільність і передбачуваність ринку зерна.

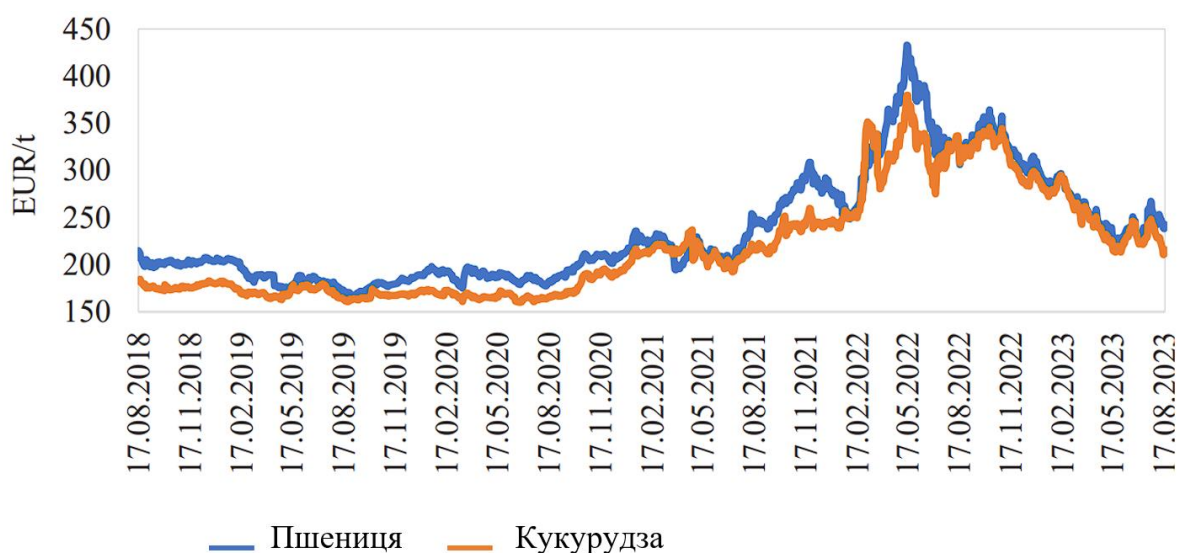


Рисунок 2.9 - Коливання цін на пшеницю та кукурудзу з кінця 2021 року до початку 2023 року

Джерело: [31]

Висновок розділу

Поточні цінові тенденції та їх коливання вимагають особливої уваги та подальших дій з метою стабілізації ситуації на глобальному продовольчому ринку. Для забезпечення стабільності та загального доступу до продовольства необхідно, щоб держави виявляли солідарність, надаючи допомогу та підтримку, прагнучи таким чином підтримувати доступні ціни. З метою обмеження негативного впливу війни на продовольчий та сільськогосподарський сектори необхідно докласти зусиль для збереження відкритої міжнародної торгівлі продовольством та добривами. Ланцюги постачання повинні бути убезпечені шляхом особливого захисту: сировини, інфраструктури для переробки продовольства та логістичних систем, що її обслуговують. Країни, які залежать від продовольства з України та російської Федерації, повинні знайти альтернативних постачальників продовольства, тим самим досягнувши гнучкості в області імпорту.

Європейський Союз, завдяки своїй ґрунтовній сільськогосподарській політиці, забезпечив стабільність у доступності продовольства, кормів та добрив. Цей регіон характеризується високим рівнем самозабезпечення, а функціонуючий єдиний ринок забезпечує ефективну амортизацію від будь-яких збурень, захищаючи громадян Союзу від серйозних дефіцитів та загрози продовольчої безпеки. Незважаючи на ці позитивні аспекти, зниження імпорту ключових сільськогосподарських продуктів, таких як кукурудза, пшениця, олія, ріпаковий та соняшниковий шрот з України, має значний вплив на економіку ЄС. Зокрема, відсутність цих сировинних матеріалів може спричинити підвищення цін на корми, що, в свою чергу, вплине на витрати на тваринництво та харчову промисловість в Європейському Союзі. Високі ціни на світових ринках, що є наслідком військових напружень в Україні, викликають інфляційні тенденції, які ускладнюють підтримку доступності цін на продукти харчування на

європейському ринку. Європейський Союз, хоча і відносно добре підготовлений до таких викликів, не може ігнорувати наслідки зниження імпорту ключових сільськогосподарських продуктів з України. Підтримка стабільності та сталого розвитку сільського господарства, як на території ЄС, так і на міжнародній арені, є ключовим елементом забезпечення довгострокової продовольчої безпеки для всіх громадян світу. Підтримка України в експорті сільськогосподарських продуктів через альтернативні торговельні маршрути є важливою для диверсифікації та стабілізації торгівлі.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ ЕКСПОРТНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АГРАРНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

3.1. Опис методології, відбір факторів та їх обробка для оцінювання експортного потенціалу аграрного сектору

У попередніх розділах було проаналізовано основні чинники, які впливають на експортний потенціал аграрного сектору України під час збройного конфлікту, зокрема на прикладі війни з Росією. Виявлено, що втрати в обсягах аграрного експорту пов'язані не лише з фізичними руйнуваннями інфраструктури та земельних ресурсів, але й з геополітичними обмеженнями, що ускладнюють логістику та зовнішньоторговельні операції. Крім того, переривання традиційних торгових шляхів і зміни в попиті на українську аграрну продукцію створюють додаткову невизначеність на глобальних ринках, особливо для найбільш вразливих країн-імпортерів.

Ці результати висвітлюють необхідність кількісної оцінки втрат експортного потенціалу на основі методів, що здатні враховувати як кількісні, так і якісні зміни в аграрній економіці України. Оскільки різні фактори впливають на різні сегменти ринку та на різні країни, важливо не лише класифікувати ці фактори, але й мати змогу враховувати їхню варіативність. Саме для цього була обрана модель нечіткої кластеризації. Такий підхід дозволяє розглядати країни не як однорідні групи, а як об'єкти, які мають різні ступені належності до кількох кластерів залежно від їхніх аграрних характеристик та унікальних обставин.

Використовуючи дані з FAOSTAT [41], зібрані за період з 2000 по 2023 роки, буде проведена нечітка кластеризація. FAOSTAT є загальновизнаним міжнародним інформаційним ресурсом, який акумулює порівнювані, стандартизовані та регулярно оновлювані дані щодо виробництва, торгівлі та споживання

продовольства, що забезпечує їх достовірність та придатність для міжкраїнового аналізу. Метод нечіткої кластеризації дозволяє групувати країни за схожістю в динаміці сільськогосподарських показників та оцінити, як різні екологічні, економічні та соціальні умови можуть вплинути на експорт зерна під час війни. Метод нечіткої кластеризації є надзвичайно ефективним для роботи з комплексними даними, оскільки він дозволяє не лише класифікувати країни за певними критеріями, але й враховувати невизначеність і варіативність, що характерно для таких складних процесів, як аграрна економіка під час війни [32, 33].

В рамках цього аналізу будуть розглянуті різні кластерні групи, які дозволять порівняти потенційні втрати на експорті зерна для України з іншими країнами, що мають схожі економічні та аграрні умови. Кожна з кластерних груп буде мати власну модель прогнозування, що дасть змогу оцінити, якими будуть потенційні втрати в разі зміни умов аграрного виробництва в Україні через війну.

Даний підхід дасть можливість не лише визначити ступінь належності країни до певного кластера, але й адаптувати прогнозну модель для кожної групи окремо, що дозволяє врахувати специфічні умови, характерні для кожного регіону або країни. Результати цієї кластеризації та прогнозування допоможуть оцінити ризики для аграрного сектору України та виявити найбільш уразливі ділянки для подальших політичних і економічних рішень.

Обґрунтування вибору показників та їх вплив на експортний потенціал аграрного сектору:

1. Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD). Цей показник відображає загальну вартість усіх вирощених зернових культур, виражену в поточних доларах США. Він є важливим індикатором обсягу виробництва і економічної значущості аграрного сектору для країни. У контексті війни зниження валової вартості зерна може бути наслідком зменшення виробництва через руйнування інфраструктури або зменшення ефективності сільськогосподарських робіт.

2. Валовий внутрішній продукт на душу населення (Int\$ 2021). Цей показник вимірює рівень економічного розвитку країни з урахуванням паритету купівельної спроможності. Він дозволяє проводити порівняння рівня добробуту в різних країнах, враховуючи відмінності у вартості життя. Для аграрного сектору цей показник важливий тим, що показує загальну економічну стабільність, яка визначає можливість підтримки сільськогосподарського виробництва та експорту.

3. Вартість експорту зерна (1000 USD). Це фінансовий показник, що показує сукупну вартість зерна, яке експортується з країни. Важливість цього показника полягає в тому, що він безпосередньо відображає економічну вигоду від зовнішньої торгівлі зерновими культурами. Зниження вартості експорту може вказувати на скорочення експортного потенціалу через зменшення виробництва або зниження попиту на міжнародних ринках.

4. Вартість імпорту зерна (1000 USD). Вартість імпорту зерна показує, скільки країна витрачає на закупівлю зерна з-за кордону. Якщо цей показник зростає, це може вказувати на зниження внутрішнього виробництва або нестачу місцевого зерна, що негативно позначиться на експортному потенціалі країни.

5. ВВП на душу населення (USD). Валовий внутрішній продукт на душу населення в абсолютних одиницях вимірюється в доларах США і є основним індикатором економічного розвитку країни. Високий рівень ВВП на душу населення зазвичай свідчить про стабільну економіку, здатну підтримувати інвестиції в сільське господарство та забезпечити високі експортні можливості.

6. Викиди N₂O (тис. т). Викиди оксиду азоту (N₂O) є важливим показником екологічної ситуації в аграрному секторі, зокрема, у контексті використання добрив. Збільшення викидів може свідчити про інтенсивне застосування хімічних речовин у сільському господарстві, що може мати негативний вплив на екологію та зменшити ефективність аграрного виробництва.

7. Використання добрив (кг на особу). Показник, що визначає кількість добрив, яку використовує країна на одного жителя. Використання добрив має прямий вплив на врожайність зернових культур. У разі обмеженого доступу до

добрив через економічні труднощі або порушення постачання через війну, це може негативно позначитися на обсягах виробництва та експортному потенціалі.

8. Використання пестицидів (тонни). Пестициди необхідні для боротьби з шкідниками та хворобами, що можуть знизити врожайність. Цей показник важливий, оскільки він безпосередньо впливає на стабільність виробництва зерна. Втрата доступу до пестицидів або підвищення їх вартості може призвести до зниження врожайності та обсягів експорту.

9. Виробництво зерна (тонни). Показник, який відображає обсяги виробленого зерна. Це є одним з найбільш важливих показників для оцінки експортного потенціалу країни. Зниження виробництва через військові дії або проблеми в сільському господарстві зменшує кількість продукції, доступної для експорту.

10. Врожайність (кг на га). Врожайність вимірюється як кількість зерна, зібраного з одного гектара землі. Це є важливим індикатором ефективності використання сільськогосподарських угідь. Зниження врожайності може бути наслідком погіршення умов для ведення сільського господарства, що може призвести до скорочення експортного потенціалу.

11. Використання добрив (тонни). Цей показник визначає загальний обсяг добрив, використаних у сільському господарстві. Високе використання добрив може свідчити про інтенсивне сільське господарство, яке має високі показники врожайності. Обмеження доступу до добрив через кризу або війну може призвести до зниження ефективності сільського господарства.

12. Загальна зайнятість в агропродовольчих системах (тис. осіб). Цей показник відображає кількість людей, які працюють в аграрному секторі та суміжних галузях. Зниження цієї кількості через економічні труднощі або міграцію населення через війну може призвести до обмеження виробничих можливостей аграрного сектору та зменшення експортного потенціалу.

13. Площа зібраного зерна (га). Це важливий показник для оцінки обсягів виробництва. Зниження цієї площі через бойові дії чи інші фактори може обмежити кількість зернових культур, доступних для внутрішнього споживання та експорту.

14. Зміна температури землі протягом року ($^{\circ}\text{C}$). Кліматичні умови, такі як температура землі, можуть сильно впливати на врожайність. Зміна температури може свідчити про негативні наслідки змін клімату або про порушення екологічних умов внаслідок війни, що зменшить можливості для ефективного виробництва.

15. Індекс валового виробництва зерна на душу населення (2014-2016 = 100). Цей індекс дозволяє порівняти рівень валового виробництва зерна на душу населення протягом різних років, базуючись на стандартному періоді (2014-2016). Індекс вказує на зміни у виробництві зерна відносно до кількості населення, що дозволяє оцінити експортний потенціал в контексті демографічних змін.

16. Індекс одиниці/вартості експорту зерна (2014-2016 = 100). Індекс дозволяє оцінити зміну вартості одиниці зерна на експорт протягом певного періоду. Це важливий індикатор для розуміння того, чи зберігається рентабельність експорту зерна при зміні зовнішніх умов, зокрема вартості транспортування та доступу до ринків.

17. Індекс одиниці/вартості імпорту зерна (2014-2016 = 100). Індекс вимірює зміну вартості імпортованого зерна, що може бути важливим для оцінки змін у зовнішній торгівлі та економічних відносинах з іншими країнами. Підвищення цього індексу може свідчити про зростання вартості зерна на зовнішніх ринках або про зменшення внутрішнього виробництва.

18. Кількість експорту зерна (тонни). Показник кількості зерна, що експортується, є критично важливим для оцінки обсягів зовнішньої торгівлі зерновими культурами. Війна може призвести до зменшення обсягів експорту через зниження виробництва або зниження попиту на зерно.

19. Кількість імпорту зерна (тонни). Кількість зерна, що імпортується, свідчить про потреби країни у зовнішніх постачаннях зернових. Підвищення імпорту через проблеми у внутрішньому виробництві є ознакою втрат у експортному потенціалі.

20. Надходження в сільське господарство (USD). Цей показник включає фінансування сільського господарства від різних джерел. Втрата доступу до

фінансування через економічну ситуацію або військові дії може знизити здатність підтримувати експорт зерна.

21. Населення (тис. осіб). Зміни в чисельності населення можуть мати прямий вплив на внутрішній попит на зерно та на доступність робочої сили в аграрному секторі.

22. Орні угіддя (тис. га). Площа орних угідь є важливим ресурсом для виробництва зернових. Втрата орних земель через війну чи інші фактори може обмежити виробничі можливості країни.

23. Площа землі (га). Цей показник визначає загальний розмір земельних ресурсів країни, що можуть бути використані для сільськогосподарських цілей. Зниження площі землі, що використовується для аграрного виробництва, негативно позначиться на експортному потенціалі.

24. Приплив прямих іноземних інвестицій у сільське господарство (млн USD, ціни 2015 року). Прямі іноземні інвестиції є важливим фактором для розвитку аграрного сектору. Втрата інвестицій через економічні труднощі чи військові дії може обмежити потенціал сільського господарства для виробництва та експорту зерна.

25. Індекс споживчих цін на продукти харчування (де 100 це рівень 2015 року). Індекс споживчих цін на продукти харчування відображає рівень цін на їжу в країні. Вищі ціни на продовольство можуть знизити попит на зерно як товар для споживання, знижуючи експортний потенціал.

26. Ціна пшениці (USD за тону). Ціна в межах країни. Цей показник є важливим для оцінки вартості зерна на міжнародних ринках. Зміни ціни пшениці можуть суттєво впливати на експортний потенціал, оскільки коливання цін визначають рентабельність експортних поставок.

27. Частка зайнятого населення у сільському господарстві (%). Показник частки робочої сили, яка працює в сільському господарстві, важливий для оцінки соціально-економічного становища аграрного сектора. Втрата робочих місць у сільському господарстві через економічні чи соціальні кризи може знизити потенціал для виробництва та експорту зерна [42, 43].

Як було зазначено вище, дані взяті з 2000 року по 2023 рік, з періодом в рік. Було виділено 256 країн та адміністративних одиниць [41, 42, 44]. В результаті подальшого аналізу наповненості бази даних кількість країн буде зменшено.

Для початку імпортуємо дані з файлу формату (.xlsx) в середовище python.

Використаємо функцію `info()` з бібліотеки `pandas`, аби оцінити:

- кількість рядків;
- типи даних кожної колонки;
- кількість пустих значень.

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 6092 entries, 0 to 6091
Data columns (total 29 columns):
#   Column                                                                 Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Країна                                                                6092 non-null   object
1   Рік                                                                    6092 non-null   int64
2   Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)                        3439 non-null   float64
3   Валовий внутрішній продукт на душу населення (Int$ 2021)         4728 non-null   float64
4   Вартість експорту зерна (1000 USD)                                  4217 non-null   float64
5   Вартість імпорту зерна (1000 USD)                                    4686 non-null   float64
6   ВВП на душу населення (USD)                                          5062 non-null   float64
7   Викиди N2O (тис. т)                                                  4825 non-null   float64
8   Використання добрив (кг на особу)                                    4791 non-null   float64
9   Використання пестицидів (тонни)                                     5058 non-null   float64
10  Виробництво зерна (тонни)                                            4349 non-null   float64
11  Врожайність (кг на га)                                               4342 non-null   float64
12  Використання добрив (тонни)                                          5326 non-null   float64
13  Загальна зайнятість в агропродовольчих системах (тис. осіб)     3422 non-null   float64
14  Зібрана площа зерна (га)                                             4349 non-null   float64
15  Зміна температури землі протягом року (°C)                         5707 non-null   float64
16  Індекс валового виробництва зерна на душу населення (2014-2016 = 100) 4294 non-null   float64
17  Індекс одиниці/вартості експорту зерна (2014-2016 = 100)          3770 non-null   float64
18  Індекс одиниці/вартості імпорту зерна (2014-2016 = 100)           4636 non-null   float64
19  Кількість експорту зерна (тонни)                                    4202 non-null   float64
20  Кількість імпорту зерна (тонни)                                      4686 non-null   float64
21  Надходження в сільське господарство (USD)                          3369 non-null   float64
22  Населення (тис. осіб)                                               5554 non-null   float64
23  Орні угіддя (тис. га)                                                5369 non-null   float64
24  Площа землі (га)                                                     5650 non-null   float64
25  Приплив прямих іноземних інвестицій у сільське господарство (млн USD, ціни 2015 року) 1651 non-null   float64
26  Індекс споживчих цін на продукти харчування (2015 = 100)          4862 non-null   float64
27  Ціна пшениці (USD за тонну)                                          2491 non-null   float64
28  Частка зайнятого населення у сільському господарстві (%)          3425 non-null   float64
dtypes: float64(27), int64(1), object(1)
memory usage: 1.3+ MB
```

Рисунок 3.1 – Результат функції `info()`

Джерело: розроблено автором

Загалом датасет містить 6092 спостереження та 29 змінних, серед яких одна категоріальна змінна (Країна), одна цілочислова (Рік) та 27 кількісних показників типу float64 [41, 43, 45], як можна бачити на рисунку 3.1.

Отримана структура даних демонструє декілька важливих характеристик, які мають безпосередній вплив на подальше моделювання, проведення кластеризації та прогнозування.

Попередня діагностика повноти даних засвідчила суттєву неоднорідність наповненості змінних:

- Повністю заповнені показники (6092/6092 спостережень): «Країна», «Рік», «Населення (тис. осіб)», «Площа землі (га)». Це базові структурні змінні, що формують «каркас» панельних даних.

- Показники із середнім рівнем наповненості (~70–80%): індикатори виробництва, експорту, імпорту, частина екологічних показників («Викиди N_2O », «Врожайність», «Використання добрив» тощо).

- Проблемні показники (40–60% наповненості): індекси цін, індикатори вартості імпорту/експорту («Індекс споживчих цін», «Ціна пшениці», індекси вартості імпорту/експорту тощо).

Саме тому наступним кроком буде застосована система фільтрації країн, що включає:

- Видалення країн із надмірною кількістю пропусків (понад 50%).
- Окреме опрацювання пропусків для найбільш важливих ознак (ціни, виробництва, N_2O , добрив тощо).
- Заповнення медіанами або логічними формулами там, де пропуски не можна було реконструювати аналітично.

Також оцінимо розкид значень за допомогою функції `describe()` (див. рисунок 3.2).

	Рік	Валова вартість виращеного зерна (1000 USD)	Валовий внутрішній продукт на душу населення (Int\$ 2021)	Вартість експорту зерна (1000 USD)	Вартість імпорту зерна (1000 USD)	ВВП на душу населення (USD)	Викиди N2O (тис. т)	Використання добрив (кг на особу)	Використання пестицидів (тонни)	I
count	6092.000000	3.439000e+03	4728.000000	4.217000e+03	4.686000e+03	5062.000000	4825.000000	4791.000000	5058.000000	4
mean	2011.568286	5.862785e+06	22905.848187	5.342494e+05	5.653803e+05	15566.282892	16.344767	16.592695	15719.831356	1
std	6.905899	2.497600e+07	25083.465150	2.069222e+06	1.330374e+06	24217.712255	76.741963	25.748658	56855.580691	6
min	2000.000000	3.000000e+00	462.000000	0.000000e+00	0.000000e+00	240.500000	0.000000	-0.200000	0.000000	0
25%	2006.000000	1.322140e+05	4574.500000	1.685000e+02	2.858775e+04	1833.450000	0.000000	1.500000	96.250000	1
50%	2012.000000	5.587530e+05	13498.700000	4.345200e+03	1.235778e+05	5600.250000	1.000000	6.800000	876.500000	1
75%	2018.000000	2.318492e+06	33829.775000	1.129457e+05	4.740517e+05	19192.750000	5.200000	20.800000	5561.750000	5
max	2023.000000	2.755882e+08	174339.000000	3.157678e+07	2.268653e+07	224579.500000	775.000000	231.500000	800652.000000	6

8 rows x 28 columns

Рисунок 3.2 – Частковий результат функції describe()

Джерело: розроблено автором

В результаті аналізу розрахунків розкиду, фрагмент яких наведено на рисунку 3.2, можна зробити висновок, що дані у датасеті представлені в принципово різних масштабах:

- Дуже великі значення. Наприклад «Валовий внутрішній продукт...», «Приплив прямих іноземних інвестицій...», які мають значення до сотень мільярдів;
- Нормалізовані індекси;
- Малі величини у відносних одиницях. Емісії N₂O на гектар у тис. тонн, добрива на особу, тощо.

З цього можна зробити висновок, що базова шкала даних не дозволяє коректно застосовувати ні методи кластеризації, ні прогнозування (зокрема, лінійну регресію, Random Forest) без попереднього масштабування, оскільки метрика відстані у високовимірному просторі була б спотворена.

Тому для приведення всіх показників до одної розмірності застосуємо такі процедури:

- **Центрування всередині країни (fixed effects)** - щоб мінімізувати структурні відмінності між країнами;
- **Yeo–Johnson трансформації**, для нормалізації розподілів;

- **StandardScaler**, для фінального вирівнювання масштабів [37, 38].

3.2.2 Попередня обробка даних

Перш ніж переходити до заповнення пропусків у незалежних змінних, необхідно окремо опрацювати показник «Вартість експорту зерна (1000 USD)». З цією метою спочатку було видалено всі країни, у яких цей показник має пропуски, тому що саме він є цільовою змінною дослідження і визначає динаміку експортного потенціалу. На відміну від пояснюючих змінних, пропущені значення цільової змінної не можна заповнити будь-якими штучними показниками (медіаною, середньою чи нулем), адже це спотворило б реальну траєкторію експорту та призвело б до некоректного прогнозування. Крім того, країна з розірваним рядом не може формувати валідний багатовимірний профіль і неминуче погіршує якість кластерів та прогнозних моделей. Саме тому на цьому етапі залишаються лише країни з повною динамікою експорту за 2000–2023 роки. Відповідно, внаслідок цієї фільтрації лишаються 141 країни.

Надалі, для забезпечення коректності подальшого аналізу було здійснено цілеспрямовану обробку пропущених значень залежно від природи кожного показника. Частина змінних описує фізичні обсяги (виробництво, експорт, імпорт, площі, врожайність), а тому відсутність спостереження в окремі роки інтерпретується як нульова активність. У таких випадках заміна пропусків нулем є економічно обґрунтованою. До цієї групи належать також індексні показники, для яких відсутність даних означає відсутність інформації про зміну, тому нульове значення є нейтральним варіантом.

Показники, значення яких неможливо інтерпретувати як нуль (наприклад, ціна пшениці), були заповнені медіаною в межах відповідного року. Такий підхід враховує міжрічну волатильність світових цін, але уникає їх спотворення усередненням по всій вибірці.

Для «Валової вартості вирощеного зерна» пропущені значення були відновлені через економічно обґрунтовану формулу: добуток обсягу виробництва

та ціни пшениці. Це дозволило відтворити реалістичну оцінку показника без введення штучних похибок.

Для викидів N_2O застосовано метод forward-fill (заповнення попереднім значенням) у межах кожної країни, оскільки дані на 2023 рік не були представлені. Тому будемо вважати що викиди протягом 2022-2023 не змінились.

Окремо було видалено змінні, які або не несли аналітичної цінності для моделі (наприклад, дублювання добрив у різних одиницях вимірювання), або кількість пропусків занадто велика («Зайнятість», «Частка зайнятості»).

У підсумку обробка пропусків була побудована не механічно, а виходячи з економічної логіки кожного показника, щоб мінімізувати викривлення кластеризації та прогнозних моделей та забезпечити репрезентативність часових рядів.

Після базового очищення даних наступним етапом стало приведення всіх економічних, виробничих та екологічних показників до порівнюваної шкали. Оскільки країни суттєво відрізняються за чисельністю населення та розмірами земельних ресурсів, використання «сирих» абсолютних значень могло б призвести до хибних висновків та некоректної кластеризації. Щоб уникнути цього, всі показники було нормовано за двома базовими величинами: населенням та площею землі.

Показники, що описують обсяги виробництва, експорту, імпорту, інвестицій та валової вартості виробництва, були поділені на чисельність населення (в тис. осіб). Така трансформація дозволяє оцінювати не просто загальний масштаб аграрного сектору, а реальну інтенсивність аграрної активності відносно населення. Це дозволяє порівнювати країни незалежно від їхнього розміру та уникнути домінування великих економік у кластеризації.

Екологічні та виробничі показники, що залежать від площі території (викиди N_2O , площа збирання, використання пестицидів тощо), були нормовані на загальну площу землі. Це дозволило порівнювати інтенсивність аграрного навантаження на довкілля між країнами з різними територіями замість абсолютних величин, які є некоректними для порівняння.

Після нормування вихідні абсолютні показники було видалено, щоб уникнути дублювання інформації та мультиколінеарності у моделі. Усі подальші розрахунки виконувались виключно на нормованих метриках, що робить кластеризацію та прогнозування більш інтерпретованими та статистично стабільними.

Таким чином, перехід до відносних показників дозволив зробити країни коректно порівнюваними та акцентувати увагу не на масштабах економіки, а на ефективності та структурі аграрного сектору - що є набагато релевантним для оцінки втрат експортного потенціалу внаслідок війни.

Після завершення етапів попереднього очищення даних та нормалізації показників було здійснено аналіз кореляційної структури змінних з метою подальшого відбору до моделювання [39, 40]. Кореляційна матриця показує силу та напрямок лінійного зв'язку між усіма числовими змінними, що дозволяє ідентифікувати групи показників, які фактично дублюють один одного і створюють мультиколінеарність.

На побудованій тепловій карті кореляцій (див. рисунок 3.3) виявлено кілька груп показників із надмірно високими кореляціями (коефіцієнт понад 0.85). Така структура породжує проблему мультиколінеарності - тобто ситуації, коли частина змінних містить однакову інформацію і фактично дублюють одна одну. В умовах кластеризації це призводить до спотворення метрик відстані, а при побудові регресійних моделей - до нестабільності коефіцієнтів, перенавчання та низької інтерпретованості моделей.

Зокрема, було встановлено, що змінні “Кількість експорту зерна (тонни) на людину”, “Кількість імпорту зерна (тонни) на людину” та “Виробництво зерна (тонни) на гектар” мають надзвичайно високу кореляцію з відповідними вартісними показниками. Це означає, що, наприклад, обсяг експорту в тоннах фактично дублює інформацію про його вартість. Наявність обох змінних у моделі не додає інформації, але погіршує математичні властивості моделі.

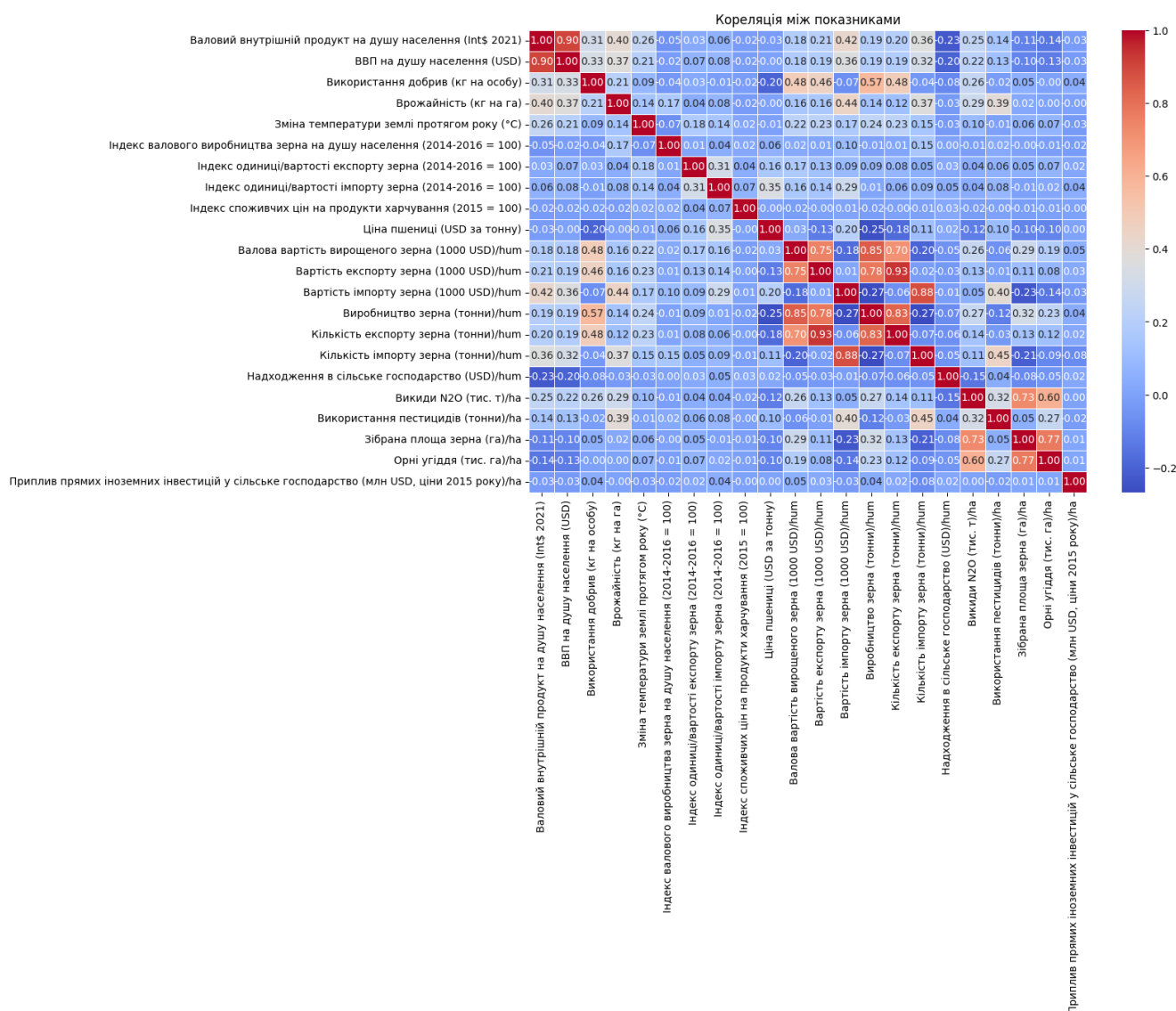


Рисунок 3.3 – Теплова карта кореляції показників

Джерело: розроблено автором

Крім того, показник “Валовий внутрішній продукт на душу населення (Int\$ 2021)” має сильну кореляцію з іншими макроекономічними індикаторами (зокрема з ВВП у доларах США), що створює дублювання економічної інформації. Для уникнення переважання економічного блоку та забезпечення збалансованості даних було прийнято рішення вилучити цей показник і використовувати одну узгоджену макроекономічну змінну.

Після нормалізації показників на душу населення було здійснено додаткову фільтрацію країн за обсягами експорту зерна. Для цього обчислено середнє значення показника «Вартість експорту зерна (1000 USD)» за період 2000–2021

років. Країни, середній рівень яких був нижчим за 10 USD на людину, були виключені з подальшого аналізу.

Таке рішення обґрунтовується тим, що країни з мізерним експортом:

- не є учасниками глобального ринку зерна або мають символічні обсяги торгівлі;
- не демонструють сталих експортних траєкторій, через що формують значний статистичний шум;
- вносять нерелевантні коливання у кластеризацію, адже їх динаміка визначається випадковими або внутрішніми факторами, а не ринковими умовами;
- не можуть бути коректною базою порівняння для України, яка належить до групи великих експортерів.

Виключення таких країн дозволяє:

- сфокусувати кластеризацію на справжніх учасниках глобального ринку зерна;
- отримати стабільніші центри кластерів і вищу якість метрик FCM;
- підвищити змістовну інтерпретованість кластерів;
- сформувати реалістичні прогностні моделі, які співставляють Україну лише з економічно та аграрно релевантними країнами.

Таким чином, поріг у 10 USD на особу виступає аналітичним фільтром, який дозволяє усунути надлишкові для аналізу країни та сформувати вибірку, що відповідає цілі дослідження - оцінці втрат експортного потенціалу України у порівнянні з іншими значимими експортерами зерна. Відповідно, внаслідок фільтрації залишилось 41 країна із 141.

Інформацію про відповідний датасет виведений на рисунку 3.4.

```

<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
Index: 984 entries, 240 to 5925
Data columns (total 20 columns):
#   Column                                                                 Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Країна                                                                984 non-null    object
1   Рік                                                                    984 non-null    int64
2   ВВП на душу населення (USD)                                           984 non-null    float64
3   Використання добрив (кг на особу)                                     984 non-null    float64
4   Врожайність (кг на га)                                                984 non-null    float64
5   Зміна температури землі протягом року (°C)                           984 non-null    float64
6   Індекс валового виробництва зерна на душу населення (2014-2016 = 100) 984 non-null    float64
7   Індекс одиниці/вартості експорту зерна (2014-2016 = 100)             984 non-null    float64
8   Індекс одиниці/вартості імпорту зерна (2014-2016 = 100)              984 non-null    float64
9   Індекс споживчих цін на продукти харчування (2015 = 100)             984 non-null    float64
10  Ціна пшениці (USD за тонну)                                           984 non-null    float64
11  Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)/hum                      984 non-null    float64
12  Вартість експорту зерна (1000 USD)/hum                                984 non-null    float64
13  Вартість імпорту зерна (1000 USD)/hum                                  984 non-null    float64
14  Надходження в сільське господарство (USD)/hum                       984 non-null    float64
15  Викиди N2O (тис. т)/ha                                                984 non-null    float64
16  Використання пестицидів (тонни)/ha                                    984 non-null    float64
17  Зібрана площа зерна (га)/ha                                           984 non-null    float64
18  Орні угіддя (тис. га)/ha                                              984 non-null    float64
19  Приплив прямих іноземних інвестицій у сільське господарство (млн USD, ціни 2015 року)/ha 984 non-null    float64
dtypes: float64(18), int64(1), object(1)
memory usage: 161.4+ KB
None

```

Рисунок 3.4 – Функція info() для нормалізованих показників

Джерело: розроблено автором

Після завершення всіх етапів попередньої обробки було сформовано фінальний набір даних, який налічує 984 спостереження та 20 ретельно відібраних ознак. На цьому етапі повністю усунуто пропущені значення, здійснено нормування показників на чисельність населення та площу земельних ресурсів, а також видалено мультиколінеарні змінні. Усі змінні приведені до порівнюваного масштабу та характеризуються високою інформативністю, що забезпечує коректність і стабільність подальшого застосування методів нечіткої кластеризації. Структура даних є збалансованою, включає економічні, виробничі, екологічні та цінові індикатори, а два службові поля - “Країна” та “Рік” - використовуються виключно для агрегування та побудови прогнозних моделей. Таким чином, сформований масив даних є якісною основою для аналізу впливу факторів на експортний потенціал та подальшого моделювання втрат у період війни.

3.2.3 Підготовка до кластеризації

На цьому етапі аналізу здійснюється корекція даних за фіксованими ефектами країн (fixed effects), масштабування ознак та їх подальший відбір за допомогою LASSO-регуляризації. Цей етап є ключовим для побудови коректної моделі нечіткої кластеризації, оскільки дозволяє виділити саме ті фактори, які мають системний вплив на динаміку експорту зерна.

Першим кроком виконується центрування всіх числових показників всередині кожної країни, тобто від кожного значення віднімається середнє по відповідній країні. Такий підхід (fixed effects) широко застосовується в економетриці для нівелювання усіх сталих, структурних відмінностей між країнами (таких як територія, рівень урбанізації, історичний рівень продуктивності чи базовий рівень цін) [39, 40]. Усі ці фактори є незмінними або повільно змінними у часі, і вони можуть створювати значне зміщення в моделі. Центрування дозволяє фокусуватися саме на міжчасовій динаміці, тобто на зміні показників країни відносно її власного середнього, що є важливим для правильної побудови кластерів за траєкторіями змін.

Після усунення фіксованих ефектів проводиться масштабування ознак за допомогою StandardScaler, щоб усі показники мали однаковий масштаб і не домінували над іншими через різні одиниці виміру. Це обов'язкова умова для LASSO та подальшої кластеризації, оскільки методи, чутливі до масштабу, можуть неправильно інтерпретувати важливість змінних.

Після підготовки ознак застосовується LASSO з крос-валідацією (LassoCV) [35, 36]. LASSO виконує автоматичний відбір змінних через обнулення ваг малозначущих факторів. На відміну від простого аналізу кореляцій, LASSO дозволяє врахувати взаємодію між усіма ознаками одночасно і вибрати саме ті показники, які мають справді системний і незалежний вплив на цільову змінну «Вартість експорту зерна на душу населення».

Показники (без лагів), що найбільше впливають на цільову змінну:	
Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)/hum	43.901587
Вартість імпорту зерна (1000 USD)/hum	12.712926
Використання добрив (кг на особу)	6.235084
Індекс споживчих цін на продукти харчування (2015 = 100)	4.115747
Зміна температури землі протягом року (°C)	2.515964
ВВП на душу населення (USD)	2.196459
Індекс одиниці/вартості імпорту зерна (2014-2016 = 100)	1.391078
Індекс валового виробництва зерна на душу населення (2014-2016 = 100)	1.192183
Ціна пшениці (USD за тонну)	-14.756177
dtype: float64	

Рисунок 3.5 – Перелік показників що найбільше впливають на цільову змінну

Джерело: розроблено автором

Отримані коефіцієнти на рисунку 3.5 мають наступний економічний зміст:

1. Валова вартість вирощеного зерна на особу ($\approx +43.9$). Це найбільш вагомий фактор. Він показує, що зростання загального обсягу виробництва зерна на одного мешканця прямо підсилює експортний потенціал. Коефіцієнт LASSO-регресії такий великий, оскільки цей показник найбільше пов'язаний зі здатністю країни формувати товарні надлишки для зовнішнього ринку. Цей коефіцієнт відображає маржинальний вплив внутрішніх відхилень між країнами на показник від його середнього рівня

2. Вартість імпорту зерна на особу ($\approx +12.7$). Цей результат відображає синхронну реакцію імпорту й експорту на загальносвітову цінову кон'юнктуру зернового ринку. У періоди зростання світових цін збільшується вартість як експортних, так і імпортних операцій, що формує позитивну кореляцію між відповідними показниками в межах одного року.

3. Використання добрив на особу ($\approx +6.23$). Інтенсивне застосування добрив підвищує продуктивність і врожайність, що безпосередньо збільшує експортні можливості. Цей показник відображає доступність агрохімії та технологічний рівень агросектору.

4. Індекс споживчих цін на продукти харчування ($\approx +4.12$). Вищі ціни на продовольство можуть відображати загальний рівень економічної активності,

попит і ринкові умови, у яких більш продуктивні країни також схильні мати сильні аграрні сектори.

5. Зміна температури землі протягом року ($\approx +2.52$). Цей фактор демонструє кліматичний вплив. Деякі країни зі стабільним помірним зростанням температури отримують вищу врожайність у певні роки. Тобто показник відображає регіональні кліматичні умови, сприятливі для збільшення виробництва.

6. ВВП на душу населення ($\approx +2.20$). Багатші країни мають вищий технологічний рівень, доступ до інвестицій, розвинену логістику і кращу інфраструктуру, що підсилює експортний потенціал.

7. Індекс одиниці/вартості імпорту зерна ($\approx +1.39$). Зростання вартості імпортного зерна може сигналізувати про підвищення світових цін або високі виробничі витрати, що нерідко супроводжується збільшенням цін на експорт українського зерна.

8. Індекс валового виробництва зерна на душу населення ($\approx +1.19$). Підтверджує: країни з ростом виробництва у перерахунку на населення мають більший ресурс для формування експортних надлишків.

9. Ціна пшениці (≈ -14.76). Це свідчить про негативний зв'язок між зростанням світових цін і вартістю експорту зерна на душу населення за інших рівних умов. Така залежність пояснюється тим, що різке підвищення цін зазвичай виникає в умовах дефіциту пропозиції, коли значна частина врожаю спрямовується на внутрішнє споживання з міркувань продовольчої безпеки, а фізичні обсяги експорту скорочуються.

Модель LASSO показала, що експортний потенціал країни найбільше залежить від внутрішнього виробництва на душу населення, інтенсивності використання добрив, загальних економічних параметрів (ВВП), кліматичних умов та структури зовнішньої торгівлі.

Негативна залежність від світової ціни на пшеницю є важливим результатом, який свідчить про структурні обмеження експорту зерна - фактор, що буде особливо значущим у моделюванні впливу війни.

```

Новий датафрейм для нечіткої кластеризації (фічі без лагів):
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
Index: 984 entries, 240 to 5925
Data columns (total 12 columns):
#   Column                                                                 Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)/hum                    984 non-null   float64
1   Вартість імпорту зерна (1000 USD)/hum                              984 non-null   float64
2   Використання добрив (кг на особу)                                  984 non-null   float64
3   Індекс споживчих цін на продукти харчування (2015 = 100)          984 non-null   float64
4   Зміна температури землі протягом року (°C)                        984 non-null   float64
5   ВВП на душу населення (USD)                                         984 non-null   float64
6   Індекс одиниці/вартості імпорту зерна (2014-2016 = 100)           984 non-null   float64
7   Індекс валового виробництва зерна на душу населення (2014-2016 = 100) 984 non-null   float64
8   Ціна пшениці (USD за тонну)                                         984 non-null   float64
9   Вартість експорту зерна (1000 USD)/hum                             984 non-null   float64
10  Країна                                                                984 non-null   object
11  Рік                                                                    984 non-null   int64
dtypes: float64(10), int64(1), object(1)
memory usage: 99.9+ KB
None

```

Рисунок 3.6 – Функція info() для фінального датасету

Джерело: розроблено автором

У датасеті залишено 10 стандартизованих показників та дві службові змінні - «Країна» і «Рік» (див. рисунок 3.6). Така компактна структура є результатом цілеспрямованого відбору ознак на основі LASSO-регресії з фіксованими ефектами та мультиколінеарного аналізу. У вибірці присутні тільки ті показники, які довели статистично значущий вплив на цільову змінну

3.2. Нечітка кластеризація та побудова прогнозних моделей

3.2.1 Нечітка кластеризація

Після відбору релевантних показників за допомогою LASSO та формування фінального набору змінних виникла необхідність підготувати дані для побудови моделі нечіткої кластеризації. Оскільки поставлена задача передбачає аналіз не окремих річних спостережень, а динаміки розвитку країни у часі, необхідно було перейти від "довгого" формату панельних даних до "широкого", де кожна країна представлена єдиним багатовимірним вектором, що містить інформацію про всі

роки спостереження. Такий формат є стандартним для алгоритмів кластеризації, оскільки дозволяє оцінювати подібність не між окремими точками, а між повними траєкторіями розвитку країн.

Для цього дані були перетворені у матрицю, де рядком є країна, а стовпцями значення всіх відібраних показників за кожен рік (240 значень – 10 показників за 24 роки за період з 2000 по 2023 рр.). Така структура відображає повний «часовий профіль» країни і дозволяє фіксувати як рівень показників, так і їхню зміну у часі. Відповідно, кластеризація аналізує не статику, а структурну подібність динаміки аграрно-економічних процесів.

Наступним кроком стала стандартизація даних та їхня стабілізація за допомогою трансформації Yeo–Johnson. Вона була застосована для усунення суттєвої асиметрії та нерівномірності масштабів між змінними. У високовимірних економічних даних така трансформація особливо важлива, оскільки вона приводить різні індикатори до порівнюваних масштабів, пом'якшує вплив викидів і робить структуру даних більш придатною для алгоритмів на кшталт FCM, які використовують евклідові відстані.

На завершальному етапі були сформовані кілька альтернативних представлень ознак (base, whitened, prune), які використовувалися для мета-підбору найкращого варіанту структури даних для кластеризації. Це дозволило забезпечити стійкість моделі й уникнути домінування будь-яких надмірно варіативних показників.

У підсумку був сформований фінальний масив X_{use} , який містив очищені, трансформовані та збалансовані часові траєкторії країн за весь період. Саме цей масив і став основою для подальшої побудови моделі нечіткої кластеризації, завдяки чому вдалося визначити найближчих «аналогів» України за структурою розвитку аграрного сектору та використати їхні динамічні закономірності для побудови нечітко-зважених прогнозних моделей.

Після формування підготовленої вибірки та підбору оптимальних параметрів моделі було проведено нечітку кластеризацію методом Fuzzy C-Means. В результаті тестування різних конфігурацій параметрів та альтернативних

представлень ознак найкращі показники якості кластеризації продемонструвала модель у конфігурації PRUNE15, що дозволило зменшити шум і підвищити чіткість розмежування груп. Оптимальною виявилася модель з трьома кластерами, що забезпечує збалансований компроміс між узагальненням результатів та збереженням відмінностей між країнами. Для алгоритму було обрано параметр нечіткості $m = 1,8$, який дозволяє адекватно відобразити поступовий характер належності країн до різних кластерів без надмірного розмивання меж між ними.. Саме ця модель забезпечила найкращий баланс між ступенем нечіткості, силуетною оцінкою та індексом Калінського–Харабаша.

Отримані значення метрик свідчать, що структура даних допускає природний розподіл країн на три відносно стійкі групи:

- $FPC = 0.382$ - середній рівень нечіткості, що вказує на те, що кластери досить перекриті, але все ж мають помітні центри групування;
- $silhouette = 0.132$ - помірна відокремленість кластерів, характерна для економічних даних з сильними внутрішніми варіаціями;
- $CH = 8.6$ і $DB = 1.948$ - значення, які підтверджують наявність структурованості, але також демонструють складність даних та високий ступінь гетерогенності між країнами.

Структура кластерів

В результаті застосування зазначеного підходу усі країни були розподілені на три кластери, причому кожен кластер формує групу країн зі схожою динамікою розвитку аграрного сектору та подібною чутливістю до змін у економічних та екологічних показниках.

Кластер 0 (15 країн) представлений переважно високорозвиненими державами Європи та країнами з високою стабільністю аграрного виробництва. Для цієї групи характерні високі показники продуктивності та значний рівень технологічної модернізації. Динаміка розвитку цих країн є найбільш передбачуваною та відносно стійкою до глобальних шоків.

Кластер 1 (12 країн) об'єднує змішану групу держав, серед яких - країни з перехідною економікою, великі аграрні виробники Південної Америки та частина країн Південно-Східної Азії. Україна також належить до цієї групи. Країни цього кластеру характеризуються суттєвими коливаннями аграрних показників, високою залежністю від зовнішніх ринків і менш стабільними умовами виробництва. Саме така структура групи пояснює чутливість України до зовнішніх шоків, що загострюється під час військових дій.

Кластер 2 (14 країн) включає переважно країни Північної Америки, Балтії та Центральної Європи. Ці держави демонструють стабільно високі показники ефективності виробництва, але, на відміну від першого кластеру, їхня динаміка є більш волатильною та характеризується періодами значних коливань виробництва та експорту.

Позиція України у системі кластерів

Окремої уваги потребує оцінка ступеня нечіткої належності України до кластерів. Україна має досить рівномірний розподіл членства між двома групами:

- Кластер 1: 0.406996,
- Кластер 2: 0.406893,
- Кластер 0: 0.186111.

Такий розподіл свідчить про гібридний характер розвитку українського аграрного сектору. Україна одночасно демонструє риси країн із групи перехідних економік (кластер 1), але також має спільні риси з країнами більш стабільного, індустріалізованого аграрного виробництва (кластер 2). Низька належність до кластеру 0 вказує на те, що структура аграрної економіки України суттєво відрізняється від високотехнологічних і структурно стабільних західноєвропейських моделей.

Фактично, Україна розташована на межі двох кластерів, що відображає її реальний стан: значний експортний потенціал поєднується з високою вразливістю

до зовнішніх шоків та нестабільних внутрішніх умов. Така позиція є критично важливою для подальшого прогнозування - оскільки моделювання траєкторій обох кластерів дозволяє побудувати більш збалансовані та обережні сценарії розвитку.

3.2.2 Побудова прогнозних моделей

Після завершення етапу нечіткої кластеризації та визначення ступенів належності України до кожного кластеру наступним кроком є побудова прогнозних моделей. Мета цього етапу - оцінити потенційні втрати експортного потенціалу внаслідок війни, використовуючи динаміку країн, що є подібними до України за структурою розвитку аграрного сектору.

Оскільки кластеризація показала, що Україна одночасно має суттєвий зв'язок із двома кластерами, прогнозування здійснюється не для якоїсь однієї групи, а для всіх трьох кластерів з урахуванням нечітких ваг членства. Такий підхід дозволяє коректно поєднати інформацію з кількох кластерів та уникнути жорсткого, штучного віднесення до одного сценарію розвитку.

Для кожного з отриманих кластерів окремо було сформовано вибірку даних з країн, які були віднесені до відповідного кластеру. Далі вибірку було розділено на навчальну та валідаційну:

- Вибірка для тренування: до 2018 року включно,
- Вибірка для валідації: 2019–2021 роки.

Це дає можливість перевірити, наскільки адекватно моделі здатні відтворювати найсвіжішу довоєнну динаміку.

Для кожного кластеру будувались та експериментально порівнювались два типи моделей:

- Лінійна регресія.
- Random Forest Regressor.

При цьому використовувалась ідентична підготовка даних у всіх групах, що гарантує порівнянність результатів. Кожна модель проходила оцінку за метриками

R^2 та RMSE, після чого обирався найкращий варіант для конкретного кластера. Цей підхід дозволяє сформулювати три незалежні моделі (по одній для кожного кластера), що найкраще відображають специфіку динаміки у межах своїх кластерів.

На основі отриманих моделей наступним завданням стало побудувати майбутні значення ознак для України. Для цього застосовано дві стратегії:

1. Базовий сценарій: усі показники фіксуються на рівні 2021 року. Це базова, консервативна траєкторія, яка імітує збереження довоєнних умов.
2. Динамічний сценарій: кожен показник екстраполюється у майбутнє з використанням медіанних річних темпів росту у кластері, до якого Україна має найбільшу ступінь належності. Це дозволяє отримати динамічний сценарій, що враховує властивий кластеру темп економічних та аграрних процесів.

Обидві стратегії відповідають різним типам сценарного аналізу - від обережного до більш структурно обґрунтованого.

Нечітко-зважене прогнозування

Після отримання прогнозних значень пояснюючих змінних для 2022 і 2023 років, кожна з кластерних моделей формує власний прогноз цільової змінної - вартості експорту зерна на душу населення. Ці кластерні прогнози поєднуються між собою за допомогою ваг нечіткого членства:

$$\hat{y}_j = \frac{\sum_i \mu_{ij} f_i(x)}{\sum_i \mu_{ij}}.$$

Таким чином, кінцевий прогноз вартості експорту зерна на душу населення в Україні не є жорстким і не нав'язує приналежність до однієї групи, а відображає її багатокомпонентний характер. Такий підхід є більш стабільним та менш чутливим до структурних змін у даних.

Після побудови моделей для кожного з кластерів було здійснено їх валідацію на відрізку 2019–2021 рр., тобто на довоєнному періоді.

Результати оцінювання наведено нижче в таблиці 3.1:

Таблиця 3.1 – Результати оцінювання валідації кластерів

Кластер	Модель	R ²	RMSE
0	LR	0.453	25.27
0	RF	0.617	21.15
1	LR	0.555	53.08
1	RF	0.544	53.75
2	LR	0.859	39.43
2	RF	0.745	52.94

Джерело: розроблено автором

Отримані результати демонструють, що кластери відрізняються за структурою та складністю залежностей:

- Кластер 0 характеризується помірною лінійністю процесів: Random Forest дає кращу якість прогнозу.
- Кластер 1 має найбільш «рівну» якість - лінійна модель та RF працюють практично однаково. Це вказує на змішану структуру факторів і високу міжрічну волатильність.
- Кластер 2 демонструє майже ідеально лінійну залежність, про що свідчить $R^2 = 0.859$, що є найвищим серед усіх груп. Саме у цьому кластері спостерігається найбільш стабільна економічна структура.

1) Базовий сценарій

У цьому сценарії всі показники України фіксуються на рівні 2021 року. Це умовно-стаціонарна траєкторія, яка показує, що би сталось без структурних змін, але з урахуванням довоєнного рівня показників. Прогноз:

- 2022: 228.35
- 2023: 228.35

Прогноз однаковий для обох років, що логічно: при незмінних факторах модель не має підстав формувати зростання або падіння. Компонентні прогнози кластерів (2022–2023):

- Кластер 0 ~117.55

- Кластер 1 ~240.92
- Кластер 2 ~266.45

Україна отримує найбільші ваги у кластерах 1 і 2, тому підсумковий прогноз наблизений саме до їхніх значень.

2) Динамічний сценарій

У цьому сценарії майбутні значення ознак формуються з урахуванням медіанних темпів росту кластера, до якого Україна має найбільшу належність. Такий підхід моделює можливий розвиток України, якби вона рухалась у тренді країн свого кластера. Прогноз:

- 2022: 243.21
- 2023: 258.96

На відміну від попереднього сценарію, тут бачимо приріст прогнозованих значень вартості експорту зерна на душу населення в Україні. Це відповідає тенденції, за якої країни кластерів 1 і 2 мали до війни досить стабільні позитивні темпи зростання аграрного експорту. Компонентні прогнози (2022–2023):

- Кластер 0 117.64 та 117.56
- Кластер 1 257.80 та 275.71
- Кластер 2 286.06 та 306.88

Чітко видно, що кластери 1 та 2 зберігають тенденцію зростання, а кластер 0 тенденцію спадання.

Висновок розділу

Після формування кластерів та побудови окремих регресійних моделей для кожної групи було проведено їхню валідацію на даних 2019–2021 років. Такий підхід дозволяє оцінити, наскільки точно кожна модель здатна відтворювати

реальну поведінку експорту зерна в межах своєї кластерної структури. Результати показали, що кожен кластер характеризується власним рівнем передбачуваності: у нульовому кластері кращу якість демонструє нелінійна модель (Random Forest), тоді як у першому кластері чітко переважає лінійна модель, що свідчить про майже прямолінійну залежність між відібраними факторами та експортом. Другий кластер за структурою наближений до змішаного типу, де обидві моделі дають близькі за якістю результати. Така різноманітність підтверджує, що аграрні системи різних країн поведуться по-різному і потребують диференційованих моделей, а не однотипного підходу.

Оцінка прогнозу для України здійснювалася з урахуванням її нечіткої належності до кластерів. Ваги членства становлять приблизно по 0.41 для двох основних кластерів і 0.19 для третього, що означає, що Україна знаходиться між моделями, властивими групам країн середнього та високого аграрного потенціалу. Саме тому підсумковий прогноз формується як зважене поєднання прогнозів кожного кластера, що забезпечує більш реалістичну оцінку з урахуванням структурної неоднорідності.

Прогноз, отриманий для базового сценарію, показав, що за відсутності війни експорт зерна на душу населення в Україні мав би залишатися на рівні близько 228 доларів на особу у 2022 та 2023 роках. Фактичні ж значення становили 223,4 долара у 2022 році та 220,1 долара у 2023 році, тобто були помітно нижчими від очікуваної траєкторії [46, 47]. Аналіз різниці між прогнозними і реальними величинами показує, що країна втрачала в середньому від 5 до 8 доларів експортної виручки на кожного мешканця щороку. Якщо оцінювати втрати відштовхуючись від фактичного населення, яке залишалося в країні в період активних бойових дій та масової еміграції, то загальні прямі втрати експортного потенціалу за два роки становили приблизно пів мільярда доларів США. Ця оцінка відображає чисто економічний вплив війни на можливість виробляти та експортувати зерно.

Однак такий підхід не враховує значного демографічного ефекту. Через війну мільйони громадян були змушені виїхати, і країна втратила значну частину населення, яке, за стабільних умов, і формувало би відповідний рівень попиту,

пропозиції та трудових ресурсів, що, у свою чергу, впливає на загальний обсяг виробництва та експорту. Якщо припустити, що Україна без війни продовжила би рухатися за довоєнною демографічною тенденцією, то кількість населення у 2022–2023 роках була б істотно вищою, ніж фактично. За таких умов загальні втрати експорту, розраховані як різниця між прогнозованими обсягами (за довоєнними чисельністю населення і прогнозним рівнем експорту на душу населення) та реальними показниками, сягають уже понад 2,5 мільярди доларів США. Це значення відображає сукупний прямий і демографічно зумовлений економічний ефект війни на експортний потенціал.

Ще один аспект втрат простежується у порівнянні фактичних даних із прогнозом, який відображає не просто стабільність, а й потенційну здатність України розвиватися синхронно з групою країн, до якої вона має найвищу ступінь належності за моделлю нечіткої кластеризації. Кластерно-трендовий сценарій показує, що при відсутності війни експорт зерна на душу населення міг би не лише зберегти попередній рівень, а й продовжити зростання, досягнувши понад 243 доларів у 2022 році та понад 258 доларів у 2023 році. Порівняння цих прогнозних значень із фактичними демонструє, що країна недоотримала ще близько 2,3 мільярда доларів потенційного зростання. Це так звані втрати “нереалізованого розвитку” - тобто не лише прямі втрати, а й ті можливості, які не були реалізовані через обмеження, що наклала війна на аграрний сектор.

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що Україна одночасно зазнала кількох типів втрат: прямі економічні через зниження експорту, демографічні, які спричинили зменшення сукупного потенціалу виробництва і експорту, та стратегічні - у вигляді втраченого можливого зростання, яке країна могла б реалізувати, рухаючись у межах траєкторії, характерної для її кластерної групи. Сукупний ефект цих трьох складових підкреслює масштаб негативного впливу війни на аграрний сектор та демонструє, наскільки сильно цей вплив виходить за рамки стандартних економічних коливань [46, 47, 48, 49, 50].

ВИСНОВКИ

Аграрні ринки в умовах ХХІ століття функціонують у середовищі глибокої міжнародної взаємозалежності, де будь-які зовнішні потрясіння миттєво відображаються на стані національних продовольчих систем. Глобалізація, яка протягом останніх десятиліть сприяла інтенсифікації торгівлі, розвитку інфраструктури та зростанню ефективності виробництва, одночасно підвищила вразливість національних аграрних секторів до шоків, що виникають поза межами внутрішньої економіки. Вторгнення Росії в Україну стало яскравим прикладом того, як регіональна війна здатна трансформуватися у кризу світового масштабу, зачіпаючи продовольчі ринки, транспортні коридори, фінансові потоки та інвестиційні рішення. Порушення звичних логістичних маршрутів, блокування чорноморських портів, руйнування виробничих потужностей і скорочення доступних ресурсів привели до значних коливань міжнародних цін, дефіцитів у низці країн та загострення продовольчої нестабільності. Ці тенденції узгоджуються з результатами досліджень Т. Глаубен, М. Сванідзе, М. Михайлова, С. Хе та інших дослідників, які наголошують, що війна в Україні стала одним із найпотужніших шоків для глобального аграрного сектору з початку ХХІ століття.

У таких умовах саме логістика постає найбільш чутливим елементом функціонування аграрної системи. Різкі зміни напрямів експорту, перенавантаження сухопутних переходів, дефіцит складських площ та збільшення трансакційних витрат істотно обмежили реальну можливість України використовувати свій аграрний потенціал. Як засвідчують аналітичні матеріали FAO, Європейської Комісії та OECD, ефективність ланцюгів постачання в кризових умовах визначає не лише рівень внутрішньої продовольчої безпеки, а й стабільність світових ринків, адже дезорганізація транспортної інфраструктури в одній країні здатна спричинити багаторівневий дисбаланс у міжнародній торгівлі.

У межах даного дослідження було розроблено комплексний підхід до оцінювання втрат експортного потенціалу, що базується на використанні нечіткої кластеризації. Такий підхід дав змогу відійти від лінійного принципу моделювання

та врахувати структурні відмінності між країнами, які проявляються у різній динаміці економічних, ресурсних, екологічних та виробничих показників. Попередня обробка даних — нормування, центрування в межах країн (fixed effects), усунення мультиколінеарності, трансформація та відбір ключових змінних за допомогою LASSO — забезпечила надійну основу для формування точних кластерних структур. Застосування нечіткої кластеризації дозволило врахувати те, що країни рідко відповідають одному чіткому типу аграрного розвитку. Для України такий підхід виявився особливо релевантним, адже її аграрний сектор поєднує високопродуктивні риси з одночасною вразливістю до зовнішніх загроз.

Аналіз отриманих кластерів показав, що Україна має близькість одразу до двох економічних груп — динамічних виробників та інтенсивних експортерів. Це відображає як її довоєнну роль одного з ключових світових постачальників аграрної продукції, так і значні внутрішні резерви аграрного розвитку. Побудова окремих моделей прогнозування для кожного кластера і формування фінального прогнозу як зваженої комбінації кластерних оцінок дали змогу отримати реалістичний сценарій — оцінку того, яким міг бути експортний потенціал України у 2022–2023 роках за відсутності війни. Такий сценарний аналіз є принципово важливим у контексті оцінювання економічних втрат, планування післявоєнного відновлення та формування стратегій державної політики.

Співставлення прогнозних та фактичних показників продемонструвало значні втрати експортного потенціалу. За умов збереження довоєнної динаміки Україна могла б утримувати або навіть нарощувати експорт продукції на одну особу, тоді як фактичні значення істотно знизилися. Причини цього зниження мають переважно зовнішній характер: порушення логістики, блокада портів, зростання вартості транспортування, дефіцит робочої сили та часткова втрата доступу до земельних ресурсів. Додатковим чинником стало масштабне скорочення населення внаслідок міграційних процесів, що також вплинуло на показники експорту в перерахунку на одну особу. За сценарієм екстраполяції кластерного тренду втрати виглядають ще більш відчутними, що свідчить про

зупинку довгострокової позитивної траєкторії, яку демонстрував аграрний сектор України до 2022 року.

Таким чином, проведене дослідження доводить, що ключові втрати експортного потенціалу України зумовлені не стільки внутрішнім падінням виробництва, скільки масштабними зовнішніми обмеженнями та дезорганізацією логістичних потоків. Запропонована методологія нечіткої кластеризації й побудови кластерних прогнозів дозволяє не лише моделювати реальні втрати, а й формувати кількісно обґрунтовані сценарії для майбутньої відбудови. Отримані результати можуть бути використані під час розробки державних програм підтримки аграрного сектору, планування післявоєнного відновлення інфраструктури, диверсифікації торговельних маршрутів та формування стратегії залучення інвестицій.

У підсумку можна стверджувати, що аграрний сектор України, незважаючи на масштабні виклики, зберігає значний потенціал для відновлення і зростання. За умови повернення доступу до глобальних ринків, відновлення транспортної інфраструктури та підтримки інноваційного розвитку він здатний не лише відновити довоєнні позиції, а й зміцнити свою роль одного з ключових учасників світового аграрного ринку

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Glauben T., Svanidze M., Götz L., Prehn S., Jaghdani J.T., Duric I., Kuhn L. The War in Ukraine, Agricultural Trade and Risks to Global Food Security. *Intereconomics*. 2022. Vol. 57(3). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10272-022-1052-7> (дата звернення: 28.11.2025).
2. Gräbner C., Heimberger P., Kapeller J., Schütz B. Is the Eurozone disintegrating? Macroeconomic divergence, structural polarisation, trade and fragility. *Cambridge Journal of Economics*. 2020. Vol. 44(3). P. 647–669. DOI: 10.1093/cje/bez059.
3. Aiginger K. Who Will Shape the New World Order? *Intereconomics*. 2022. Vol. 57(3). URL: <https://www.intereconomics.eu/contents/year/2022/number/3/article/who-will-shape-the-new-world-order.html> (дата звернення: 28.11.2025).
4. Mykhailova M., Yatsenko O., Zavadzka Y., Afanasieva O., Haas R. The War in Ukraine and Its Impact on Global Agricultural Trade. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*. 2024. Vol. 74(2). URL: https://www.researchgate.net/publication/378741730_The_War_in_Ukraine_and_Its_Impact_on_Global_Agricultural_Trade (дата звернення: 28.11.2025).
5. FAO. Ukraine: Impact of the war on agricultural enterprises – Findings of a nationwide survey of agricultural enterprises with land up to 250 hectares, January–February. Rome, 2023. DOI: 10.4060/cc5755en.
6. He X., Carriquiry M., Elobeid A., Hayes D., Zhang W. Impacts of the Russian-Ukraine Conflict on Global Agriculture Commodity Prices, Trade, and Cropland Reallocation. *Choices*. 2023. Vol. 38, Quarter 2. URL: <https://ideas.repec.org/a/ags/aaeach/338213.html> (дата звернення: 28.11.2025).
7. Olsen V.M., Fensholt R., Olofsson P., Bonifacio R., Butsic V., Druce D., Ray D., Prishchepov A.V. The impact of conflict-driven cropland abandonment on food

- insecurity in South Sudan revealed using satellite remote sensing. *Nature Food*. 2021. Vol. 2. P. 990–996. DOI: 10.1038/s43016-021-00417-3.
8. Li X.Y., Li X., Fan Z., Mi L., Kandakji T., Song Z., Li D., Song X.P. Civil war hinders crop production and threatens food security in Syria. *Nature Food*. 2022. Vol. 3. P. 38–46. DOI: 10.1038/s43016-021-00432-4.
 9. Directorate-General for Agriculture and Rural Development. Short-term outlook report: war in Ukraine continues to impact EU farmers, 30 March 2023. Brussels, 2023. URL: https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/084f6f92-cab3-4e5f-a0f1-ad4b46ddf2c5_en?filename=short-termoutlook-spring-2023_en.pdf (дата звернення: 28.11.2025).
 10. КААСК. Офіційний сайт компанії. URL: <https://www.kaack-terminhandel.de/pl/> (дата звернення: 28.11.2025).
 11. FAO. World Food Situation. Офіційний сайт. URL: <https://www.fao.org/worldfoodsituation> (дата звернення: 28.11.2025).
 12. Global Food Security Index 2019 and 2022. The Economist; Corteva Agriscience, 2023. URL: <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/> (дата звернення: 28.11.2025).
 13. Polat O., Başar B.D., Torun E., Ekşi I.H. Dynamic interlinkages between geopolitical stress and agricultural commodity market: Novel findings in the wake of the Russian Ukrainian conflict. *Borsa Istanbul Review*. 2023. Vol. 23(1). P. S74–S83. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214845023000686> (дата звернення: 28.11.2025).
 14. Sydorkina K. Market Systems Approach during Russia's War on Ukraine. *AgriLinks, Feed the Future*, 8 August 2023. URL: <https://agrilinks.org/post/market-systems-approach-during-russias-warukraine> (дата звернення: 28.11.2025).
 15. Mamonova N. 9 Key Points on Ukrainian Agriculture in Wartime – Resilience, Reforms, & Markets. *Agricultural and Rural Convention 2020*, 20 November

2023. URL: <https://www.arc2020.eu/9-key-points-on-ukrainian-agriculture-in-wartime-resilience-reforms-markets/> (дата звернення: 28.11.2025).
16. Laraia B.A. Food insecurity and chronic disease. *Advances in Nutrition*. 2013. Vol. 4(2). P. 203–212.
 17. World Bank. Офіційний сайт. URL: <https://www.worldbank.org/ext/en/home> (дата звернення: 28.11.2025).
 18. Clapp J., Moseley W.G., Burlingame B., Termine P. The case for a six-dimensional food security framework. *Food Policy*. 2022. Vol. 106. Article 102164.
 19. Pereira M., Oliveira A.M. Poverty and food insecurity may increase as the threat of COVID-19 spreads. *Public Health Nutrition*. 2020. Vol. 23(17). P. 3236–3240.
 20. Kerr R.B., Madsen S., Stüber M., Liebert J., Enloe S., Borghino N. et al. Can agroecology improve food security and nutrition? A review. *Global Food Security*. 2021. Vol. 29. Article 100540.
 21. Mbow C., Rosenzweig C.E., Barioni L.G., Benton T.G., Herrero M., Krishnapillai et al. Food security. IPCC Report, No. GSFC-E-DAA-TN78913. 2020.
 22. Ammar K.A., Kheir A.M., Ali B.M., Sundarakani B., Manikas I. Developing an analytical framework for estimating food security indicators in the United Arab Emirates: a review. *Environment, Development and Sustainability*. 2024. Vol. 26(3). P. 5689–5708.
 23. Nadia A.R., Hazem A.N., Dana A.N. The impact of Russo-Ukrainian war, COVID-19, and oil prices on global food security. *Heliyon*. 2024.
 24. Jagtap S., Trollman H., Trollman F., Garcia-Garcia G., Parra-López C., Duong L., Martindale W., Muneke P.E.S., Lorenzo J.M., Hdaifeh A. et al. The Russia-Ukraine Conflict: Its Implications for the Global Food Supply Chains. *Foods*. 2022. Vol. 11. Article 2098. DOI: 10.3390/foods11142098.
 25. Chunding L., Donglin L., Juan L. Global Food Security in the Context of the Russia-Ukraine Conflict and China's Food Security Policy Options in the New Era. *World Agriculture*. 2023. 28 June.

26. Ben Hassen T., El Bilali H. Impacts of the Russia-Ukraine War on Global Food Security: Towards More Sustainable and Resilient Food Systems? *Foods*. 2022. Vol. 11(15). DOI: 10.3390/foods11152301.
27. Zhang Z., Abdullah M.J., Xu G. et al. Countries' vulnerability to food supply disruptions caused by the Russia–Ukraine war from a trade dependency perspective. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Article 16591. DOI: 10.1038/s41598-023-43883-4.
28. Kauf S. Globalne łańcuchy dostaw w obliczu inwazji Rosji na Ukrainę oraz popandemicznej normalności. *Gospodarka materiałowa i logistyka*. 2022. LXXIV (7). S. 2–8.
29. Nguyen T.T. et al. Interstate war and food security: Implications from Russia's invasion of Ukraine. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023. Article 1080696. P. 1–15.
30. FAO. The importance of ukraine and the russian federation for global agricultural markets and the risks associated with the war in ukraine. Rome: FAO, 2022. URL: <https://www.fao.org/3/cb9013en/cb9013en.pdf> (дата звернення: 28.11.2025).
31. Council of the European Union. How the Russian invasion of Ukraine has further aggravated the global food crisis. Інфографіка. Офіційний сайт Ради ЄС. URL: <https://www.consilium.europa.eu/pl/infographics/how-the-russian-invasion-of-ukraine-has-further-aggravated-the-global-food-crisis/> (дата звернення: 28.11.2025).
32. Bezdek J.C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Springer, 1981. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4757-0450-1.pdf> (дата звернення: 28.11.2025).
33. Bezdek J.C. et al. Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing. New York: Springer, 1999. URL: https://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/fuzzy/bibl/fuzzy_models_and_a.pdf (дата звернення: 28.11.2025).

34. Bezdek J.C. Objective Function Clustering. In: Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Springer, 1981. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-0450-1_3 (дата звернення: 28.11.2025).
35. Tibshirani R. Regression Shrinkage and Selection via the Lasso. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological). 1996. Vol. 58(1). P. 267–288. URL: <https://webdoc.agsci.colostate.edu/koontz/arec-econ535/papers/Tibshirani%20%28JRSS-B%201996%29.pdf> (дата звернення: 28.11.2025).
36. Fatih C. Lasso Regression Model. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/385879012_Lasso_Regression_Model (дата звернення: 28.11.2025).
37. Yeo I.K., Johnson R.A. A New Family of Power Transformations to Improve Normality or Symmetry. Biometrika. 2000. Vol. 87(4). P. 954–959. URL: <https://academic.oup.com/biomet/article-abstract/87/4/954/232908> (дата звернення: 28.11.2025).
38. Weisberg S. Yeo–Johnson Power Transformations. University of Minnesota, School of Statistics, Technical report. URL: <https://www.stat.umn.edu/arc/yjpower.pdf> (дата звернення: 28.11.2025).
39. Wooldridge J.M. Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data. Cambridge, MA: MIT Press, 2010. Повний текст. URL: https://new.mmf.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/03/wooldridge_cross_section_and_panel_data.pdf (дата звернення: 28.11.2025).
40. Greene W.H. Econometric Analysis. 8th ed. Harlow: Pearson, 2018. Опис видання. URL: <https://www.pearson.com/en-gb/subject-catalog/p/econometric-analysis-global-edition/P200000004340/9781292231150> (дата звернення: 28.11.2025).

- 41.FAOSTAT – Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Technical documentation. URL: <https://docs.owid.io/projects/etl/data/faostat/> (дата звернення: 28.11.2025).
- 42.FAOSTAT – Crops and Livestock Products. URL: <https://www.ccacoalition.org/resources/faostat-crops-and-livestock-products> (дата звернення: 28.11.2025).
- 43.FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024. Rome: FAO, 2024. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/43ef9f2c-a023-4130-81ce-dc5ac3f825ef> (дата звернення: 28.11.2025).
- 44.FAO. Trade of Agricultural Commodities 2010–2023. Statistical highlights. 2024. URL: <https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/trade-of-agricultural-commodities-2010-2023/en> (дата звернення: 28.11.2025).
- 45.FAOSTAT Agriculture Data: Crops and Livestock Products. Kaggle Dataset. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/vijayveersingh/faostat-crops-and-livestock-data> (дата звернення: 28.11.2025).
- 46.Nehrey M. Ukrainian Agriculture During the Full-Scale Russian-Ukrainian War: Challenges and Prospects. Agricultural and Resource Economics. 2023. URL: <https://are-journal.com/are/article/view/985> (дата звернення: 28.11.2025).
- 47.Countryman A.M. et al. Global Economic Effects of War-Induced Agricultural Export Declines from Ukraine. Applied Economic Perspectives and Policy. 2023. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aepp.13468> (дата звернення: 28.11.2025).
- 48.Kutsmus N. et al. War in Ukraine: Impact on Global Agri-Food Trade. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/379635153_War_in_Ukraine_Impact_on_global_agri-food_trade (дата звернення: 28.11.2025).
- 49.Leal Filho W. et al. How the War in Ukraine Affects Food Security. Sustainability. 2023. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10648107/> (дата звернення: 28.11.2025).

50. Butler I.A. Agriculture and War. The Australian Quarterly. 1940. Vol. 12(3). P. 82–94. URL: <https://www.jstor.org/stable/20630871> (дата звернення: 28.11.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Частина початкових даних для України

Країна	Рік	Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)	Валовий внутрішній продукт на душу населення (Int\$ 2021)	Вартість експорту зерна (1000 USD)	Вартість імпорту зерна (1000 USD)	ВВП на душу населення (USD)
Ukraine	2000	1905898	10364,1	142805	212560	1401,9
Ukraine	2001	2761781	11379,4	483701	50179	1545,3
Ukraine	2002	2232711	12092,8	997706	24312	1640,8
Ukraine	2003	2855163	13342,9	402292	522523	1811,7
Ukraine	2004	3448601	15021,1	843567	166513	2039,6
Ukraine	2005	3048762	15610,6	1382675	56224	2119,6
Ukraine	2006	3394095	16901,5	1353934	59440	2294,9
Ukraine	2007	4779584	18374	762618	86489	2494,8
Ukraine	2008	7786521	18884	3703423	146305	2564,1
Ukraine	2009	4599319	16092,8	3556190	98407	2185,1
Ukraine	2010	5431623	16811,8	1996713	120544	2198,9
Ukraine	2011	9698945	17784	3617189	219713	2326,5
Ukraine	2012	8862645	17848,7	6999792	248912	2337
Ukraine	2013	10240091	17889,1	6371312	306255	2340,6
Ukraine	2014	9551260	16978,8	6544117,6	366612,4	2194,6
Ukraine	2015	7820368	15403,7	6057490	154689,7	1988,2
Ukraine	2016	8617485	15856,8	6073914,4	148752,9	2044,3
Ukraine	2017	8545761	16310,4	6501774	176569,2	2100,8
Ukraine	2018	10950820	16979	7240432,6	190806,1	2185
Ukraine	2019	11197989	17636,6	9632954,5	180192,5	2267,6
Ukraine	2020	11434299	17092,5	9417555,3	178413,3	2196
Ukraine	2021	19611792	17846,4	11843904,3	162482,1	2291,2
Ukraine	2022	10441339	13787,1	9170458,4	152715	1761,5
Ukraine	2023	9152610	15917	8306027,9	119172,9	2018,4

Джерело: розроблено автором на основі [41, 43, 45].

Додаток В

**Програмний код реалізації нечіткої кластеризації для оцінювання втрат
експортного потенціалу аграрного сектору України**

```
# =====
# Імпорти
# =====

import numpy as np
import pandas as pd

import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

import skfuzzy as fuzz

from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.linear_model import LinearRegression, LassoCV
from sklearn.metrics import (
    mean_squared_error,
    r2_score,
    silhouette_score,
    calinski_harabasz_score,
    davies_bouldin_score,
)
from sklearn.preprocessing import PowerTransformer, StandardScaler
from sklearn.pipeline import Pipeline

# =====
# 1. Зчитування даних та первинна обробка
# =====

# Зчитуємо файл з даними
df = pd.read_excel("Магістерська.xlsx")
```

```

# Огляд структури датасету
df.info()
df.describe()

# Цільова змінна
column = "Вартість експорту зерна (1000 USD)"

# Фільтруємо країни, де для всіх років є дані про "Вартість експорту зерна (1000 USD)"
valid_countries = df.groupby("Країна")[column].apply(lambda x: x.notna().all())
countries_to_keep = valid_countries[valid_countries].index

# Залишаємо тільки валідні країни
df_filtered = df[df["Країна"].isin(countries_to_keep)]

print(f"\nКількість країн: {df_filtered['Країна'].nunique()}")

# Виведення кількості пропущених значень по кожному показнику
print("Кількість пропущених значень по кожному з показників:")
print(df_filtered.isnull().sum())

# Заповнення пропущених значень (простий детермінований підхід)
df_filtered["Використання добрив (кг на особу)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Використання пестицидів (тонни)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Вартість експорту зерна (1000 USD)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Кількість експорту зерна (тонни)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Вартість імпорту зерна (1000 USD)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Кількість імпорту зерна (тонни)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Виробництво зерна (тонни)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Зібрана площа зерна (га)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered[
    "Індекс валового виробництва зерна на душу населення (2014-2016 = 100)"
].fillna(0, inplace=True)
df_filtered[

```

```

    "Індекс одиниці/вартості експорту зерна (2014-2016 = 100)"
].fillna(0, inplace=True)
df_filtered[
    "Індекс одиниці/вартості імпорту зерна (2014-2016 = 100)"
].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Надходження в сільське господарство (USD)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Врожайність (кг на га)"].fillna(0, inplace=True)
df_filtered[
    "Приплив прямих іноземних інвестицій у сільське господарство (млн USD, ціни 2015 року)"
].fillna(0, inplace=True)
df_filtered["Індекс споживчих цін на продукти харчування (2015 = 100)"].fillna(
    100, inplace=True
)

# Заповнюємо пропущені значення для "Ціни пшениці (USD за тонну)" медіаною по
кожному року
df_filtered["Ціна пшениці (USD за тонну)"] = df_filtered.groupby("Рік")[
    "Ціна пшениці (USD за тонну)"
].transform(lambda x: x.fillna(x.median()))

# Заповнення "Валової вартості вирощеного зерна (1000 USD)" за формулою,
# якщо значення відсутнє
df_filtered["Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)"] = df_filtered.apply(
    lambda row: (
        row["Ціна пшениці (USD за тонну)"] * row["Виробництво зерна (тонни)"]
    )
    / 1000
    if pd.isna(row["Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)"])
    else row["Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)"],
    axis=1,
)

# Викиди N2O (тис. т): порожні значення за 2023 рік замінюємо

```

```

# на значення попереднього року для тієї ж країни (пряме заповнення вперед)
df_filtered["Викиди N2O (тис. т)"] = df_filtered.groupby("Країна")["Викиди N2O (тис. т)"]
].fillna(method="ffill")

# Видаляємо показники, які не використовуються далі в моделі
df_filtered.drop(columns=["Використання добрив (тонни)"], inplace=True)
df_filtered.drop(
    columns=[
        "Загальна зайнятість в агропродовольчих системах (тис. осіб)",
        "Частка зайнятого населення у сільському господарстві (%)",
    ],
    inplace=True,
)

print(df_filtered.info())

# =====
# 2. Нормування показників на населення та площу
# =====

# 2.1. Показники на душу населення (hum)
df_filtered["Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)/hum"] = (
    df_filtered["Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)"]
    / df_filtered["Населення (тис. осіб)"]
)
df_filtered["Вартість експорту зерна (1000 USD)/hum"] = (
    df_filtered["Вартість експорту зерна (1000 USD)"]
    / df_filtered["Населення (тис. осіб)"]
)
df_filtered["Вартість імпорту зерна (1000 USD)/hum"] = (
    df_filtered["Вартість імпорту зерна (1000 USD)"]
    / df_filtered["Населення (тис. осіб)"]
)

```

```

)
df_filtered["Виробництво зерна (тонни)/hum"] = (
    df_filtered["Виробництво зерна (тонни)"]
    / df_filtered["Населення (тис. осіб)"]
)
df_filtered["Кількість експорту зерна (тонни)/hum"] = (
    df_filtered["Кількість експорту зерна (тонни)"]
    / df_filtered["Населення (тис. осіб)"]
)
df_filtered["Кількість імпорту зерна (тонни)/hum"] = (
    df_filtered["Кількість імпорту зерна (тонни)"]
    / df_filtered["Населення (тис. осіб)"]
)
df_filtered["Надходження в сільське господарство (USD)/hum"] = (
    df_filtered["Надходження в сільське господарство (USD)"]
    / df_filtered["Населення (тис. осіб)"]
)

# 2.2. Показники на площу (ha)
df_filtered["Викиди N2O (тис. т)/ha"] = (
    df_filtered["Викиди N2O (тис. т)"] / df_filtered["Площа землі (га)"]
)
df_filtered["Використання пестицидів (тонни)/ha"] = (
    df_filtered["Використання пестицидів (тонни)"] / df_filtered["Площа землі (га)"]
)
df_filtered["Зібрана площа зерна (га)/ha"] = (
    df_filtered["Зібрана площа зерна (га)"] / df_filtered["Площа землі (га)"]
)
df_filtered["Орні угіддя (тис. га)/ha"] = (
    df_filtered["Орні угіддя (тис. га)"] / df_filtered["Площа землі (га)"]
)
df_filtered[
    "Приплив прямих іноземних інвестицій у сільське господарство (млн USD, ціни 2015
року)/ha"

```

```
] = (
    df_filtered[
        "Приплив прямих іноземних інвестицій у сільське господарство (млн USD, ціни 2015 року)"
    ]
    / df_filtered["Площа землі (га)"]
)
```

2.3. Видаляємо вихідні агреговані змінні (до нормування)

```
columns_to_drop = [
    "Валова вартість вирощеного зерна (1000 USD)",
    "Вартість експорту зерна (1000 USD)",
    "Вартість імпорту зерна (1000 USD)",
    "Виробництво зерна (тонни)",
    "Кількість експорту зерна (тонни)",
    "Кількість імпорту зерна (тонни)",
    "Надходження в сільське господарство (USD)",
    "Викиди N2O (тис. т)",
    "Використання пестицидів (тонни)",
    "Зібрана площа зерна (га)",
    "Орні угіддя (тис. га)",
    "Приплив прямих іноземних інвестицій у сільське господарство (млн USD, ціни 2015 року)",
    "Населення (тис. осіб)",
    "Площа землі (га)",
]
```

```
df_filtered.drop(columns=columns_to_drop, inplace=True)
```

```
# =====
```

3. Аналіз кореляцій та боротьба з мультиколінеарністю

```
# =====
```

Кореляція між усіма числовими стовпцями (крім "Країна" та "Рік")

```

correlation_matrix = df_filtered.drop(columns=["Країна", "Рік"]).corr()

# Візуалізація кореляційної матриці (heatmap)
plt.figure(figsize=(12, 8))
sns.heatmap(
    correlation_matrix,
    annot=True,
    cmap="coolwarm",
    fmt=".2f",
    linewidths=0.5,
)
plt.title("Кореляція між показниками")
plt.tight_layout()
plt.show()

# Видаляємо сильно корельовані показники для зменшення мультиколінеарності
columns_to_drop = [
    "Кількість експорту зерна (тонни)/hum",
    "Кількість імпорту зерна (тонни)/hum",
    "Валовий внутрішній продукт на душу населення (Int$ 2021)",
    "Виробництво зерна (тонни)/hum",
]

df_filtered.drop(columns=columns_to_drop, inplace=True)
print(df_filtered.info())

# =====
# 4. Фільтрація країн з мізерним експортом
# =====

target_col = "Вартість експорту зерна (1000 USD)/hum"
col_target = target_col

```

```

# Для розрахунку середніх значень беремо роки 2000–2021
df_recent = df_filtered[df_filtered["Рік"].between(2000, 2021)]

# Середнє значення експорту на душу населення по кожній країні
mean_export = df_recent.groupby("Країна")[col_target].mean()

# Залишаємо країни, де середній експорт  $\geq 10$ 
valid_countries = mean_export[mean_export >= 10].index
print(
    f"Залишаємо {len(valid_countries)} країн із {mean_export.size} "
    f"(де середній експорт  $\geq 10$ )"
)

# Фільтруємо основний датафрейм
df_filtered = df_filtered[df_filtered["Країна"].isin(valid_countries)].copy()

# =====
# 5. Фіксовані ефекти по країнах та LASSO-відбір ознак
# =====

# Центруємо всі числові колонки всередині кожної країни (fixed effects)
df_centered = df_filtered.copy()
numeric_cols = df_centered.select_dtypes(include=[np.number]).columns
df_centered[numeric_cols] = df_centered.groupby("Країна")[numeric_cols].transform(
    lambda x: x - x.mean()
)

# Формуємо набір ознак без року та цільової змінної
feature_cols = (
    df_centered.select_dtypes(include=[np.number])
    .drop(columns=[target_col, "Рік"])
    .columns
)

```

```
# Видаляємо лагові ознаки (колонки з "_lag" у назві) тільки на етапі моделювання
feature_cols = [c for c in feature_cols if "_lag" not in c]
```

```
X = df_centered[feature_cols]
y = df_centered[target_col]
```

```
# Масштабування ознак
scaler = StandardScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)
```

```
# LASSO з крос-валідацією для вибору найважливіших ознак
lasso = LassoCV(cv=10, random_state=42, n_jobs=-1, max_iter=10000)
lasso.fit(X_scaled, y)
```

```
# Обрані (ненульові) коефіцієнти
coef = pd.Series(lasso.coef_, index=feature_cols)
selected_features = coef[coef != 0].sort_values(ascending=False)
```

```
print("☑ Показники (без лагів), що найбільше впливають на цільову змінну:")
print(selected_features)
```

```
# Формуємо датафрейм для нечіткої кластеризації:
# тільки обрані фічі (без лагів) + ідентифікатори + ціль
final_cols = selected_features.index.tolist() + [target_col, "Країна", "Рік"]
df_filtered = df_filtered[final_cols].copy()
```

```
print("\n☑ Новий датафрейм для нечіткої кластеризації (фічі без лагів):")
print(df_filtered.info())
```

```
# =====
```

```
# 6. Побудова простору ознак для FCM (wide format)
```

```
# =====
```

```

# Для кластеризації беремо тільки дані до 2021 року включно
df_train = df_filtered[df_filtered["Рік"] <= 2021].copy()

# Список ознак для wide-представлення
features = [
    c
    for c in df_train.columns
    if c not in ["Країна", "Рік", "Вартість експорту зерна (1000 USD)/hum"]
]

# Перехід у широкі ряди: на кожну країну – траєкторія ознак за роками
df_wide = df_train.pivot(index="Країна", columns="Рік", values=features)
df_wide.columns = [f"{f}_{y}" for f, y in df_wide.columns]

# Масиви для FCM
X_imp = df_wide.to_numpy()
idx_kept = df_wide.index
cols_kept = df_wide.columns

# Yeo-Johnson перетворення + стандартизація
pt = PowerTransformer(method="yeo-johnson", standardize=True)
X_pt = pt.fit_transform(X_imp)

# Прибираємо константні ознаки
var = X_pt.var(axis=0)
X_base = X_pt[:, var > 1e-12]
cols_base = cols_kept[var > 1e-12]

# =====
# 7. Варіанти представлення ознак (BASE / ZCA / PRUNE)
# =====

```

```
def zca_whiten(X, eps=1e-8):
    """
    ZCA-whitening (наближення до простору з махаланобісовою геометрією).
    """
    mu = X.mean(axis=0, keepdims=True)
    Xc = X - mu
    cov = np.cov(Xc, rowvar=False)
    U, S, Vt = np.linalg.svd(cov, full_matrices=False)
    W = U @ np.diag(1.0 / np.sqrt(S + eps)) @ U.T
    Xw = Xc @ W
    return Xw
```

```
def drop_topk_variance(X, cols, k=10):
    """
    Видалити k ознак із найбільшою дисперсією (домінантні фактори) для
    побудови альтернативного представлення.
    """
    vari = X.var(axis=0)
    if k < X.shape[1]:
        keep_idx = np.argsort(vari)[-k]
    else:
        keep_idx = np.arange(X.shape[1])
    return X[:, keep_idx], cols[keep_idx]
```

```
# Базове представлення (A)
X_A, cols_A = X_base.copy(), cols_base.copy()
```

```
# ZCA-whitening (B)
X_B = zca_whiten(X_base)
cols_B = cols_base.copy()
```

```
# Обрізання домінантних ознак (C) для кількох значень k
```

```

PRUNE_K = [5, 10, 15]
pruned_list = [
    (f"PRUNE{k}", *drop_topk_variance(X_base, cols_base, k)) for k in PRUNE_K
]

```

```

# Всі кандидати представлень

```

```

candidates = [("BASE", X_A, cols_A), ("ZCA", X_B, cols_B)] + pruned_list

```

```

# Додаткове стандартизування для кожного кандидата

```

```

scaler = StandardScaler()

```

```

# =====

```

```

# 8. Налаштування та запуск FCM

```

```

# =====

```

```

C_GRID = [3, 4]      # кількість кластерів

```

```

M_GRID = [1.8, 2.0, 2.2] # параметр нечіткості m

```

```

SEEDS = range(15)     # різні ініціалізації

```

```

def run_fcm(X, c, m, seed):

```

```

    """

```

```

    Запуск нечіткого c-середніх (FCM) для заданих параметрів

```

```

    і обчислення показників якості кластеризації.

```

```

    """

```

```

    cntr, u, u0, d, jm, p, fpc = fuzz.cluster.cmeans(

```

```

        X.T,

```

```

        c=c,

```

```

        m=m,

```

```

        error=1e-5,

```

```

        maxiter=3000,

```

```

        init=None,

```

```

        seed=seed,

```

```

)
labels = u.argmax(axis=0)

if len(set(labels)) > 1:
    sil = silhouette_score(X, labels)
    ch = calinski_harabasz_score(X, labels)
    db = davies_bouldin_score(X, labels)
else:
    sil, ch, db = -1.0, 0.0, np.inf

return dict(
    cntr=cntr,
    u=u,
    labels=labels,
    fpc=fpc,
    sil=sil,
    ch=ch,
    db=db,
    c=c,
    m=m,
    seed=seed,
)

```

```

def score(r):
    """
    Підсумкова метрика для порівняння рішень FCM:
    комбінує FPC, коефіцієнт силуету, CH та DB.
    """
    return (
        0.45 * r["fpc"]
        + 0.35 * ((r["sil"] + 1) / 2)
        + 0.10 * np.tanh(r["ch"] / 500)
        - 0.20 * np.tanh(r["db"])
    )

```

)

```

best = None
best_repr = None
best_X = None
best_cols = None

# Перебір усіх комбінацій параметрів для різних представлень ознак
for name, Xcand, colsc in candidates:
    Xs = scaler.fit_transform(Xcand)
    for c in C_GRID:
        for m in M_GRID:
            for sd in SEEDS:
                r = run_fcm(Xs, c, m, sd)
                s = score(r)
                if (best is None) or (s > best["score"]):
                    r["score"] = s
                    best = r
                    best_repr = name
                    best_X = Xs
                    best_cols = colsc

print(
    f"[BEST] repr={best_repr}, c={best['c']}, m={best['m']}, seed={best['seed']}"
)
print(
    f"FPC={best['fpc']:.3f}, silhouette={best['sil']:.3f}, "
    f"CH={best['ch']:.1f}, DB={best['db']:.3f}"
)

# =====
# 9. Отримання кластерів та ваг нечіткого членства
# =====

```

```

u = best["u"]
labels = best["labels"]
n_clusters = best["c"]

df_clusters = pd.DataFrame(index=idx_kept)
df_clusters["hard_cluster"] = labels

print("\nКількість країн у кластерах:")
print(df_clusters["hard_cluster"].value_counts().sort_index())

for cid, idxs in df_clusters.groupby("hard_cluster").groups.items():
    countries = list(idxs)
    print(f"\nCluster {cid} ({len(countries)}):")
    print(", ".join(countries))

# Матриця ступенів належності до кластерів
U = pd.DataFrame(
    u.T,
    index=idx_kept,
    columns=[f"cluster_{i}" for i in range(n_clusters)],
)

# Приклад: перегляд ступенів належності України (якщо країна присутня)
if "Ukraine" in U.index:
    print("\nСтупені належності Ukraine:")
    print(U.loc["Ukraine"].sort_values(ascending=False))

# =====
# 10. Параметри для побудови прогнозової моделі
# =====

TARGET = "Вартість експорту зерна (1000 USD)/hum"

```

```

YEAR_SPLIT = 2019 # train: < 2019, validation: 2019–2021
RANDOM_STATE = 42
RF_PARAMS = dict(
    n_estimators=400,
    max_depth=None,
    random_state=RANDOM_STATE,
    n_jobs=-1,
)

# =====
# 11. Допоміжні функції для моделювання
# =====

def get_feature_cols(df):
    """
    Повертає список ознак (без ідентифікаторів країни, року та цільової змінної).
    """
    return [c for c in df.columns if c not in ["Країна", "Рік", TARGET]]

def pick_best_model(X_tr, y_tr, X_val, y_val):
    """
    Порівнює дві моделі:
    - LinearRegression (із StandardScaler);
    - RandomForestRegressor.

    Повертає:
    - best_estimator: найкраща модель за R2;
    - metrics_dict: словник метрик для обох моделей.
    """
    models = {
        "LR": Pipeline(
            [

```

```

        ("scaler", StandardScaler(with_mean=True, with_std=True)),
        ("lr", LinearRegression()),
    ]
),
"RF": RandomForestRegressor(**RF_PARAMS),
}

```

```
results = {}
```

```
best_name, best_est, best_score = None, None, -np.inf
```

```
for name, est in models.items():
```

```
    est.fit(X_tr, y_tr)
```

```
    pred = est.predict(X_val)
```

```
    r2 = r2_score(y_val, pred)
```

```
    rmse = np.sqrt(mean_squared_error(y_val, pred))
```

```
    results[name] = {"R2": r2, "RMSE": rmse}
```

```
    if r2 > best_score:
```

```
        best_score = r2
```

```
        best_name, best_est = name, est
```

```
return best_est, results
```

```
def build_cluster_models(df_filtered, df_clusters):
```

```
    """
```

Тренує окрему регресійну модель на кожен жорсткий кластер

з часовим розбиттям:

```
    train: Pik < YEAR_SPLIT,
```

```
    valid: YEAR_SPLIT-2021.
```

Повертає:

```
    dict {cluster_id: {'model': est, 'metrics': {...}, 'features': feature_cols}}.
```

```
    """
```

```
out = {}
```

```

feat_cols = get_feature_cols(df_filtered)

for cid in sorted(df_clusters["hard_cluster"].unique()):
    # Вибірка країн відповідного кластера
    countries_c = df_clusters.index[df_clusters["hard_cluster"] == cid]
    d = df_filtered[df_filtered["Країна"].isin(countries_c)].copy()

    # Перевірка на достатній розмір вибірки
    if d.shape[0] < 30:
        continue

    # Часове розбиття
    d_tr = d[d["Рік"] < YEAR_SPLIT]
    d_val = d[(d["Рік"] >= YEAR_SPLIT) & (d["Рік"] <= 2021)]

    if d_tr.empty or d_val.empty:
        continue

    X_tr, y_tr = d_tr[feat_cols].values, d_tr[TARGET].values
    X_val, y_val = d_val[feat_cols].values, d_val[TARGET].values

    best_est, metrics = pick_best_model(X_tr, y_tr, X_val, y_val)

    # До-навчання найкращої моделі на всіх даних до 2021 року включно
    d_full = d[d["Рік"] <= 2021]
    best_est.fit(d_full[feat_cols].values, d_full[TARGET].values)

    out[cid] = {"model": best_est, "metrics": metrics, "features": feat_cols}

return out

def make_future_features(
    df_filtered,

```

```

country,
years,
strategy,
df_clusters=None,
cid_for_trend=None,
):
    """

```

Формує майбутні значення X для заданої країни та набору років.

Параметр `strategy`:

- 'hold_2021': фіксує всі ознаки на рівні 2021 року;
- 'cluster_trend': екстраполює ознаки із використанням медіанних річних темпів росту кластеру `cid_for_trend`.

Повертає:

DataFrame з рядком на кожен майбутній рік.

```

    """

    feat_cols = get_feature_cols(df_filtered)
    base = df_filtered[
        (df_filtered["Країна"] == country) & (df_filtered["Рік"] == 2021)
    ].copy()

    if base.empty:
        raise ValueError(f"Немає базових значень 2021 для {country}.")

    base = base.iloc[0][feat_cols].copy()

    # Стратегія 1: фіксація на рівні 2021 року
    if strategy == "hold_2021":
        rows = []
        for y in years:
            row = base.copy()
            row["Країна"] = country
            row["Рік"] = y

```

```

        rows.append(row)
    return pd.DataFrame(rows)[feat_cols + ["Країна", "Рік"]]

# Стратегія 2: кластерний тренд
elif strategy == "cluster_trend":
    if cid_for_trend is None:
        raise ValueError(
            "Для 'cluster_trend' потрібно передати cid_for_trend."
        )

    # Розрахунок медіанних YoY темпів по кластеру для кожної ознаки
    countries_c = df_clusters.index[df_clusters["hard_cluster"] == cid_for_trend]
    d = df_filtered[df_filtered["Країна"].isin(countries_c)].copy()

    yoy = []
    for c in countries_c:
        dc = d[d["Країна"] == c].sort_values("Рік")
        if len(dc["Рік"].unique()) < 3:
            continue
        g = dc.set_index("Рік")[feat_cols].pct_change()
        yoy.append(g)

    # Якщо мало траєкторій – fallback до 'hold_2021'
    if len(yoy) == 0:
        rows = []
        for y in years:
            row = base.copy()
            row["Країна"] = country
            row["Рік"] = y
            rows.append(row)
        return pd.DataFrame(rows)[feat_cols + ["Країна", "Рік"]]

    yoy_med = pd.concat(yoy).median(skipna=True)
    yoy_med = yoy_med.fillna(0.0)

```

```

# Екстраполяція:  $x_{t+1} = x_t * (1 + yoy)$ 
rows = []
prev = base.copy()
for y in years:
    growth = (1 + yoy_med).replace(
        [np.inf, -np.inf],
        1.0,
    ).clip(lower=0.0, upper=None)
    next_vals = prev * growth
    row = next_vals.copy()
    row["Країна"] = country
    row["Рік"] = y
    rows.append(row)
    prev = next_vals

return pd.DataFrame(rows)[feat_cols + ["Країна", "Рік"]]

else:
    raise ValueError("strategy має бути 'hold_2021' або 'cluster_trend'.")

def fuzzy_weighted_forecast(models_by_cluster, U, country, X_future):
    """
    Формує нечітко-зважений прогноз цільової змінної для заданої країни.

    Кроки:
    1) Для кожної кластерної моделі обчислюємо прогноз.
    2) Зважуємо прогнози за ступенями нечіткого членства країни в кластерах.
    """
    feat_cols = [c for c in X_future.columns if c not in ["Країна", "Рік"]]

    # Ваги членства країни (нормовані)
    w = U.loc[country].copy()

```

```

w = w / w.sum()

years = X_future["Рік"].values
comp = {} # прогноз для кожного кластера

for cid, bundle in models_by_cluster.items():
    model = bundle["model"]
    preds = model.predict(X_future[feat_cols].values)
    comp[cid] = preds

# Рядки – роки, колонки – кластери
comp_df = pd.DataFrame(comp, index=years)

# Обмежуємось спільними кластерами (на випадок відсутності моделі в окремих
кластерах)
common = [cid for cid in comp_df.columns if f"cluster_{cid}" in w.index]
w_vec = w[[f"cluster_{cid}" for cid in common]].values
comp_mat = comp_df[common].values

# Нечітко-зважений прогноз
weighted = comp_mat @ w_vec
forecast = pd.Series(weighted, index=years, name="forecast")

return forecast, comp_df

# =====
# 12. Побудова моделей за кластерами
# =====

# Якщо df_clusters ще не DataFrame або відсутній стовпець 'hard_cluster',
# формуємо його з матриці U
if not isinstance(df_clusters, pd.DataFrame) or "hard_cluster" not in df_clusters.columns:
    hard_labels = U.values.argmax(axis=1)

```

```

df_clusters = pd.DataFrame({"hard_cluster": hard_labels}, index=U.index)

# Тренування кластерних моделей
models_by_cluster = build_cluster_models(df_filtered, df_clusters)

print("\n=== Метрики по кластерах (валідація 2019–2021) ===")
for cid, bundle in models_by_cluster.items():
    m = bundle["metrics"]
    print(
        f"Кластер {cid}: "
        f"LR R2={m['LR']['R2']:.3f} RMSE={m['LR']['RMSE']:.2f} | "
        f"RF R2={m['RF']['R2']:.3f} RMSE={m['RF']['RMSE']:.2f}"
    )

# =====
# 13. Формування майбутніх ознак для України
# =====

years_to_forecast = [2022, 2023]
country = "Ukraine"

# Вибір кластера для тренду (той, де ступінь належності найбільший)
cid_top = int(U.loc[country].values.argmax())

# Стратегія 1: "hold_2021" – стабільний базовий сценарій
X_future_hold = make_future_features(
    df_filtered,
    country,
    years_to_forecast,
    strategy="hold_2021",
)

# Стратегія 2: "cluster_trend" – екстраполяція медіанними темпами кластера

```

```

X_future_trend = make_future_features(
    df_filtered,
    country,
    years_to_forecast,
    strategy="cluster_trend",
    df_clusters=df_clusters,
    cid_for_trend=cid_top,
)

# =====
# 14. Нечітко-зважені прогнози для України
# =====

# Прогноз на основі фіксованих значень 2021 року
forecast_hold, comp_hold = fuzzy_weighted_forecast(
    models_by_cluster,
    U,
    country,
    X_future_hold,
)

# Прогноз на основі кластерного тренду
forecast_trend, comp_trend = fuzzy_weighted_forecast(
    models_by_cluster,
    U,
    country,
    X_future_trend,
)

print("\n==== Прогноз України (зважений FCM) — стратегія HOLD_2021 ===")
print(forecast_hold)

print("\nКомпонентні прогнози (по кластерах) — HOLD_2021:")

```

```
print(comp_hold)
```

```
print("\n=== Прогноз України (зважений FCM) — стратегія CLUSTER_TREND ===")  
print(forecast_trend)
```

```
print("\nКомпонентні прогнози (по кластерах) — CLUSTER_TREND:")  
print(comp_trend)
```