

УДК 339.5:330.46

DOI: <https://doi.org/10.31651/2076-5843-2020-4-15-25>

**КІБАЛЬНИК Любов Олександрівна**

доктор економічних наук, професор,  
Черкаський національний університет  
імені Богдана Хмельницького,  
м. Черкаси, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7659-5627>  
[liubovkibalnyk@gmail.com](mailto:liubovkibalnyk@gmail.com)

**ШМАТКО Анастасія Юрївна**

студентка ОС Магістр,  
Черкаський національний університет  
імені Богдана Хмельницького,  
м. Черкаси, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1299-9651>  
[nastysha9802@gmail.com](mailto:nastysha9802@gmail.com)

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МІНІМАЛЬНИХ ОСТІВНИХ ДЕРЕВ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТРУКТУРИ СВІТОВОГО РИНКУ ТОВАРІВ І ПОСЛУГ

*У статті обґрунтовано доцільність застосування методу остівних дерев до аналізу структури світового ринку товарів і послуг, а також виявлення подальших тенденцій його розвитку за допомогою якісного аналізу дендрограм. Проаналізовано дендрограми експорту та імпорту товарів і послуг за період з 2017 по 2 квартал 2020 років. Виявлено тенденцію до утворення «замкнених» регіональних ринків внаслідок пандемії та кластеризацію країн у межах світового ринку товарів і послуг переважно за рівнем розвитку економіки.*

**Ключові слова:** *світовий ринок, експорт товарів і послуг, імпорт товарів і послуг, мінімальні остівні дерева, кластерний аналіз, ієрархічні дерева, дендрограма, кластер, граф, метрика.*

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі світовий ринок товарів і послуг відіграє важливу роль в господарському розвитку країн, регіонів, усього світового співтовариства, адже міжнародна торгівля стала потужним чинником економічного зростання країн світу. Крім того, залежність країн від міжнародного товарообміну значно підвищилася. Тому виникає необхідність дослідження сучасного стану міжнародної торгівлі товарами і послугами, структури обміну ними та прогнозування подальшої динаміки з метою розробки торговельної політики країн. Більш точно та якісно це можна зробити за допомогою методів економіко-математичного моделювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням аналізу структури експорту та імпорту товарів і послуг присвячені праці таких зарубіжних вчених як К. Біондо [12], Г. Волленхаупт [11], Д. Кук [13], а також вітчизняних науковців, зокрема Ю. Тадеєва [16], В. Козики [17], І. Гужви [18] та інших. У своїх дослідженнях вони використовували методи економіко-математичного моделювання для аналізу міжнародних потоків товарів і послуг та розвитку зовнішньої торгівлі інноваційними товарами за допомогою моделей попиту і пропозиції.

Питаннями застосування мінімальних остівних дерев займалися зарубіжні вчені П. Бісвас, М. Гойал, Х. Негі, М. Дутта [15], Д. Саркер, А. Хан [14] та інші. Водночас метод мінімальних остівних дерев до аналізу та прогнозування структури світового ринку товарів і послуг не застосовувався.

**Метою статті** є аналіз структури світового ринку товарів і послуг та виявлення майбутніх тенденцій його розвитку за допомогою методу мінімальних остівних дерев.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Із розвитком міжнародного поділу праці і його міжнародної кооперації були закладені основи для виникнення світового ринку, який розвивався на основі внутрішніх ринків, що поступово виходили за національні межі. На сьогоднішній день світовий ринок товарів і послуг є невід'ємною частиною зовнішньоекономічних зв'язків між країнами.

Світовий ринок – це сукупність національних ринків, пов'язаних між собою стійкими товарно-грошовими відносинами. Він виконує певні функції (регулююча, стимулююча, інформаційна, сануюча, інтеграційна та соціальна) [10, с.162] для контролю торговими операціями між його суб'єктами. Головною зовнішньою ознакою світового ринку є міжнародна торгівля, яка відкриває безліч переваг, що стимулюють економічне зростання країн. Завдяки торгівлі країни отримують можливість спеціалізуватися у кількох провідних сферах економіки, імпортуючи ту продукцію, якої вони самі не виробляють.

Структура світового ринку дуже різноманітна і класифікується за різними ознаками, а саме: за масштабом операцій учасників ринку, за об'єктами торгівельних угод, за рівнем стандартизації продукту, за галузевою приналежністю, за типом покупця, за наявністю і величиною бар'єрів входу [8], за товарно-галузевою та соціально-економічною структурою, за типами ринкових структур та за характером торговельних угод і взаємин продавців із покупцями [9].

Для опису економічних об'єктів переважно використовуються такі типові структури систем: лінійна, кільцева, стільникова, багатозв'язна, зірчаста, графова, мережева, ієрархічна. Якщо досліджувати структуру взаємозв'язків між компонентами складної системи, то одним з найбільш доцільних способів є подання такої структури за допомогою графу, тобто, множини елементів, з'єднаних між собою [1, с. 12]. З одного боку, графи досить просто інтерпретувати на основі візуального їх подання, з іншого – робота з графами є алгоритмічно чітко визначеною, що означає можливість покрокової реалізації відповідних алгоритмів [2, с. 624].

Часто в дослідженнях економічних систем виникає необхідність проаналізувати структуру елементів системи, утворену шляхом її декомпозиції на підсистеми. Наприклад, світовий ринок, що є економічною системою, складається з підсистем – регіональних ринків, кожна з яких складається з субрегіональних ринків і т.д. Така структура має властивості ієрархічної, для її представлення використовується спеціальний вид графів – дерева. Це графи, що не мають циклів, тобто, замкнених маршрутів, коли, почавши з одного елементу, можна, рухаючись за існуючими зв'язками, повернутись у цей же елемент, не проходячи, при цьому, двічі один і той же зв'язок [1, с. 16].

Оскільки для будь-якої множини елементів часто можна побудувати велику кількість різних дерев, у аналізі систем переважно використовують мінімальні остівні дерева, в яких кожний зв'язок між елементами вибирається за певним критерієм, що лежить у основі методу структуризації системи. Зважаючи на критерій відбору зв'язків між елементами системи, можна отримати різні за своїм змістом інтерпретації структури досліджуваної системи.

Одним із різновидів процедур визначення структури елементів складної системи із застосуванням деякого критерію відбору є кластеризація. Класифікація об'єктів за осмисленими групами є важливою процедурою у сфері наукових досліджень. Кластерний аналіз – це загальна назва великої кількості обчислювальних процедур, що використовуються при проведенні класифікації. У результаті роботи з процедурами утворюються так звані кластери, або ж групи подібних об'єктів. Більш формально кластерний метод можна охарактеризувати як багатовимірну статистичну процедуру, у якій виконується збирання даних, що містять певну інформацію про вибірку об'єктів, після чого здійснюється впорядкування об'єктів у порівняно однорідні групи.

У своїй статті [3] В. Плеру зі співавторами проаналізували множину взаємних кореляцій (крос-кореляцій) між досліджуваними цінними паперами, організованих у вигляді матриці крос-кореляцій, за допомогою методів теорії випадкових матриць [4]. Результати досліджень засвідчили наявність у подібній матриці інформації про економічну систему, елементами якої є досліджувані об'єкти.

За основу для оцінки відстані між елементами системи Р. Мантеня використав коефіцієнти крос-кореляції, розраховані за формулою [5]:

$$c_{ij} = \frac{\langle Y_i Y_j \rangle - \langle Y_i \rangle \langle Y_j \rangle}{\sqrt{(\langle Y_i^2 \rangle - \langle Y_i \rangle^2)(\langle Y_j^2 \rangle - \langle Y_j \rangle^2)}}, \quad (1)$$

де дужки  $\langle \rangle$  означають середнє значення для заданого часового ряду:  $\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ .

У якості значень  $Y_k$  Р. Мантеня використовував прибутковості, розраховані для початкових значень ціни  $P_k$  за формулою [5]:

$$Y_k = \ln(P_k(t)) - \ln(P_k(t-1)), \quad (2)$$

де  $P_k(t)$  – вартість цінного паперу  $k$  у день  $t$ .

Варто зазначити, що у випадку, коли значення досліджуваного показника можуть бути також і рівними нулю чи від'ємними, формулу (2) можна замінити наступною формулою, що дає близькі значення:

$$Y_k = \frac{P_k(t) - P_k(t-1)}{P_k(t-1)}. \quad (3)$$

Для можливості застосування певного принципу подібності до порівняння елементів системи необхідно, щоб використовувана міра подібності була метрикою, тобто, задовольняла наступним критеріям [6]:

1) *Симетрія*. Для двох даних об'єктів  $x$  та  $y$  відстань між ними повинна задовольняти умові:

$$d(x, y) = d(y, x) \geq 0.$$

2) *Нерівність трикутника (метрична нерівність)*. Для трьох даних об'єктів  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , відстань між ними задовольняє умові:

$$d(x, y) \leq d(x, z) + d(y, z).$$

3) *Нетотожні об'єкти відрізняються*. Для двох об'єктів  $x$ ,  $y$ :

$$\text{якщо } d(x, y) \neq 0, \text{ то } x \neq y.$$

4) *Ідентичні об'єкти не відрізняються*. Для двох ідентичних об'єктів  $x$  та  $x'$ :

$$d(x, x') = 0.$$

У своїй статті [5] у якості метрики Р. Мантеня взяв відстань між коефіцієнтами кореляції [5]:

$$d(i, j) = \sqrt{2(1 - c_{ij})}. \quad (4)$$

Зважаючи на те, що значення будь-якого коефіцієнта кореляції  $-1 \leq c_{ij} \leq 1$ , отримаємо, що  $0 \leq d(i, j) \leq 2$ , причому, чим більш подібні об'єкти, тобто, чим більше коефіцієнт кореляції наближається до 1, тим менша між об'єктами відстань, тобто, значення  $d(i, j)$  наближається до 0.

Відстань, розрахована за формулою (4), задовольняє критеріям, поданим вище, а тому може бути використана у якості міри подібності.

Метод Уорда працює таким чином, щоб оптимізувати мінімальну дисперсію усередині кластерів. Отримувана цільова функція відома як внутрігрупова сума квадратів, або ж сума квадратів відхилень (СКВ) [6, с. 174]:

$$СКВ = x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum x_i \right)^2 \quad (5)$$

де  $x_i$  – значення ознаки  $i$ -го об'єкта. На першому кроці, коли кожний кластер утворений лише з одного об'єкта, СКВ рівна 0. Згідно з методом Уорда у групи об'єднуються ті об'єкти, для яких СКВ отримує мінімальний приріст.

Враховуючи вищезазначене, можна побудувати наступний алгоритм для знаходження ієрархічного дерева.

Вхід: множина часових рядів  $\{P\}$ .

Вихід: структура даних, що дозволяє візуалізувати ієрархічне дерево.

(1) для кожного часового ряду розрахувати ряд прибутковостей за формулою (2) або (3), отримавши в результаті множину  $\{Y\}$ ;

(2) для кожної пари часових рядів прибутковостей  $Y_i, Y_j$  розрахувати коефіцієнт крос-кореляцій  $c_{ij}$  за формулою (1), отримавши, у результаті, матрицю крос-кореляцій  $C$ ;

(3) на основі матриці крос-кореляцій розрахувати матрицю відстаней  $D$  з використанням формули (4);

(4) вважати, що кожний об'єкт належить до окремого кластеру, поставивши у відповідність об'єктам номери кластерів;

(5) знайти серед усіх відстаней найменшу і об'єднати відповідні об'єкти у один кластер;

(7) перебирати комбінації кластерів, шукаючи, які два кластери можна об'єднати з мінімальним зростанням дисперсії, до тих пір, поки не залишиться один кластер.

Реалізація алгоритму дозволяє знаходити (чи створювати) кластери приблизно однакових розмірів, що мають гіперсферичну форму (тобто, об'єкти знаходяться приблизно на однаковій відстані від центру кластера).

Для прогнозування структури світового ринку за допомогою методу Уорда необхідно здійснити якісний аналіз отриманих дендрограм на основі власне розробленої методики:

1) розподіл об'єктів по кластерам буде залежати від значення на осі абсцис;

2) кількість економічних об'єктів, що попадають у той чи інший кластер;

3) належність об'єктів до того чи іншого ринку.

Усі вищезазначені показники дозволять провести якісну оцінку структури ринку за певний період.

Прогнозування ж полягатиме у подальшому порівняльному аналізі якісних оцінок дендрограм, здійсненому за увесь досліджуваний часовий період. У такому випадку можна виявити, наприклад:

– збереження чи зміну загальних властивостей дендрограм;

– стійкі зв'язки економічних об'єктів по кластерах;

– взаємне розташування економічних об'єктів та їх вплив на структуру ринку.

Таким чином, можна сформулювати алгоритм якісного аналізу та прогнозування структури економічної системи:

Вхід: дендрограма;

Значення абсциси  $x$  для визначення кластерів;

Список стеження, у який входять об'єкти для відстеження їх належності кластерам.

Вихід: структура даних, у якій відображуються числові характеристики дендрограми.

(1) для кожного часового періоду:

(1.1) виділити кластери на основі значення  $x$ ;

(1.2) оцінити кількість економічних об'єктів, що попали у кожний з кластерів;

(1.3) визначити домінуючий клас об'єктів;

(1.4) визначити наявність у кластері об'єктів зі списку стеження;

(2) здійснити порівняльний аналіз отриманих показників для усіх часових періодів та виокремити сталі, які покласти в основу прогнозу.

Для аналізу були обрані дані, представлені на сайті Міжнародного Торгового Центру [7]. Дослідження здійснювалось за показниками обсягів експорту та імпорту товарів і за показниками експорту та імпорту послуг.

Із метою оцінки загального стану світового ринку як сукупності регіональних ринків, що визначаються географічним положенням країн, світовий ринок було розділено на 6 регіональних: європейський, північноамериканський, південноамериканський, африканський,

азійський та Австралія й країни Океанії. Список країн, що ввійшли до кожного з регіональних ринків, подано у табл. 1.

Таблиця 1

### Країни, які ввійшли до аналізованих регіональних ринків

Регіон	Країни
Європа	Німеччина, Франція, Великобританія, Італія, Іспанія, Туреччина
Північна Америка	США, Канада
Південна та Центральна Америка	Мексика, Бразилія, Аргентина, Чилі, Колумбія, Перу, Уругвай, Нікарагуа
Азія	Китай, Японія, Сінгапур, Корея, Таїланд, Індія, Індонезія, Ізраїль
Африка	Південна Африка, Ефіопія, Марокко, Уганда, Замбія, Намібія, Саудівська Аравія
Австралія та країни Океанії	Австралія, Нова Зеландія

Джерело: розроблено авторами.

Всього для аналізу використано дані 33 країн. Країни кожного з обраних регіонів відображаються на дендрограмах певним кольором (рис. 1).

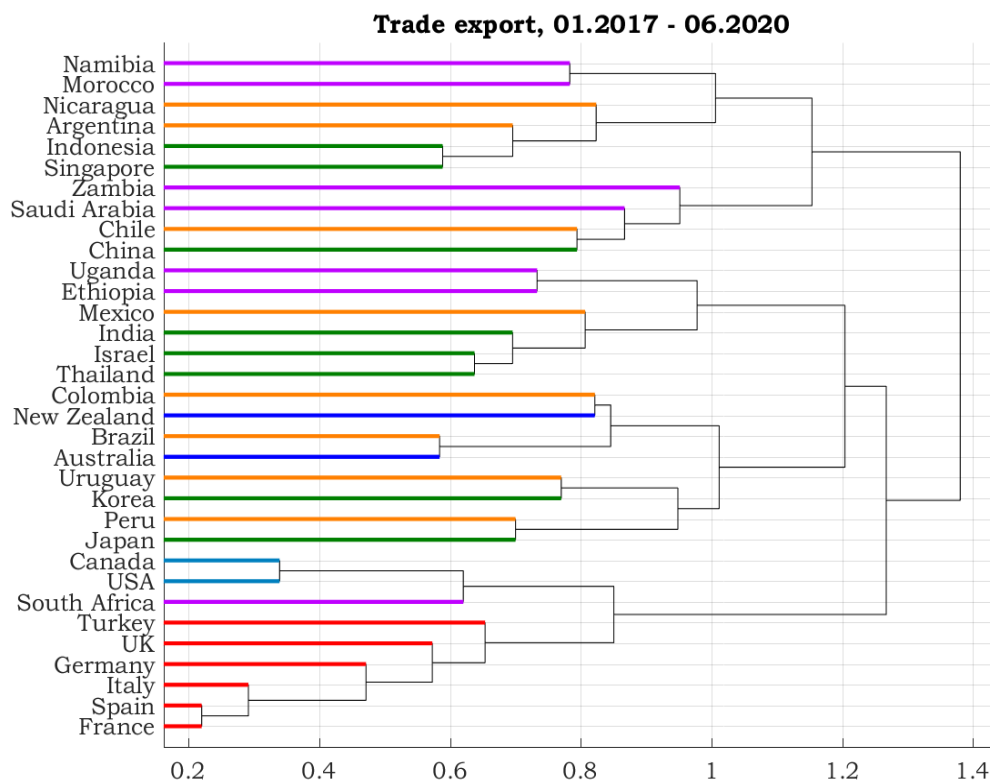


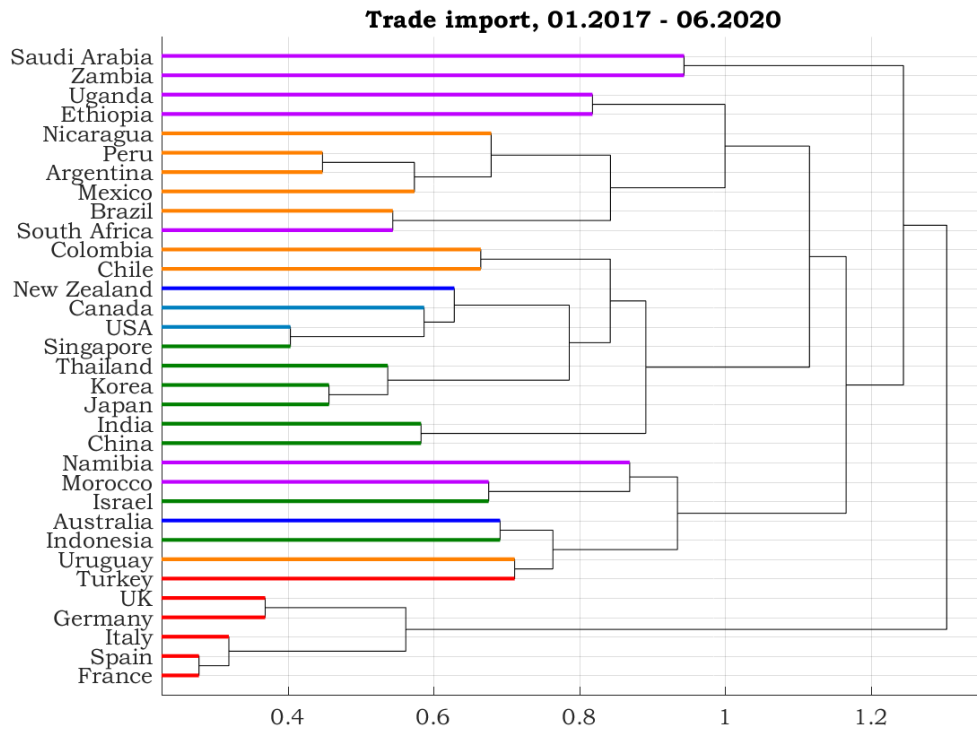
Рис. 1. Структура експорту товарів на світовому ринку за період з січня 2017 р. по червень 2020 р.

Джерело: розроблено авторами за [7]

На дендрограмі, яка відображає структуру світового ринку експорту товарів за найближчий період – з січня 2017 р. по червень 2020 р. – чітко простежується вплив пандемії, що зараз відбувається у світі: країни регіональних ринків переважно утворили свої окремі кластери. Так, наприклад, усі країни європейського регіону ввійшли до першого кластеру, так само, як і країни північноамериканського регіону. У другому кластері більшість країн належить до південноамериканського ринку; туди ж входять і країни Океанії. У третьому кластері більшість країн представляє азійський ринок, а у четвертому – африканський. Водночас ті

країни, що не належать до певного регіонального ринку, все одно входять до того кластеру, до країн якого вони розташовані близько географічно.

У структурі імпорту товарів, зображеній на рисунку 2, також спостерігається тенденція до утворення «замкнених» ринків. Так, чітко прослідковується великий європейський кластер (Франція-Іспанія-Італія-Німеччина-Велика Британія), малі азійські кластери (Китай-Індія, Японія-Корея-Таїланд), південноамериканські (Чилі-Колумбія, Мексика-Аргентина-Перу-Нікарагуа) та африканські (Ефіопія-Уганда, Замбія-Саудівська Аравія). Водночас існують об'єднання країн різних регіональних ринків (Індонезія-Австралія), які територіально близько розташовані один до одного.



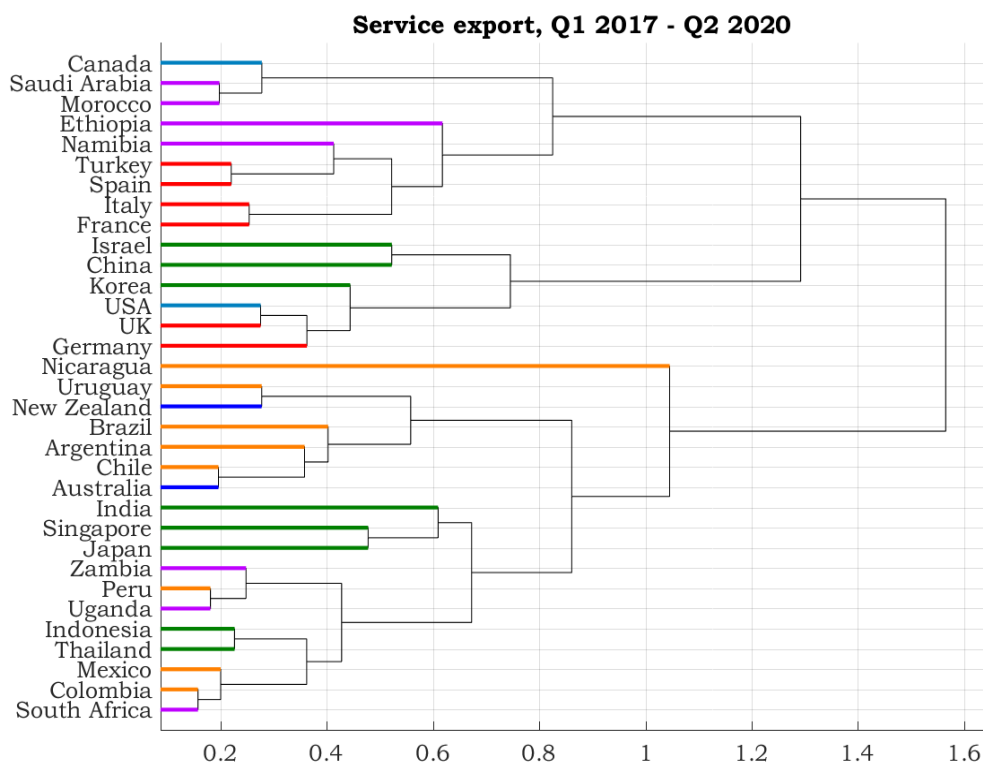
**Рис. 2. Структура імпорту товарів на світовому ринку за період з січня 2017 р. по червень 2020 р.**

*Джерело: розроблено авторами за [7]*

Дані рисунку 3 свідчать про неоднорідну структуру експорту послуг за обраний період, можна виокремити великий кластер з 11 країн (5 країн азійського регіону, 3 – Центральної Америки, 3 – африканського регіону), південноамериканський кластер (5 країн Південної та Центральної Америки, Австралія та Нова Зеландія), азійський кластер (3 країни азійського регіону, 2 – європейського та США).

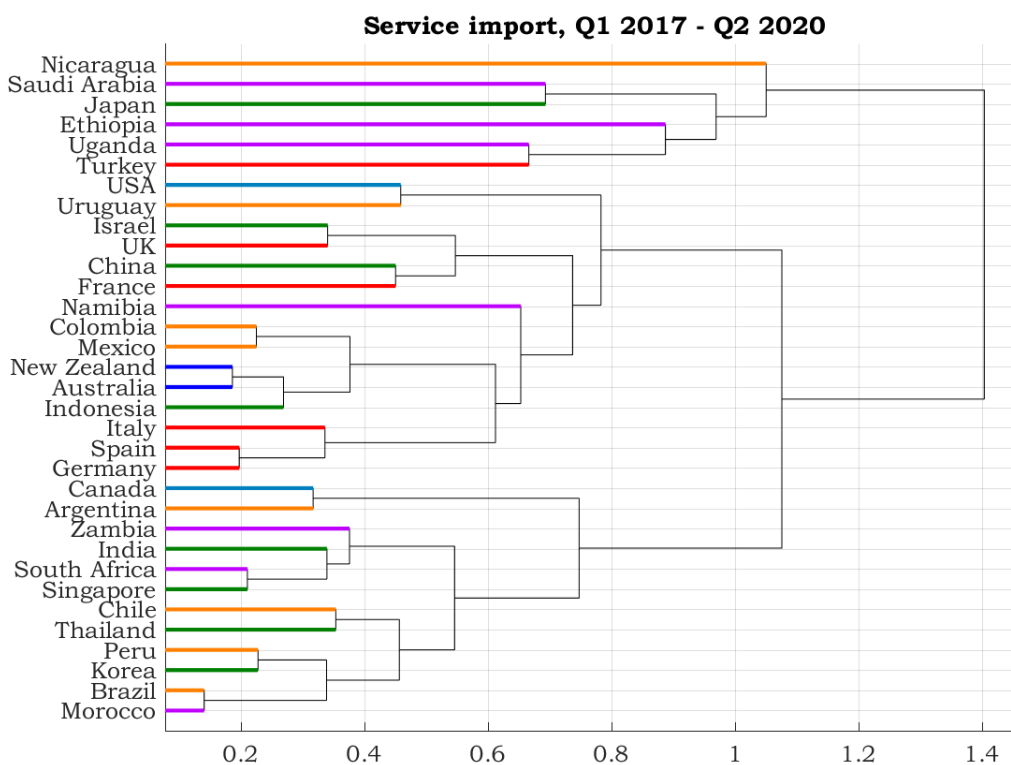
У структурі імпорту послуг за цей період також спостерігається характерне однорідності розподілу країн у кластери. Серед найбільших кластерів буде доречним виділити азійський кластер (4 країни азійського регіону, 3 – африканського, 3 – південноамериканського), європейський (3 країни європейського регіону, країни Океанії, 2 – південноамериканського, Індонезія та Намібія).

Якісну структуру світового ринку було досліджено за період з 2007 по другий квартал 2020 року для поділу на кластери на відстані 1.0. Це відстань, на якій виявляється достатня кількість кластерів, а з іншого боку, ця кількість не надто велика, тобто, не наближається до кількості країн.



**Рис. 3. Структура експорту послуг на світовому ринку у період з першого кварталу 2017 р. по другий квартал 2020 р.**

*Джерело: розроблено авторами за [7]*



**Рис. 4. Структура імпорту послуг на світовому ринку за період з першого кварталу 2017 р. по другий квартал 2020 р.**

*Джерело: розроблено автором за [7]*

Для експорту товарів виявлено такі властивості кластеризації.

1. У більшість часових періодів найпотужніший кластер створюють США та Канада, навколо яких групуються країни переважно Азійського ринку, стратегія для експорту товарів яких схожа на стратегію США та Канади.

2. У кожний з часових періодів існує Європейський кластер, який іноді складається лише з країн Європейського регіонального ринку. Лише на період світової боротьби з пандемією до Європейського кластеру ввійшли також США і Канада.

3. Китай у більшості часових періодів демонструє свою власну стратегію стосовно експорту товарів на світовому ринку.

Для імпорту товарів:

1. У більшості часових періодів найпотужніший кластер створюють США, Канада та Японія, навколо яких групуються країни переважно Південноамериканського ринку, стратегія для імпорту товарів яких схожа на стратегію США та Канади.

2. У кожний з часових періодів існує Європейський кластер, який переважно складається лише з країн Європейського регіонального ринку.

3. У більшості часових періодів інші кластери, окрім Європейського та Південноамериканського, містять країни з різних регіональних ринків, що свідчить про застосовні стратегії імпорту товарів країн, які не обумовлюються географічним розташуванням.

Для експорту послуг:

1. Розподіл країн на кластери є більш рівномірним порівняно з експортом/імпортом товарів. У більшості часових періодів відсутнє чітке розбиття на кластери країн за їх регіональним поділом.

2. У більшості випадків спостерігається входження до одного кластеру США, Великобританії, Китаю та Німеччини, що можна пояснити експортом послуг цими країнами у сфері ІТ-технологій.

3. Європейський кластер наявний у кожному часовому періоді, однак, є менш потужним порівняно з експортом/імпортом товарів, а також до нього переважно входять Франція, Італія з Європейського ринку та Канада.

Для імпорту послуг:

1. Майже у всі часові періоди найпотужніший кластер створюють країни Європи, США та іноді – Китай, що можна пояснити потребою саме цих країн – з найрозвиненішими економіками – у імпорті послуг, котрі, як і експорт послуг, пов'язані, у першу чергу, з ІТ-галуззю.

2. У кожний з часових періодів інші кластери є набагато меншими, містять, у середньому, від 1 до 4 країн.

3. Китай у більшості часових періодів демонструє свою власну стратегію стосовно імпорту послуг на світовому ринку, утворюючи свій власний кластер з кількома країнами, переважно – з Азійського ринку.

Очевидно, що зроблені висновки стосовно властивостей кластерів, які ґрунтуються на економічних ефектах світового ринку, будуть актуальними й у найближчий період часу, так як фактори, що їх викликають, також збережуться. Отже, щодо перспектив, які можна очікувати у найближчі кілька років варто зазначити наступне:

1. Для експорту товарів на період світової боротьби з пандемією до Європейського кластеру ввійшли також США і Канада. Такий ефект буде спостерігатись протягом найближчого часу до появи достатньої кількості вакцин з високим відсотком ефективності, після чого світовий ринок повернеться до попереднього стану з окремими кластерами для США та Канади, і країн Європи. Китай, постійно нарощуючи свої економічні потужності, і надалі демонструватиме власну стратегію експортної політики на світовому ринку.

2. Для імпорту товарів буде зберігатись тенденція з формуванням найпотужнішого кластеру з США, Канади та Японії, навколо яких групуються країни Південно американського ринку а також Європейського кластеру, який формують переважно країни Європейського регіонального ринку.



3. Для експорту послуг спостерігається наявність великої кількості однакових кластерів, причому, відсутнє чітке розбиття на кластери країн за їх регіональним поділом. До одного кластеру входять США, Великобританія, Китай, Німеччина, як країни з великим обсягом експорту IT-послуг. Загалом, розбиття світового ринку експорту послуг на кластери обумовлене не регіональним положенням країн, а рівнем їх економіки, який впливає на якість та кількість послуг, що може надати країна. У подальшому спостерігатиметься поділ ринку на порівняно велику кількість невеликих кластерів, усередині яких країни будуть об'єднуватись за рівнем розвитку економіки.

4. На ринку імпорту послуг найпотужніший кластер утворюють країни Європи, США та іноді – Китай як найбільші споживачі послуг, пов'язаних з IT-галуззю. Інші країни світу формують дрібніші кластери, що містять, у середньому, від 1 до 4 країн. Китай демонструє свою стратегію стосовно імпорту послуг, утворюючи власний кластер з кількома країнами з Азійського ринку. По завершенню пандемії, ця тенденція збережеться, що призведе до появи кластеру з найпотужнішими споживачами IT-послуг та великої кількості малих кластерів.

**Висновки.** Отже, обґрунтувавши доцільність застосування методу кластеризації та мінімальних остівних дерев для дослідження структури світового ринку товарів і послуг, було здійснено її аналізу період з 2017 по 2 квартал 2020 р. та виявлено перспективи майбутніх змін у цій сфері. Серед основних результатів варто виокремити такі: визначено тенденцію до утворення «закритих» ринків для процесів обміну товарами внаслідок пандемії; з'ясовано, що у випадку з експортом та імпортом послуг критерієм об'єднання країн в кластери є рівень розвитку їх економіки.

Розробивши прогнозні оцінки за допомогою якісного аналізу дендрограм на основі виділених нами характеристик, маємо таку структуру на найближчий часовий період: для експорту та імпорту товарів США, Канада, країни європейського регіону будуть зберігати провідні позиції в утворених навколо них кластерах; для експорту послуг в одному кластері залишаться США, Великобританія, Китай та Німеччина, інші країни будуть об'єднуватись в групи за рівнем розвитку економіки; найбільшими споживачами послуг залишаться країни Європи, США та Китай, більшість країн будуть утворювати малі кластери.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці алгоритму, що дозволить робити прогнозування без якісного аналізу великого масиву даних для розробки стратегії торгівлі.

#### Список використаних джерел

1. Уилсон Р. Введение в теорию графов. Санкт-Петербург: ООО «Диалектика», 2019. 240 с.
2. Кормен Х. Алгоритмы: построение и анализ. Москва: ООО «И. Д. Вильямс», 2013. 1328 с.
3. Plerou V. Random matrix approach to cross correlations in financial data. *Physical Review*, 2002. №65. С. 1–8.
4. Mehta M. Random matrices. Boston: Academic Press, 1991. 562 p.
5. Mantegna R. Hierarchical structure in financial markets. *The European Physical Journal*. 1999. №11. С. 193–197.
6. Ким Д., Мьюллер Ч., Клекка У., Енюков И. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Москва: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
7. International Trade Center. International trade statistics 2001-2020 URL: <https://www.intracen.org/itc/market-info-tools/trade-statistics/> (Accessed: 20.05.2020).
8. Розанова Н. Макроэкономика. Москва: Юрайт, 2013. С. 288-290.
9. Мазаракі А., Воронова Є., Юхименко В. та ін. Світовий ринок товарів та послуг. Х.: Ранок, 2008. 79 с.
10. Мацелюх Н., Максименко І. Історія економіки та економічної думки. Політична економія. Мікроекономіка. Макроекономіка. Київ: Центр учбової літератури, 2014. 382 с.
11. Wollenhaupt G. GTM Solutions: Making a World of Difference 2017. URL: <https://www.inboundlogistics.com/cms/article/gtm-solutions-making-a-world-of-difference/> (Accessed: 20.05.2020).

12. Biondo K. Redefining Globalism? (2017). URL: <https://www.inboundlogistics.com/cms/article/redefining-globalism/> (Accessed: 20.05.2020).
13. Cook D. Getting Ready for ACE (2016). URL: <https://www.inboundlogistics.com/cms/article/-getting-ready-for-ACE/> (Accessed: 20.05.2020).
14. Khan A., Aesha A., Sarker J. A New Algorithmic Approach to Finding Minimum Spanning Tree. 2018 *4th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (iCEEICT)*. 2018. 590–594 pp.
15. Biswas P., Goel M., Negi H., Datta M. An Efficient Greedy Minimum Spanning Tree Algorithm Based on Vertex Associative Cycle Detection Method. *Procedia Computer Science*. 2016. № 92. Pp. 514–518.
16. Тадеев Ю. П. Економіко-математичне моделювання міжнародних торгових операцій. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2009. № 9. С. 94–99.
17. Козик В. В. Міжнародні економічні відносини. Львів: Львівська політехніка, 1999. 89 с.
18. Гужва І. Ю. Прикладні моделі економічного аналізу у міжнародній торгівлі. *Економічний аналіз*. 2015. № 1. С. 34–38.

### References

1. Wilson, R. (2019). The Introduction to Graph Theory. St. Petersburg: Dialektika (in Rus).
2. Cormen, H. (2013). Algorithms: Constructing and analysis. Moscow: Williams (in Rus).
3. Plerou, V., Gopikrishnan, P., Rosenow, B., Amaral, L. A., Guhr, T., & Stanley, H. E. (2002). Random matrix approach to cross correlations in financial data. *Physical Review E*, 65(6), 1-8. doi:10.1103/physreve.65.066126.
4. Mehta, M. L. (1991). Random matrices. Boston: Academic Press.
5. Mantegna, R. (1999). Hierarchical structure in financial markets. *The European Physical Journal B*, 11(1), 193-197. doi:10.1007/s100510050929.
6. Kim, D., Mueller, C., Klecka, W., & Enyukov, I. (1989). Factor, Discriminant and Cluster Analysis. Moscow: Finansy i statistika (in Rus).
7. International trade statistics 2001-2020. (n.d.). Retrieved from: <https://www.intracen.org/itc/market-info-tools/trade-statistics/> (Accessed: 20.05.2020).
8. Rozanova, N. (2013). The Macroeconomics. Moscow: Jurajt, 288-290 (in Rus).
9. Marazaki, A., Voronova, E., & Yuhhimenko, V. (2008). The World Market of Goods and Services. Kharkiv: Ranok, 79 (in Ukr.).
10. Matselyukh, N., & Maksimenko, I. (2014). The History of economics and economic thoughts. Political economics. Microeconomics. Macroeconomics. Kyiv: Centr uchbovoi' literatury (in Ukr.).
11. Wollenhaupt, G. (2017, March 27). GTM Solutions: Making a World of Difference. Retrieved from: <https://www.inboundlogistics.com/cms/article/gtm-solutions-making-a-world-of-difference/> (Accessed: 20.05.2020).
12. Biondo, K. (2017, March 27). Redefining Globalism? Retrieved from: <https://www.inboundlogistics.com/cms/article/redefining-globalism/> (Accessed: 20.05.2020).
13. Cook, D. (2016, September 21). Getting Ready for ACE. Retrieved from: <https://www.inboundlogistics.com/cms/article/-getting-ready-for-ACE/> (Accessed: 20.05.2020).
14. Khan, A., Aesha, A., & Sarker, J. (2018). A New Algorithmic Approach to Finding Minimum Spanning Tree. 2018 *4th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (iCEEICT)*, 590-594. doi:10.1109/ceeict.2018.8628095.
15. Biswas, P., Goel, M., Negi, H., & Datta, M. (2016). An Efficient Greedy Minimum Spanning Tree Algorithm Based on Vertex Associative Cycle Detection Method. *Procedia Computer Science*, 92, 513-519. doi:10.1016/j.procs.2016.07.376.
16. Tadeev, Y. (2009). The Economic and Mathematical Modelling of the international trade operations. *Problemy systemnogo pidhodu v ekonomici* [Problems of System Approach in Economy], 9, 94-99.
17. Kozik, V. (1999). *The International Economical Relations*. Lviv: L'viv's'ka politehnika, 89 (in Ukr.).
18. Huzhva, I. (2015). General equilibrium models in international trade. *Ekonomichnyi analiz* [Economic Analysis], 1, 34-38.

**KIBALNYK Liubov**

Dr. Sc. (Economics), Professor,

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy  
Cherkasy, Ukraine

**SHMATKO Anasasiia**

Full-time student,

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy,  
Cherkasy, Ukraine

## **APPLYING THE METHOD OF MINIMUM SPANNING TREES FOR THE ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE WORLD MARKET OF GOODS AND SERVICES**

**Introduction.** *At the present stage, the world market of goods and services plays a significant role in the economic development of countries, regions, and the world conglomerate, since international trade has become a potent factor in economic growth. Besides, the dependence of countries on international trade has increased considerably. Therefore, there is a need to study the current state of international trade in goods and services, the structure of their exchange and the prediction of further dynamics to develop trade policy. The research can be done more accurately and efficiently using the methods of economic and mathematical modeling.*

**Purpose.** *Analysis of the world market structure of goods and services and identification of future trends in its development using the method of minimum spanning trees.*

**Methods.** *The paper includes general scientific research methods: analysis, synthesis, comparison, modeling, induction and specific scientific economic and mathematical methods, namely cluster analysis and the method of minimum spanning trees.*

**Results.** *The article substantiates the expediency of applying the method of minimum spanning trees to analyze the structure of the world market of goods and services, as well as to identify further trends in its development through qualitative analysis of dendrograms. Dendrograms of exports and imports of goods and services for the period from 2017 to the 2nd quarter of 2020 have been analyzed. There is a tendency to form "protected" regional markets due to the pandemic and to cluster a group of countries within the world market of goods and services, mainly according to the level of economic development.*

**Originality.** *Using the method of minimum spanning trees, the general structure of the world market was studied on the basis of exports and imports of goods and services of 33 countries in terms of United States dollars. A qualitative analysis of the obtained dendrograms and a forecast of key changes in the market structure have been made, including indentifying the leaders, whose strategies will be a guide for other countries that will join the same cluster.*

**Conclusion.** *Analysis of the structure of the world market by the method of minimum spanning trees allows assessing the similarity of the strategy of countries exporting and importing goods and services, determining which market to focus on and predicting future trends in other countries.*

**Keywords:** *world market; export of goods and services, import of goods and services; minimum spanning trees; cluster analysis; hierarchical trees; dendrogram; cluster; graph; metrics.*

*Одержано редакцією: 11.10.2020  
Прийнято до публікації: 16.12.2020*