

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
Факультет економічних наук
Кафедра економічної теорії

Магістерська робота

освітній ступінь – магістр

на тему: **«ВПЛИВ СКЛАДНОСТІ ВИРОБНИЦТВА НА ЕКОНОМІЧНЕ
ЗРОСТАННЯ»**

Виконав: студент 2-го року навчання,
Спеціальність: 051 «Економіка»
Резніченко Єгор Олегович

Керівник Бажал Ю.М., _____
доктор економічних наук, професор

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Магістерська робота захищена

з оцінкою _____
Секретар ЕК

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ I ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ЗАСАДИ ТЕОРІЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СКЛАДНОСТІ	10
1.1. Фундаментальні засади теорії економічної складності	10
1.2. Огляд останніх досліджень	18
1.3. Висновки до розділу I.....	27
РОЗДІЛ II МЕТОДОЛОГІЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕОРІЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СКЛАДНОСТІ ТА ЇХ АНАЛІЗ В КОНТЕКСТІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ	30
2.1. Базові положення	30
2.2. Методологія збору даних	33
2.3. Останні економічні тренди в Україні	35
2.4. Індекс виявлених порівняльних переваг (RCA)	38
2.5. Індекс складності виробництва (PCI)	44
2.6. Індекс економічної складності (ECI)	47
2.7. Індекс прогнозу економічної складності (ECOI).....	50
2.8. Висновки до Розділу III.....	53
РОЗДІЛ III ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОКАЗНИКІВ ТЕОРІЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СКЛАДНОСТІ	56
3.1. Опис етапів дослідження	56
3.2. Кластеризація	57
3.3. Порівняльна характеристика для цільової групи країн з Україною	64

3.4. Серія економетричних моделей для оцінки залежності економічного зростання від рівня економічної складності.....	71
3.5 Тест на причинність за Гренджером.....	73
3.6. Висновки до Розділу III.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
ДОДАТКИ.....	87

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВВП	Внутрішній валовий продукт.
ECI	Economic Complexity Index, індекс економічної складності.
PCI	Product Complexity Index, індекс складності виробництва
RCA	Revealed Comparative Advantage, індекс виявлених порівняльних переваг
ECOI	Economic Complexity Outlook Index, індекс прогнозу економічної складності

ВСТУП

Предметом роботи є вплив економічної складності на показники економічного зростання.

Об'єктом дослідження є фактори економічного зростання.

Метою даної роботи є дослідити залежність між економічною складністю, котра представлена індексом економічної складності, та економічним зростанням, що характеризується зростанням внутрішнього валового продукту на душу населення.

Актуальність роботи полягає у необхідності розгляду теорії економічної складності як інноваційну методологію до оцінки та прогнозування економічного зростання, та інституційного підходу до впровадження цієї методології в українській економічній політиці. На нашу думку, теорія економічної складності набула незначного поширення в українському академічному дискурсі, є недостатньо оглянутою вітчизняними науковцями і, відтак, не була достатньо імplementована у дослідницьку діяльність, щоб бути ефективно застосованою у державній економічній політиці. Також актуальними для загальносвітового дослідження в рамках теорії є математичні підходи, які ще не були застосовані до показників теорії, але мають високий потенціал.

Наукова новизна полягає у застосуванні методів теорії економічної складності для відстеження становища української економіки на світовому ринку, а також прогнозуванні на основі теорії. Також новим підходом є застосування кластерного аналізу для групування країн за індексом економічної складності, показниками внутрішнього валового на душу населення, а також аналіз причинно-наслідкових зв'язків у переходах між кластерами країн зі схожою економічною ситуацією.

Завданнями роботи є:

1. Розглянути релевантні дослідження (як фундаментальні, так і останні).
2. Проінтерпретувати визначення «економічна складність».
3. Розглянути та систематизувати базові принципи, положення та обмеження теорії економічної складності.
4. Описати та систематизувати показники (індекси) теорії економічної складності: виявленої порівняльної переваги, складності виробництва, економічної складності, прогнозу економічної складності.
5. Проаналізувати тенденції української економіки за часи незалежності у рамках теорії економічної складності.
6. Провести дослідження, яке буде складатися з наступних етапів:
 - a. Кластеризувати методом k-means для визначення кластерів країн за показниками економічної складності та ВВП на душу населення.
 - b. Визначити кластери, до яких входять показники української економіки.
 - c. Виконати порівняльну характеристику країн на основі результатів пункту b. Метою порівняння буде визначення причин пересування країн з кластеру з Україною за наведеними вище показниками 2000-2010 років до кластерів з вищими показниками у 2011-2021, на основі чого будуть сформульовані рекомендації для України.
 - d. Створити регресійну модель для виявлення закономірностей між показниками ВВП на душу населення та індексом економічної складності.
 - e. Застосувати тест Гренджера для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між показниками економічною складністю та ВВП.

Робоча гіпотеза дослідження полягає у тому, що індекс економічної складності є вагомим фактором зміни національної економіки, вираженій у показнику внутрішнього валового продукту.

Практичним значенням дослідження є отримання результатів, які засвідчують вплив економічної складності на національну економіку країни.

Методами дослідження є описова аналітика української економіки по показникам теорії економічної складності, кластерний аналіз (k-means) для виявлення трендів української економіки на світовому ринку, а також регресійна модель для виявлення залежності між індексом економічної складності та внутрішнім валовим продуктом.

Структура та обсяг: робота складається з трьох розділів.

Перший розділ – це теоретична частина, де розглядаються статті, які вплинули на розвиток теорії економічної складності.

У другому розділі розглядаються базові положення, на яких засновані метрики теорії економічної складності, та систематизуються індекси та математичні підходи, які застосовуються у теорії.

Третій розділ містить практичне дослідження, у якому застосовується кластерний аналіз для опису як загально світових, так і вітчизняних трендів у змінах економічної складності, а також поєднання показників економічної складності та внутрішнього валового продукту. У розділі також описано результати розробки мережі регресійних моделей та проведено тест на причинність за Гренджером.

Усього у роботі 110 сторінок.

У *першому розділі* було розглянуто фундаментальні роботи Р. Хаусмана, Ц. Ідальго, П.-А. Балланда та інших авторів, такі як «The Atlas of Economic Complexity» (фундаментальну працю, завдяки якій теорія економічної складності набула найбільшого поширення у академічній спільноті), «The building blocks of economic complexity», «The new paradigm of economic complexity», «Innovation Policies Under Economic Complexity». З матеріалів цих

статей було описано як першочергові підходи та загальну концепцію теорії економічної складності, так і доповнення, нові математичні підходи та розроблені показники теорії. Визначення економічної складності були скомпільовані з вищевказаних робіт разом з «Complexity and the Economy» В. Брайана Артура та «Assessing Economic Complexity as Interindustry Connectedness in Nine OECD Countries» Дж. Лопеса, Дж. Діаса та Дж. Амарала.

У звіті United Nations Industrial Development Organization «Industrial Development Report 2020» отримано інформацію про європейські тренди у сфері досліджень та інновацій промислового сектору. Зі статті Ю. Бажала «Знаннева економіка: теорія і державна політика» виокремлено визначення «знаннєвої» економіки та пов'язано з концептуальним баченням актуальності теорії Хаусмана та Ідальго. С. Албаї, М. Калтенберг, М. Алсалех у статті «Improving the Economic Complexity Index» запропонували новий індекс на основі класичного індексу економічної складності, покращивши спосіб прогнозування та зробивши нові висновки щодо факторів економічного зростання національних економік.. У таких статтях, як «Economic growth, economic complexity, and carbon dioxide emissions: The case of Colombia» Х. Лаверде-Рохаса, Д. Гевара-Флетчера, «A more globally-minded European green industrial policy» К. Ахуджа, «Economic complexity and greenhouse gas emissions» Й. Ромеро та К. Грамкова, «Economic complexity and the green economy» П. Міллі та А. Тейтлбойма індекс економічної складності та інші показники були застосовані у дослідженнях зеленої економіки, і було розроблено нові екологічні індекси, що дало представлення про широкий спектр можливого застосування теорії. Робота авторства Д. Гартманн, М. Гевара, Ц. Ідальго: «Linking Economic Complexity, Institutions, and Income Inequality» була також розглянута у контексті застосування індексу економічної складності у вивченні нерівності у доходах населення.

З метою дослідження поширення теорії економічної складності в Україні було розглянуто роботи український науковців «Експортний потенціал України у контексті порівняльних переваг» А. Зубрицького та «Структурна

трансформація економіки України як передумова євроінтеграції та прискореного економічного розвитку» В. Галасюка. Автори статей мають кардинально різні думки щодо економічної стратегії та політики: Зубрицький наголошує на розширенні уже усталених для української економіки галузей, а Галасюк – на політичній волі для підтримки розвитку високотехнологічних галузей, які мало представлені в Українському продуктовому «кошику».

Для систематизації, аналітичного дослідження і описової аналітики економічної ситуації в Україні у *другому розділі* роботи було розглянуто працю «The Atlas of Economic Complexity» Р. Хаусмана, Ц. Ідальго, П.-А. Балланда та інших авторів, «The Product Space Conditions the Development of Nations» під авторством Ц. Ідальго, Б. Клінджера, А.-Л. Барабасі. З матеріалів джерел систематизовано методологію, показники та індекси, асоційовані з теорією економічної складності. Математичні методи, розроблені для калькуляції згаданих індексів, було описано у ході опрацювання методологічної статті «Метод Бустоса-Йїлдірима» під авторством С. Бустоса, М. Йїлдірима та Р. Хаусмана. Дані для проведення описової аналітики було взято з COMTRADE database (первинні дані торгівлі товарами 250 країн і територій), Direction of Trade Statistics (джерело МВФ про торгівлю послугами за період 1980-2021-х років), Trade Map (про експортну долю секторів різних країн у світовому ринку за 1995-2021-ші роки). Зі звіту «Тенденції зовнішньої торгівлі товарами України за підсумками 2021 року», звітів об'єднання «УКРМЕТАЛУРГПРОМ», даних ННЦ «Інститут аграрної економіки» взято статистичні дані для прескриптивної аналітичної роботи і опису тенденцій розвитку української економіки протягом її незалежності.

Для дослідницької роботи із застосуванням методів статистичного аналізу у *третьому розділі* були використані джерела даних The World Bank (показники ВВП на душу населення та щорічний приріст) та Growth Lab (статистика про економічну та продуктову складність, порівняльні переваги, а також прогноз економічної складності за 1995-2021-і роки) по індексу економічної складності.

РОЗДІЛ І ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ЗАСАДИ ТЕОРІЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СКЛАДНОСТІ

1.1. Фундаментальні засади теорії економічної складності

Об'єктом постійної уваги українських політиків є повоєнне відновлення української економіки та способи, які йому можуть сприяти. Політика економічного повоєнного відновлення є однією з основних політик, які будуть впливати на обороноспроможність України у майбутньому. Моніторинг відповідності встановленим критеріям економічного відновлення є одним з кроків, до якого будуть звертатись політики. Одним з інструментів моніторингу, який поки що не залучений у алгоритм економічного аналізу державної політики, є теорія економічної складності.

Огляд вищеназваної теорії важливо почати з визначення і суті «знаннєвої економіки». Як пише доктор економічних наук та професор Національного Університету «Києво-Могилянська Академія» Юрій Бажал у фундаментальній праці «Знаннєва економіка: теорія і державна політика» 2003-го року: «...наріжним же каменем цієї концепції [знаннєвої економіки – прим. авт.] є використання знань для продукування конкурентоспроможного на світовому ринку нового продукту, не обов'язково інформаційного, але такого, який, маючи масовий збут, забезпечує економічне багатство і розвиток країн-продуцентів. ...» [33].

«Наукомісткість» товару, тобто показник, який залежить від складності знаннєвої мережі, вкладеної у товар, у вищезгаданій роботі Бажал пропонує оцінювати за допомогою «ціни за кілограм». «Ціна за кілограм» українського наукомісткого продукту оцінювалась нижче, ніж аналогічні товари тієї ж

класифікаційної групи. З точки зору автора, це є проблемою, оскільки високо наукомісткий український товар програє конкуренцію зарубіжному [33].

Автори теорії економічної складності запропонували нове рішення до визначення як класифікаційних груп, так і складності виробництва товарів, і, зрештою, економічної складності. Визначення «економічна складність» почало набувати конкретних обрисів на початку 2000-х років, і була цілком сформульована та ширше введена у академічний дискурс професором Гарвардського університету Рікардо Хаусманом та професором Тулузького університету Сезаром Ідальго у 2009-му році. У Таблиці 1.1 наведені найбільш актуальні визначення економічної складності з робіт різних науковців.

Таблиця 1.1

Економічна складність...	Праця	Автор(и)
... відображає обсяг виробничих знань , закладених у продуктивній структурі економіки, що проявляється через продукти , які вона виготовляє.	The Building Blocks of Economic Complexity (2009) [14]	C. Hidalgo, R. Hausmann
... — це дослідження економічних систем як складних систем, що складаються з взаємодіючих індивідів , які змінюють свої дії та стратегії відповідно до результатів, що ними ж спільно створюються.	Complexity and the Economy (2009) [2]	W. Brian Arthur
... може бути визначена як рівень взаємозалежності між складовими частинами економіки.	Assessing Economic Complexity as Interindustry Connectedness in Nine OECD Countries (2012) [20]	J. Lopes, J. Dias, J. Amaral
... це міра знань, наявних у суспільстві, яка проявляється через продукти , що ним виготовляються, враховуючи як різноманітність продуктів , так і їхню поширеність .	The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity (2013) [11]	R. Hausmann, C. Hidalgo, and others
... визначає, наскільки різноманітною та технологічно складною є експортна структура країни, відображаючи рівень виробничих знань та можливостей .	Economic Complexity Theory and Applications (2021) [13]	C. Hidalgo

Проаналізувавши визначення з найбільш впливових на теорію робіт [2][11][13][14][20], ми пропонуємо своє визначення, яке враховує усі перелічені аспекти. *Економічна складність* – це рівень виробничих знань і технологічних можливостей, закладених у структурі економіки країни, що проявляється через різноманітність, технологічну складність і взаємозалежність товарів і послуг, які вона виробляє та експортує, а також характеризується взаємодією окремих суб'єктів економічної системи, які адаптують свої стратегії у відповідь на спільно створювані економічні результати.

Це визначення відображає усі поняття, яке застосовують Хаусман та Ідальго у своїх роботах: різноманітність груп товарів за схожими класифікаційними ознаками, технологічна складність кожного продукту, взаємозалежність знаннєвих практик, необхідних для виготовлення різнорідних товарів.

Безпосередньо у підвалини теорії економічної складності було вкладено, як і у роботі Юрія Бажала, знання та науковість. Гіпотезою до досліджень Хаусмана та співавторів було твердження, що мережа знань, так званого «know-how», є найважливішою підвалиною для створення концепції продукту та його реалізації. Чим більше знань потрібно, щоб розробити продукт, тим він складніший. Тим складнішим продукт стає, чим більш диверсифікована та різноманітна знаннєва мережа застосовується для його виготовлення. Саме за допомогою збільшення знаннєвих мереж можна досягти більшої і складності продукту, і, натомість, сприяти економічному зростанню [11].

Ця концепція має багато спільного з поняттям знаннєвої економіки, оскільки диверсифікація знань у ефективну інтелектуальну, знаннєву мережу є підставою для виникнення складніших та більш конкурентних товарів. Р. Хаусман також визначає ключову важливість цього фактору у сильній кореляції між показниками економічної складності та доходом на душу населення, який країни генерують або здатні генерувати [11]. Хаусман та Ідальго наполягають на диверсифікації та розвитку виробничих ніш всередині кожної економіки.

«...Розподіл праці обмежений масштабами ринку: чим більший ринок, тим більше його учасники можуть спеціалізуватися і тим глибший розподіл праці може бути досягнутий. ...», – пишуть автори у статті «The building blocks of economic complexity» 2009-го року [14]. Розвиток однієї ніші зумовлює розвиток іншої, і, таким чином, середня економічна складність збільшується, а національна економіка – зміцнюється. Новітні «know-how» у процесі виготовлення одного продукту можуть дати поштовх до початку розробки продукту у цій же сфері.

Як переконливо доводять Хаусман і Ідальго у наведеній вище статті, їх попередники досить нечасто висловлювали гіпотезу щодо того, що різноманітність «знаннєвих ресурсів», які використовуються у виробництві товарів, які виробляються країною, впливає на загальну продуктивність цієї країни. Вчені наголошують, що дослідження цього фактору до започаткування ними теорії економічної складності суттєво та фундаментально не проводилось. Ця стаття була однією з перших, де автори описали актуальність свого методологічного підходу і обумовили подальший розвиток теорії, та питанні впливу економічної складності на внутрішній валовий продукт.

Дослідження Хаусмана бере свій старт з дослідження продуктового простору – іншого фундаментального поняття. У статті «Structural Transformation and Patterns of Comparative Advantage in the Product Space» 2006-го року Р. Хаусман та Б. Клінджер розглянули *продуктовий простір* як мережу продуктів, які зображені на спільній виробничій площині. Що ближче пара товарів, тим більш схожі знаннєві ресурси потрібні для виготовлення цих товарів, чим вони далі один від одного – тим більш незалежні технології застосовуються для їх виготовлення. Наприклад, з наступної вибірки продуктів – «гілка бананів», «окуляри», «кінематографічна лінза» – між першим та другим, першим та третім ми матимемо велику дистанцію і малу пару щільність, утім щільність між другим і третім товаром буде значно більшою, оскільки обидва товари потребують

технологічного знання про оптику. Спрощене представлення такої мережі продуктів з продуктовими відстанями представлено на Рисунку 1.1.

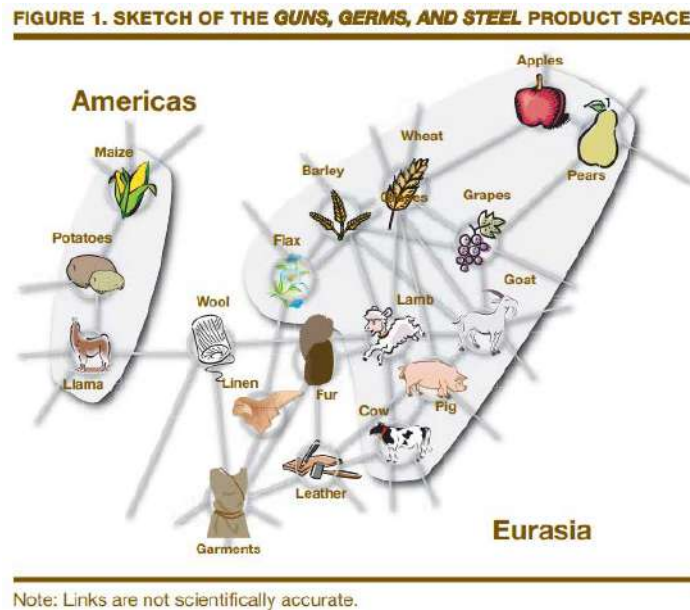


Рис. 1.1. – схематичне спрощене представлення продуктів та продуктивних відстаней між ними у формі графу. Джерело – «A network view of economic development» [15]

У 2008-му році Ц. Ідальго та Р. Хаусман опублікували спільну роботу «A network view of economic development», у якій поглибили дослідження поняття продуктивний простір [15]. Ідальго створив міру відстані між парою продуктів як ймовірність, що вони були експортовані з одних і тих самих країн, що дозволило їм побудувати мережу з рівнем диверсифікації продуктивних для кожної окремої країни, що показало, що країни мають закономірну тенденцію виробляти товари, які близькі у продуктивному просторі (схожі за технологічним процесом та є продуктом близьких знаннєвих мереж). Також було виявлено, що схожі економіки диверсифікують схожі продуктивні мережі. Результат їх роботи представлено на Рисунку 1.2.

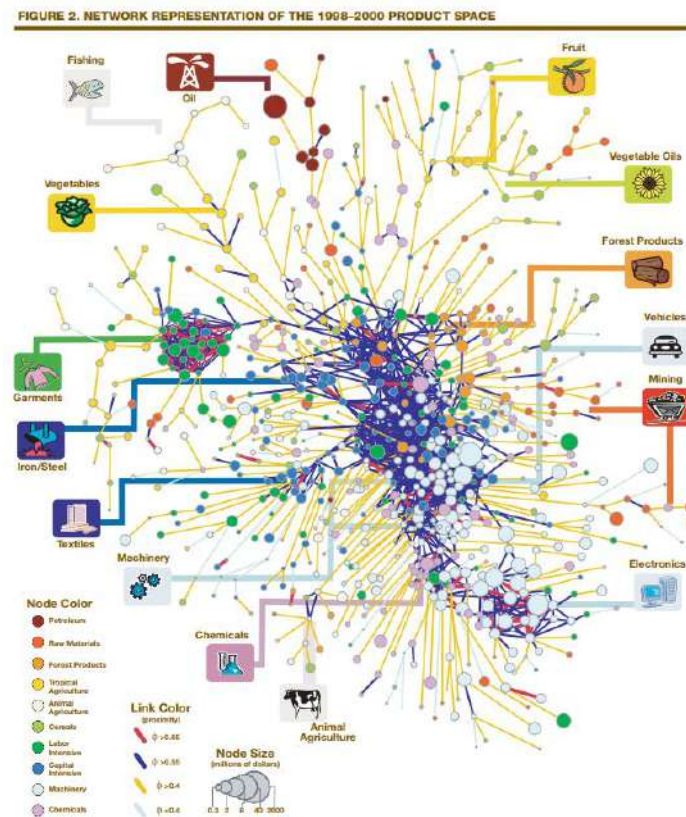


Рис. 1.2. – схематичне представлення продуктів та продуктивних відстаней між ними у формі графу. Джерело – «A network view of economic development» [15]

У цій роботі автори також висловили розуміння потенційного скептицизму до свого підходу, оскільки він був досить новим, та мав у своїй основі нові підходи до розгляду економіки як дифузійного процесу за допомогою диференціального числення. Автори розуміли, які виклики ставлять вони перед собою, розробляючи інноваційний підхід до обчислення економічних показників за допомогою рівноважних процесів, застосовуваних переважно у фізиці, що було на той час безпрецедентно для академічної спільноти.

Реалізовано мережу під керівництвом Ц. Ідальго було пізніше у ресурсі Growth Lab. На Рисунку 1.3 представлено скріншот з сайту, де інтеграктивно зображені товари. [24]

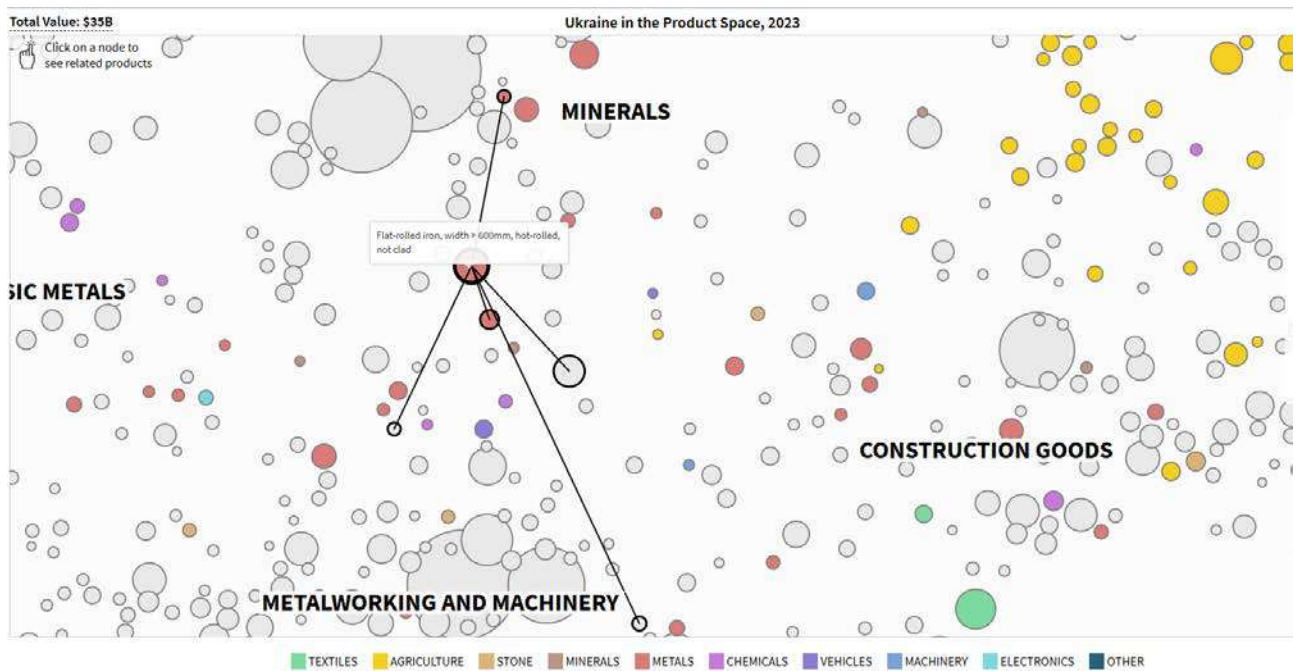


Рис. 1.3. – представлення продуктивних відстаней та знаннєвої мережі на прикладі продукту «Плоский прокат, ширина >600 мм, горячекатаний, без плакування», Україна, 2021-й рік. У прикладі видно, що цей товар має спільну мережу з такими продуктами, як «чавун», «флотат-скло», «плоский прокат, ширина >600мм, плакований», та іншими. Джерело – Growth Lab [24]

Р. Хаусман, Ц. Ідальго та ін. автори об'єднали результати досліджень у теорії економічної складності у 2013-му році у праці «The Atlas of Economic Complexity» 2013-го року, яка стала «настільною» книгою для подальших досліджень у теорії [11]. Автори «The Atlas of Economic Complexity» поставили економіку знань на перший план у своєму дослідженні, і ввели абстрактну одиницю «personbyte» (одиниця знання однієї людини) для використання у своїй теорії. «Personbyte» – це кількість виробничих знань, яку має одна людина, залучена у виробничий процес. Це мірило, яким можна виміряти складність того чи іншого промислового процесу: що більше робітників різних знань бере участь у виготовленні продукту, тим більше показник множини «personbyte». Багато «personbyte» формує «peoplebyte». І, власне, тим складніший виробничий процес набору продуктів однієї галузі, тим більш складна економічно ця галузь

промисловості. Підвищена економічна складність є необхідною для того, щоб суспільство могло утримувати і використовувати більшу кількість продуктивних знань, що і буде запорукою сталого розвитку економіки.

Відходячи від використання традиційних показників, які були засновані на показнику обсягів виробництва, Ідальго розробив індекс економічної складності. У роботі він та інші розробники врахували складність виробництва кожного виду продукту країни. Використовуючи показники на такому низькому рівні, Ц. Ідальго мав на меті охопити якість виробництва у кожній окремій ніші економічного сектору країни і скомбінувати отримані агреговані показники у індекс економічної складності країни [11].

З метою довести цінність його інноваційного підходу Ц. Ідальго у праці «The Atlas of Economic Complexity» демонструє, що розроблений ним індекс економічної складності пояснює динаміку економічного зростання значно краще, ніж інші шість розроблених Світовим Банком індикаторів світового управління («Worldwide Governance Indicators»), взятих як окремо, так і разом [The Atlas of Economic Complexity]. Хаусман пише: «...це свідчить про те, що аспекти врядування, важливі для зростання, слабо відображені в індикаторах управління і, як видається, краще відображені в економічних видах діяльності, які процвітають у кожній країні. Тому вони можуть бути більш ефективно відображені за допомогою індексу економічної складності.» [11, ст. 33].

Значним чином динаміка економічної складності пояснюється впливом промисловості, що, у свою чергу, служить причиною особливої важливості промислової політики в розвинутих економіках. Промисловий сектор створює попит на «research and development» і служить головним каталізатором інновацій в економіці. У Європейському Союзі на промисловість припадає 64% витрат на дослідження та розробки, та майже 50% витрат на інновації [30]. Разом із цим, країни ЄС посідають верхні позиції рейтингу індексу економічної складності. Японія за наведеним індексом займає першість у рейтингу серед показників світу з 1995 року [8]. Причиною високого рівня індексу можливо слугує той факт, що

з 1948 році Японія успішно використовувала закордонні досягнення в найсучасніших галузях індустрії, і на початку 1953-го року досягла довоєнного економічного рівня закупаючи патенти, ліцензії на наукові відкриття, оригінальні технології, тощо, і пристосовуючи їх до своїх умов [23].

Окрім актуальності застосування сучасних математичних методів для виявлення цінної інформації, ця теорія актуальна і для України, а також для формування її політики з економічного зростання. Автори «The Atlas of Economic Complexity» наголошують, що «країни, показник економічної складності є вищим, ніж ми очікували б, враховуючи їх поточний рівень доходу, як правило, розвиваються швидше, ніж ті, які є «надто багатими» для їх поточного рівня складності економіки» [11]. Ця гіпотеза може стосуватись і нашої економіки. До прикладу, станом на 2021 рік Україна займала 49-те місце у рейтингу економічної складності, Греція – 50-те, Аргентина – 74-те, Казахстан – 88-ме [8]. Тим не менше, внутрішній валовий продукт на душу населення у Греції було в 4.2, в Аргентині – у 2.2, а в Казахстані – у 2.1 рази більше, ніж в Україні [36]. Тому можна припустити, що наведена вище цитата може мати актуальність і української економіки.

1.2. Огляд останніх досліджень

У роботі «Linking Economic Complexity, Institutions, and Income Inequality» 2017-го року Д. Гартманн, М. Гевара, Ц. Ідальго та інші дослідили зв'язок між нерівністю доходів та економічним розвитком [9]. Використавши дані індексу економічної складності, а також дані про міжнародну торгівлю з Обсерваторії економічної складності Массачусетського технологічного інституту вони виявили проблему здатності економіки як генерувати, так і розподіляти доходи, що, на їх думку, тісно пов'язано з набором продуктів, які країна здатна виробляти та експортувати.

Таким чином врахування економічної складності та динаміки виробничого простору дозволило виявити структурні зв'язки між економічним розвитком та нерівністю доходів, які не можна виявити за допомогою агрегованих змінних. Як висновок, автори вважають, що економіка має здобувати «знаннєву» складову, таким чином збільшуючи набір вироблених продуктів і долати нерівність населення у доходах.

У 2017-му році під редакцією Ц. Ідальго вийшла стаття «Improving the Economic Complexity Index», де авторами виступили С. Албаї, М. Калтенберг та М. Алсалех. Предметом статті стало представлення нової метрики економічної складності (ЕСІ+), яка вимірює загальний обсяг експорту економіки, скоригований на те, наскільки складно експортувати кожен продукт. Автори порівнюють здатність ЕСІ+ та індексу економічної складності прогнозувати майбутнє економічне зростання, використовуючи складені регресійні моделі, модель випадкових ефектів та модель з фіксованими ефектами [1].

Албаї та інші виявили, що ЕСІ+ перевершує класичний показник ЕСІ у своїй здатності прогнозувати економічне зростання. Крім того, автори виявили, що людський капітал, політична стабільність та контроль над корупцією позитивно пов'язані з економічним зростанням, а дохід - негативно. ЕСІ+ було використано для прогнозування економічного зростання на наступні 20 років і порівняно з прогнозами, отриманими за допомогою ЕСІ. Ці висновки покращили наявні методи оцінки «peoplebyte» економіки та прогнозування економічного зростання.

У статті «The new paradigm of economic complexity» 2021-го року під авторством П.-А. Балланда, Р. Хаусмана та інших переглядаються інструменти та метрики, розроблені у статтях та методології економічної складності використовуючи інформацію з структури економіки, для знаходження нових емпіричних закономірностей. Економічна складність, зі слів авторів, виражається в структурі виробництва країни і відображає структури, які виникають для зберігання та комбінування знань [27].

Автори статті наголошують на тому, що поняття економічної складності розширює інструментарій економіки принаймні двома способами.

По-перше, підхід через економічну складність надає доступ до дослідження проблем більш детально (зменшує розмірності проблеми для дослідження). Таким чином автори хочуть мінімізувати ймовірність відхилень та статистичних помилок, хоч це і значно ускладнює процес збору даних. Традиційно економічні дані більшості країн надаються громадськості відкрито у зведеному вигляді: наприклад, національні статистичні служби використовують дані фірм, домогосподарств, уряду та митниці для розрахунку таких метрик, як валовий внутрішній продукт, інвестиції, споживання, експорт та імпорт. У процесі підготовки таких даних статистичні служби вибирають найвищі рівні гранулярності (збільшують розмірність) і спрощують дані шляхом агрегації (підсумовування або усереднення) різних вищеперерахованих метрик.

Натомість розробники індексу економічної складності застосовують спектральний метод і методи теорії мереж, щоб зменшити розмірність даних, зберігаючи при цьому більше інформації, ніж прості «агреговані дані».

Показники економічної складності, такий як індекс економічної складності, є прикладом застосування саме *спектрального методу*. Метрика простору як продуктового, так і галузевого, технологічного, професійного, була розроблена у роботах, пов'язаних або присвячених пов'язаності й складності. Ця метрика розрахована на основі інформації про географічні місця та види діяльності, і застосовується для оцінки нових показників близькості між географічними місцями та видами діяльності, які потім аналізуються за допомогою *методів теорії зважених мереж*.

Другий спосіб, який розширює економічний інструментарій, – це параметр «зсуву». Ефективність економічної науки полягає у вимірюванні технології за її наслідками: як параметр «зсуву» (за часом) в агрегованих виробничих функціях, таких як показник загальної продуктивності факторів виробництва. Однак такий підхід не пов'язує наслідки з їхніми причинами, які можна знайти в даних,

деталізація яких природньо втрачається при агрегуванні даних. *«Багаті країни не просто не схожі на бідні країни, які досягають більшого обсягу виробництва за рахунок своїх капіталовкладень і трудових ресурсів: вони виробляють принципово різні речі, використовуючи принципово різні методи виробництва»* – наголошують автори статті. Дані про те, що країни виробляють, присутні в даних до агрегації. Методи економічної складності дозволяють зменшити розмірність даних, зберігаючи при цьому інформацію про те, що виробляють країни, яка, як було доведено, має вирішальне значення для розуміння продуктивності, доходу та зростання.

Кінцевою метою статті є підкреслити важливість застосування досліджень з економічної складності для покращення прогнозування та прийняття рішень у політиці (інституції, включаючи Світовий банк, Європейську комісію, Всесвітній економічний форум, ОЕСР та низку національних і регіональних організацій, уже почали впроваджувати принципи економічної складності та її аналітичні рамки).

З точки зору сфери «зеленої» економіки варто розглянути статтю Й. Ромеро та К. Грамкова «Economic complexity and greenhouse gas emissions» 2021-го року. У статті були надані докази про те, що вища економічна складність сприяє зниженню інтенсивності викидів парникових газів, а також викидів на душу населення [25]. У рамках дослідження було виявлено що виробництво більш комплексних товарів пов'язане з нижчою інтенсивністю викидів через більш «зелені» типи технологій, що використовуються у виробництві таких товарів, та їхню високу додану вартість. Використовуючи дані по більше ніж 60-ти країнам за період з 1976 по 2012 рік, дослідження, представлені в роботі, переконливо доводять, що збільшення індексу економічної складності на 0,1 призводить до зниження викидів на 2% в наступному періоді в кілотоннах CO₂, а також викидів на душу населення.

Також у статті запропоновано індекс інтенсивності викидів від продукції, пов'язаний з виробництвом 786 товарів. Індекс є середньозваженим показником

викидів країн, які експортують кожний окремий товар з вищими за 1 виявленими порівняльними перевагами (RCA). Цей індекс дає змогу проаналізувати, які саме товари асоціюються з вищою інтенсивністю викидів, що сприяє формулюванню політики, спрямованої на скорочення викидів парникових газів шляхом максимального перенесення виробництва продуктів з високою інтенсивністю викидів. Індекс підтверджує, що більш складне знаннево виробництво більш складних продуктів продукує менше викидів.

Індекс економічної складності у сучасних дослідженнях служить кількісним показником спроможності економіки, отриманим на основі даних, які встановлюють зв'язки між країнами та економічною діяльністю в них, і Х. Лаверде-Рохас, Д. Гевара-Флетчер та інші автори у статті «Economic growth, economic complexity, and carbon dioxide emissions: The case of Colombia» 2021-го року доводять, що застосування індексу демонструє здатність до передбачення важливих макроекономічних явищ, зокрема, рівень доходу країни, економічне зростання, нерівність доходів, і екологічні показники, такі як викиди парникових газів. Крім того, розрахунок індексу проводиться з використанням джерел даних, як включають дані про торгівлю, зайнятість, дані фондового ринку та патентні дані [19].

Тим не менше, дослідження щодо використання економічної складності для пояснення зростання національних економік триває тільки з початку 2010-х років, і в межах цієї теорії досі існує широка вибірка питань, гіпотез, та недосліджених тем. Зокрема, досі відсутні якісні дослідження із застосуванням методів машинного навчання, таких як кластерного аналізу з використанням індексу економічної складності, разом із зростанням та кількісним показником ВВП, що, можливо, могло би дати підстави для визначення дієвих факторів економічного зростання у рамках тієї чи іншої країни.

Продовжуючи дослідження на перетині теорії економічної складності та «зеленої» економіки, розглянемо статтю «Economic complexity and the green economy» 2022-го року [21]. Автори П. Міллі та А. Тейтлбойм досліджують, які

країни мають виробничий потенціал, необхідний для розвитку зеленої економіки, і як вони можуть адаптувати свої промислові структури, щоб бути більш конкурентоспроможними в екологічно чистому світі. У статті представлено нову методологію вимірювання цих «зелених» виробничих можливостей шляхом створення всеосяжного набору даних про торгівлю «зеленими» продуктами та використання методів економічної складності.

Ця методологія дозволила авторам скласти рейтинг країн на основі їхньої здатності експортувати складну екологічно чисту продукцію на конкурентних засадах. Результати показують, що країни з вищим рейтингом, як правило, мають вищі показники екологічного патентування, нижчі викиди CO₂ та суворішу екологічну політику, навіть якщо брати до уваги ВВП на душу населення. Крім того, у дослідженні було вивчено потенціал країн для переходу на «зелені» продукти в майбутньому, якщо економічна політика орієнтована на «зелену».

У статті «Innovation Policies Under Economic Complexity» 2024-го року Р. Хаусман та інші автори поглиблюють аргументацію про важливість структурних перетворень (а саме застосування теорії економічної складності) для розвитку країн [17]. Як зазначають автори, у довгостроковій перспективі економіка залежить від її здатності розвивати нові види діяльності, щоб компенсувати руйнування та занепад в інших частинах економіки. Ще у 1942-му році Шуметер визначив процес творчого руйнування як рушійну силу економічного розвитку. Про необхідність цього процесу в 1950-60-х роках наголошували такі економісти, як Левіс, Ростов, Кузнець та Калдор. Цей процес є ключовим, наприклад, у програмі *смарт-спеціалізації* Європейського Союзу щодо регіонального розвитку, в якій зазначається, що «смарт-спеціалізація надає надійні та прозорі засоби для номінування тих нових видів діяльності на регіональному рівні, які спрямовані на вивчення та відкриття нових технологічних та ринкових можливостей і відкриття таким чином нових сфер для побудови регіональних конкурентних переваг». Концепція економічної складності на думку авторів підходить як засіб, який розглядає регіони і країни

як портфелі можливостей і просторів (продуктових, галузевих і т.д.) у різних вимірах як інструменти для політиків для визначення потенційних шляхів диверсифікації і трансформації шляхом впровадження нових, але пов'язаних між собою можливостей. При цьому в роботі висвітлюються механізми, що сприяють цьому: міграція та прямі іноземні інвестиції, які могли би бути спрямовані на вищезазначені цілі, і на яких може зосередитися національна економічна політика.

Також у цій роботі було зосереджено увагу на промисловій політиці, орієнтованій на місце розташування промислових потужностей. Однак деякі сучасні виклики, такі як зміна клімату, потребують глобального підходу. Важливо також, що поточні компроміси можуть вимагати переходу від обмежувальних локальних цілей до більш глобального підходу до промислової політики, коли кожен елемент у ланцюжку створення вартості розташовується там, де є сенс його розмістити (смайт-спеціалізація регіонів), щоб максимізувати спільну цінність, а економіки претендують на максимальну віддачу, що було більш детально розкрито у статті Р. Хаусмана та К. Ахуджа «A more globally-minded European green industrial policy» 2023-го року [10]. Промислова та інноваційна політика повинна враховувати залежність від шляху, зумовлену базовими можливостями та «ноу-хау».

У роботах українських вчених теорія економічної складності Хаусмана та Ідальго поки не набуває значного поширення та імплементації для українського досвіду. Показники цитування таких робіт свідчать про те, що суть теорії для українського академічного дискурсу досі є маловивченою. Тим не менше, ми розглянемо кілька статей, які мають відносно високі показники цитування.

У статті «Експортний потенціал України у контексті порівняльних переваг» 2015-го року А. Зубрицький аналізує експортний потенціал України з використанням підходу Хаусмана-Клінджера. [35][16]. У статті Зубрицький досліджує структуру українського експорту у 2007-2013-х роках, ідентифікуючи перспективні товарні позиції на основі концепції порівняльних переваг

(докладніше розглянуто у розділі цієї роботи 2.4. Індекс виявлених порівняльних переваг (RCA)). Методика аналізу передбачає визначення товарного простору та розрахунок відстані між вже експортованими товарами і потенційно новими продуктами, які знаходяться близько до товарів з високою виявленою порівняльною перевагою. Для оцінки перспективності нових експортних позицій автор використовує індикатори продуктивності експорту $PRODY$ та $EXPY$, які показують здатність товарів генерувати доходи, що перевищують середні значення по національному експорту (тобто мають $RCA > 0$).

У ході аналізу автор приходять до висновку, що переважна більшість товарів, близьких до продуктової мережі економіки України, не є високотехнологічними, але мають суттєві перспективи для реалізації через легкість впровадження в українську економіку. Основні перспективні напрями включають продукцію тваринництва, харчові продукти, хімічну промисловість і металургію. Зубрицький зазначає, що через специфіку української економіки швидкий перехід до високотехнологічних товарів є малоімовірним, а більш реалістичним є поступове нарощування експорту з доданою вартістю, що відповідає вже існуючим виробничим можливостям.

Автор також підкреслює, що виявлені перспективні товарні позиції стабільно залишаються близькими до українського експортного кошика, що свідчить про недостатню ефективність державної політики щодо підтримки експорту. Зубрицький пропонує активніше використовувати фіскальну та монетарну політики для стимулювання перспективних експортних секторів з метою якісного поліпшення структури національного експорту. У перспективі автор бачить необхідність розробки конкретних заходів, які дозволять Україні ефективніше реалізовувати власний експортний потенціал у короткостроковому періоді.

Протилежна теза висловлюється у статті «Структурна трансформація економіки України як передумова євроінтеграції та прискореного економічного розвитку» 2019-го року В. Галасюка [34]. У роботі автор детально розглядає

проблему структурної трансформації економіки України як важливу передумову інтеграції країни до європейського економічного простору та забезпечення сталого економічного зростання. Автор наголошує на необхідності переходу української економіки від переважно сировинної спеціалізації до розвитку високотехнологічних і переробних галузей, на відміну від Зубрицького, який наголошує на горизонтальному розвитку наявних галузей виробництва. Галасюк обґрунтовує, що без активної структурної політики, яка стимулюватиме розвиток інноваційних галузей, Україна ризикує залишитися на периферії глобальної економіки з низьким рівнем доходів населення і обмеженими можливостями для розвитку.

Основна увага в статті приділяється аналізу сучасної структури української економіки, яка характеризується значною залежністю від експорту сировини та напівфабрикатів. Автор відзначає, що така структура є неефективною в довгостроковій перспективі, оскільки вона робить країну вразливою до зовнішніх шоків і не дозволяє повною мірою реалізувати економічний потенціал. Галасюк пропонує заходи, спрямовані на стимулювання високотехнологічних секторів, включаючи використання податкових та інвестиційних стимулів, покращення інвестиційного клімату, розвиток державно-приватного партнерства і активну підтримку експорту високотехнологічної продукції.

У висновках статті підкреслюється, що ефективна структурна трансформація потребує не лише політичної волі, але й комплексних і системних заходів на рівні державної політики. Автор закликає до чіткого визначення пріоритетних напрямів розвитку економіки та формування відповідних державних програм, що відповідають європейським стандартам і практикам.

1.3. Висновки до розділу I

У першому підрозділі було проаналізовано фундаментальні роботи, в яких було закладено основу теорії економічної складності, а також досліджено її зв'язок з концепцією знаннєвої економіки. У праці Юрія Бажала «Знаннєва економіка: теорія і державна політика» було розкрито значення знань у створенні конкурентоспроможних продуктів, підкреслюючи необхідність інтеграції знаннєвої складової у промислову політику України.

Концепцію економічної складності як самостійну теорію сформулювали Р. Хаусман, Б. Клінджер, С. Ідальго та інші автори у низці фундаментальних статей, таких як «The Building Blocks of Economic Complexity» та «The Atlas of Economic Complexity». Ці роботи визначили поняття економічної складності, продуктового простору, продуктової щільності, порівняльних переваг та інших концепцій теорії.

Р. Хаусман, Б. Клінджер, С. Ідальго продемонстрували, що розвинена і диверсифікована мережа знань забезпечує створення більш складних продуктів та економічне зростання країни. Було детально проаналізовано поняття продуктового простору у статтях «Structural Transformation and Patterns of Comparative Advantage in the Product Space» та «A network view of economic development». У роботах застосовується інноваційний підхід до дифузного аналізу близькості товарів у продуктовому просторі, що визначається схожістю технологій і знань, що використовуються у виробництві. Узагальнюючи вищенаведені фундаментальні дослідження, автори визначають, що економічна складність є важливим показником, який дозволяє точніше прогнозувати економічне зростання та спрямовувати державну політику на диверсифікацію секторів національної економіки.

Також було проаналізовано сучасний розвиток теорії економічної складності та її застосування для вирішення глобальних і національних проблем.

У роботі «Linking Economic Complexity, Institutions, and Income Inequality» Гартманн, Гевара, Ідальго та інші автори дослідили взаємозв'язок між нерівністю доходів та рівнем економічної складності, демонструючи, що більша складність сприяє ефективнішому розподілу доходів у суспільстві; у статті «Improving the Economic Complexity Index» Албаї, Калтенберг, Алсалех запропонували новий підхід (ЕСІ+), що враховує складність експорту і довели його більшу ефективність у прогнозуванні економічного зростання порівняно з класичним ЕСІ. Аналогічно, у статті «The new paradigm of economic complexity» Баланд підкреслює значення використання спектральних методів та теорії мереж для аналізу економічних структур, що дозволяє краще враховувати специфіку виробництва на рівні окремих продуктів і галузей.

Окремим напрямом досліджень є інтеграція економічної складності з «зеленою» економікою. Стаття «Economic complexity and greenhouse gas emissions» Ромеро та Грамкова підтвердила, що вища складність виробництва корелює з нижчими викидами парникових газів. Схожий підхід висвітлено у статті «Economic growth, economic complexity, and carbon dioxide emissions: The case of Colombia» Лаверде-Ройяса та Гевари-Флетчера, де показано зв'язок між економічною складністю, зростанням та екологічною стійкістю. У статті «Innovation Policies Under Economic Complexity» Хаусмана обґрунтовується необхідність структурних перетворень економік через розвиток нових виробничих ніш та застосування концепції смарт-спеціалізації регіонів.

Український контекст застосування теорії економічної складності лише починає розвиватися. Стаття Андрія Зубрицького «Експортний потенціал України у контексті порівняльних переваг» виявила наявні експортні позиції, близькі до української економічної структури, які здатні забезпечити поступовий перехід до більш складних товарів у межах уже розвинених класифікаційних груп. Водночас у роботі Віктора Галасюка «Структурна трансформація економіки України як передумова євроінтеграції» наголошено на важливості активного переходу до інноваційних секторів та розриву з сировинною

спеціалізацією, щоб запобігти ризику стагнації та периферійного положення у глобальній економіці.

РОЗДІЛ II МЕТОДОЛОГІЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕОРІЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СКЛАДНОСТІ ТА ЇХ АНАЛІЗ В КОНТЕКСТІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

2.1. Базові положення

У цьому підрозділі буде розглянуто індекси, які формують контекст економічної складності. Буде розглянуто такі індекси, як індекс економічної складності, індекс складності виробництва, та індекс виявлених порівняльних переваг. Разом з тим, значення цих індексів будуть проінтерпретовані для української економіки.

Для початку буде розглянуто індекс виявлених порівняльних переваг, на його базі буде окреслено індекс складності виробництва, який у свою чергу дасть нам можливість описати індекс економічної складності. Також окремо буде описано індекс прогнозу економічної складності, який базується на основі рівня диверсифікації і можливості країни до майбутнього зростання економічної складності, і, внаслідок цього, внутрішнього валового продукту.

Для ефективного опису методології збору даних, підрахунку та опису індексів, асоційованих з економічною складністю, визначимо деякі фундаментальні поняття і обмеження теорії у контексті міжнародного експорту.

У першу чергу необхідно визначити обмеження та недоліки методології визначення вищезазначених індексів, а також описати причину розгляду саме експорту, а не виробництва країни в цілому. Для підрахунку та аналізу економічної складності автори «The Atlas of Economic Complexity» [11] використовують відкриті дані з національних митниць, тобто експортні дані, тому мають чотири основних обмеження:

1. Національні економіки можуть виробляти товари, які вони не експортують. З іншої сторони, це може свідчити про низьку продуктивність (малу кількість випущених товарів), або низьку якість цих товарів, що якраз і слугує причиною відсутності експорту.

2. Країни можуть ре-експортувати товари з інших країн. Однак, цей фактор враховується тим, що автори називають «справедлива частка» (fair share) (що описано у розділі 1.3.2. Індекс виявлених порівняльних переваг).

3. Дані з митниць включають в себе тільки дані про товари, але не експорт послуг, що є важливим недоліком, оскільки частка експорту послуг поступово зростає. Автори «The Atlas of Economic Complexity» досліджували набори даних про послуги в інших джерелах, але на даний момент ще не знайшли достатньо детальних даних для того, аби їх можна було досліджувати на рівні з експортованими товарами.

4. Також індекси не враховують дані про не експортну за своєю природою діяльність, таку як будівництво, розподіл електроенергії, ресторанний бізнес.

У дослідженнях Р. Хаусмана та інших дослідників теорії економічної складності важливою підвалиною є поняття «*ноу хау*» – неявного («tacit») знання, що виражається у здатності виробляти продукт, також відомого як виробнича спроможність. «*Ноу-хау*» відноситься до виробничих знань, які використовуються у виробництві продукції. Країни зростають швидше, диверсифікуючи виробничі знання, які вони мають, щоб виробляти ширше розмаїття продуктів і підвищувати складність такої продукції, чим підвищувати її цінність і ринкову вартість.

«*Ноу-хау*», як неявні знання, відрізняються від явних («explicit») знань, де всі знання містяться або у технології, або у «закодованих» або алгоритмізованих знаннях (тих, які записані у кодах або кресленнях). Наприклад, уміння вимовляти звуки – «*ноу-хау*», неявне знання, яке не можна повністю пояснити словами, оскільки вимагає трудомістких процесів імітації та повторення. Оскільки явні

знання можуть легко поширюватись по всьому світу, а «закодовані» знання доступні в Інтернеті, прийнято вважати, що саме повільна передача «ноу-хау» пояснює повільне і часткове поширення технологій і виробництва по всьому світу. З точки зору парадигми авторів теорії економічного знання мають аквтино поширюватись задля економічного зростання усіх макрорегіонів. Політика, спрямована на прискорення поширення або диверсифікацію ноу-хау суспільства, має важливе значення для темпів економічного зростання та його інклюзивності.

Також варто визначити такі два фундаментальних поняття, як *різноманітність* («diversity») та *повсюдність* («ubiquity»). *Різноманітність* визначається кількістю окремих продуктів, які експортуються національною економікою. *Повсюдність*, у свою чергу, показує, у скільки національних економіках світу виробляється (та у контексті економічної складності експортується) певний продукт.

Формулами різноманітність та повсюдність можна визначити наступним чином:

$$\text{Різноманітність} = k_{c,0} = \sum_p M_{cp} \quad 2.1$$

$$\text{Повсюдність} = k_{p,0} = \sum_c M_{cp} \quad 2.2$$

Задля кращого розуміння, уявімо модель світу, в якому існує країна А, країна Б та країна В. У країні А виробляються продукти *a*, *b*, *v* та *z*, у країні Б – продукти *b* та *z*, у країні В – тільки продукт *z*. *Різноманітність* економіки країни А у такому випадку буде рівна 4 ($k_{c,A} = 4$), країни Б – 2, країни В – 1. *Повсюдність* продукту серед національних економік *a* буде рівна 1 ($k_{p,a} = 1$), *b* – 2, *v* – 1, *z* – 3. З цього можемо зробити висновок, що національна економіка

країни А є найвищою, а продукт г – найбільш повсюдний серед усіх інших товарів.

2.2. Методологія збору даних

«Атлас» містить дані про торгівлю для 250 країн і територій, які класифіковані за 20 категоріями товарів і 5 категоріями послуг. У сукупності це дає можливість охопити понад 6000 найменувань товарів з усього світу.

Первинні дані про торгівлю товарами отримані зі звітів країн до Статистичного відділу Організації Об'єднаних Націй (COMTRADE) [29]. Дані про торгівлю послугами взяті з бази даних Міжнародного валютного фонду [6].

Оскільки не всі країни послідовно звітують про торгівлю, дослідницька група GrowthLab на чолі з С. Бустосом та за участі М. Йїлдирима і Р. Хаусмана розробила унікальний метод очищення торговельних даних, щоб врахувати непослідовність у практиці звітності і, таким чином, отримати оцінки торговельних потоків між країнами. Цей процес очищення даних відомий в науковій літературі як метод Бустоса-Йїлдирима і складається з наступних трьох кроків:

1. Спочатку коригуються імпорتنі показники (які включають вартість вантажних перевезень та страхування), щоб порівняти їх з аналогічними показниками експортерів;
2. Потім оцінюється індекс надійності країн у звітності про торговельні потоки на основі узгодженості загальних обсягів торгівлі, наданих усіма комбінаціями експортерів та імпортерів протягом певного періоду часу;
3. Останнім кроком є отримання оцінки вартості торгівлі на основі даних, наданих експортерами та імпортерами, з урахуванням надійності кожної країни.

На практиці, однак, вартість торгівлі реєструється недосконало, і країни звітують про неї несвоєчасно, а іноді взагалі не звітують, тому для отримання надійних оцінок розробники порівнюють дані про експорт та імпорт країн один з одним.

Атлас візуалізує двосторонні *торговельні потоки* для понад 6000 товарів у 20 категоріях. Дані та функції візуалізації у «Атласі» доступна у двох системах торговельної класифікації – HS (Harmonized System) 1992 року та Стандартній міжнародній торговельній класифікації (СМТК) 2-го перегляду – за 4 ключовими вимірами: експортер, імпортер, товар і рік. У таблиці 2.1 представлені відмінності між двома джерелами даних.

Таблиця 2.1.

	Harmonized System	СМТК (2 перегляд)
Охоплення	5000 товарів серед 10 категорій	700 товарів серед 10 категорій
Діапазон років	1995-2021	1962-2021
Рівень деталізації	Категорії за 1-, 2-, 4-, та 6-значними рівнями	Категорії за 1-, 2-, 4-значними рівнями

Harmonized System представляє більш детальну статистику і ширший діапазон товарів, але збирається лише з 1995 року, в той час як СМТК збирає дані з 1962 року. Менш широкий обсяг товарів у СМТК пояснюється консистентним підходом до збору даних про товари: класифікаційні назви товарів повинні були залишатися досить послідовними з 1960-х років, незважаючи на появу нових товарних сегментів або продуктів (наприклад, електроніки).

Через свою нематеріальну природу, і на відміну від торгівлі товарами, *торгівля послугами* не проходить через митниці – основне джерело статистичного обліку. У попередньому підрозділі описані обмеження, що виникають через цю причину.

Дані про послуги доступні за період з 1980 по 2021 рік. У поєднанні з товарами Harmonized System дані про послуги охоплюють весь діапазон років HS (1995 – 2021). У поєднанні з товарами СМТК дані про послуги охоплюють

сегмент річного діапазону СМТК (1980 – 2021). Однак у цих діапазонах певні роки можуть бути недоступними через, як було зазначено вище, нерозкриття або несвоєчасне подання звітності країнами.

Дані про послуги в «Атласі» класифікуються за допомогою класифікації Розширеного платіжного балансу 2010 року (Extended Balance of Payments, EBOPS) за 5 категоріями: зв'язок, страхування та фінанси, транспорт, туризм та інші (як окрема категорія).

2.3. Останні економічні тренди в Україні

Для подальшого опису фундаментальних понять у теорії економічної складності ми відведемо цей підрозділ для огляду стану української економіки у період незалежності. Це необхідно для того, щоб краще співвідносити традиційний підхід до дослідження економіки з підходом, який пропонує теорія економічної складності.

На графіку нижче (Рис. 2.1.), взятому з [28], можемо зробити висновок, що провідними галузями української економіки є виробництво металів та сільське господарство. На графіку показана доля українських галузей у світовому ринку цих галузей. Після значного підйому майже в три рази після 1995-го року виробництво металів стрімко скоротилось протягом першої половини другої декади 21-го сторіччя, повернувшись на рівень з часів настання незалежності. Сільське господарство, натомість поступово зростає (майже у 10 разів порівняно з 1995-м роком). У середині другої декади 21-го століття сільське господарство стало займати провідну роль в українській економіці.

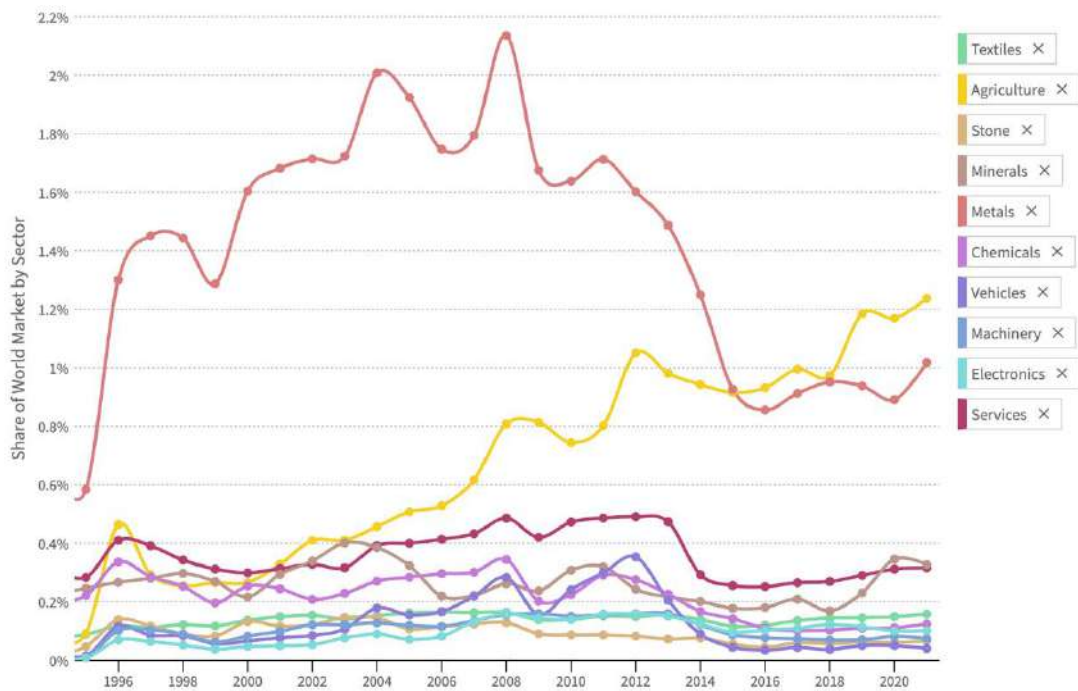


Рис. 2.1. – графік тренду показника частки різних секторів економіки України серед світу за 1995–2021 роки. Джерело – «Тенденції зовнішньої торгівлі товарами України за підсумками 2021 року» [36].

Основною причиною занепаду виробництва металів можна називати російським вторгненням на землі України у 2014-му році. У першу чергу, у 2014-2015-х рр. економіка України втратила суттєву світову частку у виробництві металів через анексію АР Криму та зупинку роботи металургійних заводів на тимчасово окупованих російською федерацією територіях – з частки 1.5% у світовому ринку у 2013-му році до 0.9% у 2016-му (див. Рис. 2.1). Після незначного відновлення у 2016-му році, вітчизняна металургія утримувала часту між 0,9% по 1%. У 2017-му році міжнародна група «Метінвест» відзвітувала про втрату виробничих потужностей на тимчасово непідконтрольних територіях, зокрема, на заводах та комбінатах «Донецьккокс», Єнакієвському металургійному заводі, Харцизьському трубному заводі та інших.

Після початку повномасштабного вторгнення російської федерації, у другому кварталі 2022-го року чимало металургійних заводів довелося покинути

або законсервувати через захоплення, руйнування або потенційну загрозу з боку агресора. Ключові українські сталеплавильні компанії оголосили про консервацію виробництва у Кривому Розі, Запоріжжі, Дніпропетровській області, Маріуполі.

Об'єднання підприємств «УКРМЕТАЛУРГПРОМ» звітувало про річне скорочення видобутку чавуну на 66%, сталі на 69%, а прокатних листів – на 66%. Як наслідок, за підсумками 2022-го року у світовому рейтингу Україна вибула із топ-15 найбільших виробників сталі, посівши 25-те місце з 14-го. Не сприяло відновленню також і скасування процесу відшкодування ПДВ для експортерів металів, що спричинило скорочення оборотних коштів металургійних підприємств на 20% [36].

Сільське господарство, як провідна українська галузь після скорочення металургійної промисловості у 2016-му році, увесь період української незалежності зростає. З 2013-го року цей сектор підвищився з 1% у 2017-му році до 1.2% у 2021-му в частці світового виробництва. Попри тимчасове зменшення кількості врожаю з рекордних 100 мільйонів тон у 2021-му році до 56 мільйонів, у 2023-му році спостерігалось відновлення до 70-ти мільйонів тон. За прогнозами академіка НААН та директора ННЦ «Інститут аграрної економіки» Юрія Лупенка, у 2025 р. обсяги збору зернових і зернобобових культур дещо зростуть — до 60 млн т, що перевищить показники 2024-го року на 7,6%.

Ти не менше, останні роки українське сільське господарство зазнає скорочень через несприятливі фактори. Основною причиною є те, що через бойові дії скоротились посівні площі, але також останніми роками також відзначається і несприятливі погодні умови. Упродовж лютого 2025-го року, як і в попередній період у 2024-му році, в Україні тривав дефіцит опадів. Залежно від цього фермери корегують посівні площі. Погодні умови вплинули не лише на структуру посівних площ, а й на озимі культури, зокрема, через відсутність сніжного покриву та температур менше за -15 градусів за Цельсієм на частині площ фермерам доведеться пересівати ріпак.

Негативного тренду зазнали і інші сектори, зокрема, автомобілебудування: з 0,35% у 2012 році до 0,04% у 2021. Більшість секторів скоротились у період 2013-2014-х років, і лише незначна частина їх відновлювалась станом на 2021-й рік.

Ці тренди демонструють спрощення портрету української економіки. Більш технологічно складні сектори, якими є виробництво металів та автомобілебудування, своїм негативним трендом знижують середню складність виробництва українських продуктів, сільське господарство, натомість, знижує його своїм зростанням.

У наступних розділах буде розглянуто більш детально, як виглядає портрет сучасної української економіки.

2.4. Індекс виявлених порівняльних переваг (RCA)

З точки зору частки світового виробництва національних економік буде доречно розглянути індекс виявлених порівняльних переваг (revealed comparative advantage, RCA). Цей показник дає можливість оцінити, наскільки експорт певного продукту певної країни має порівняльну перевагу над експортом цього продукту у відсотковому відношенні від загального експорту світу. Цей індекс визначає, які продукти виробляються у значній кількості відносно усереднених даних світової торгівлі.

Р. Хаусман та Ц. Ідальго заклали ідею цього індексу використовуючи визначення Балассі: «країна є ефективним експортером продукту, якщо вона експортує більше, ніж її «справедлива частка» або частка, яка принаймні дорівнює частці загальної світової торгівлі, яку представляє продукт [прим. автора – (тобто коли RCA більше ніж 1)]» [3]. Виходячи з цього визначення, країна A є ефективним експортером продукту a , якщо вона виробляє більше продукту a , ніж «середня» країна-виробник цього продукту.

Нехай X_{cp} – обсяг експорту продукту P країною C , тоді порівняльну перевагу (RCA) країни C в продукті P можна виразити формулою:

$$RCA_{cp} = \frac{X_{cp} / \sum_c}{\sum_p} \frac{X_{cp}}{\sum_p X_{cp}} \quad 2.3$$

Цю формулу можна використати для того, аби побудувати матрицю M_{cp} , яка з'єднає кожену країну з продуктами, які виробляються у ній. Перетин продукту і країни буде рівний 1 у випадку, якщо країна C експортує продукт P з RCA більшим або рівним 1, 0 у протилежному випадку:

$$M_{cp} = \{1, RCA_{cp} \geq 1, 0, RCA_{cp} < 1\} \quad 2.4$$

M_{cp} – матриця, яка визначає, яка країна виробляє який продукт, і застосовується для побудови *продуктового простору*, а також для підрахунку індексів складності виробництва та економічної складності. «Атлас» пропонує свою матрицю, що складається з 250 країн, 6000 товарів, і, таким чином, біля 1500000 показників виявлених порівняльних переваг.

Продуктовий простір – це візуалізація, що вперше з'явилась в липневому номері журналу Science за 2007-й рік у статті Ц. Ідальго «The Product Space Conditions the Development of Nations» [16], яка зображує зв'язок між продуктами на основі схожості «ноу-хау», необхідних для їх виробництва. Продуктовий простір візуалізує шляхи технологій, які часто застосовуються в межах однієї країни, і які країна може використати для диверсифікації свого виробництва. Продукти пов'язані через їх близькість один до одного на основі ймовірності спільного експорту обох двох продуктів.

Повертаючись до теми RCA, наведемо приклад: у 2021-му році українська соняшникова олія становила 0,065% світової торгівлі з обсягом експортованого

товару на 16.1 мільярда доларів. Із цієї загальної суми Україна експортувала соняшникової олії майже на 6.2 мільярда доларів. Оскільки загальний експорт України в тому році становив 88.5 мільярда доларів, соняшникова олія становила 7% експорту України. Поділивши 7% на 0,065%, ми виявимо, що Україна має $RCA = 108$ для соняшникової олії, що означає, що Україна експортує в 108 разів більше своєї «справедливої частки» (частки, яку би Україна мала, якщо би виробляла усереднену по світу кількість соняшникової олії) експорту цього продукту, тому ми можемо сказати, що Україна має високу виявлену порівняльну перевагу в експорті соняшникової олії.

Станом на 2021-й рік в Україні автори «The Atlas of Economic Complexity» відібрали 156 продуктів експортованих достатньо, щоб можна було обрахувати індекс, тобто загальна різноманітність товарів української економіки дорівнює 156. З Рисунку 2.2 бачимо, що з 2013-го року присутня тенденція до зменшення кількості експортованих товарів – з більш 190-та товарів у 2013-му році до менше 160-ти у 2021-му.

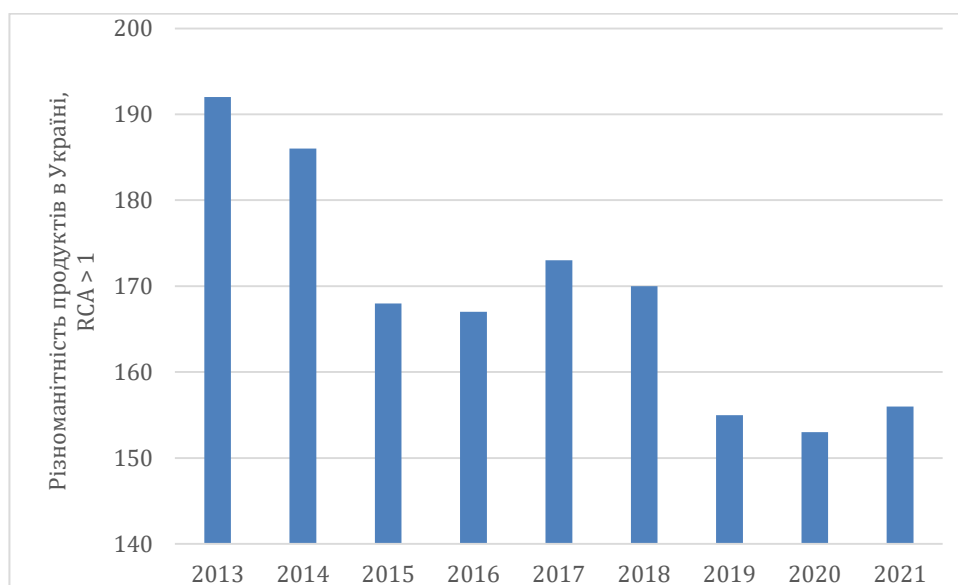


Рис. 2.2. Тенденція різноманітності продуктів експорту України з 2013 по 2021 рік. Джерело – дані Growth Lab [8], Harvard, графік – розробка автора.

З точки зору унікальності (RCA), провідними продуктами українського експорту у 2021 році були (у дужках показник RCA станом на 2021-й рік):

- *Сільське господарство*: соняшникова олія (108), тверде рослинне масло (40), ячмінь (35), кукурудза (32), рапс (31) та пшениця (26).
- *Виробництво металів*: чавун (65), металеві напівфабрикати та нелегована сталь (27).
- *Видобуток мінералів*: глина (41), каолінова глина (20), титанова руда (16).

Загальні тенденції українських товарів з даних Growth Lab за період 2013 – 2021-х рр. відображені на Рисунку 2.3 [8]. Кожен колір представляє окрему галузь української економіки.

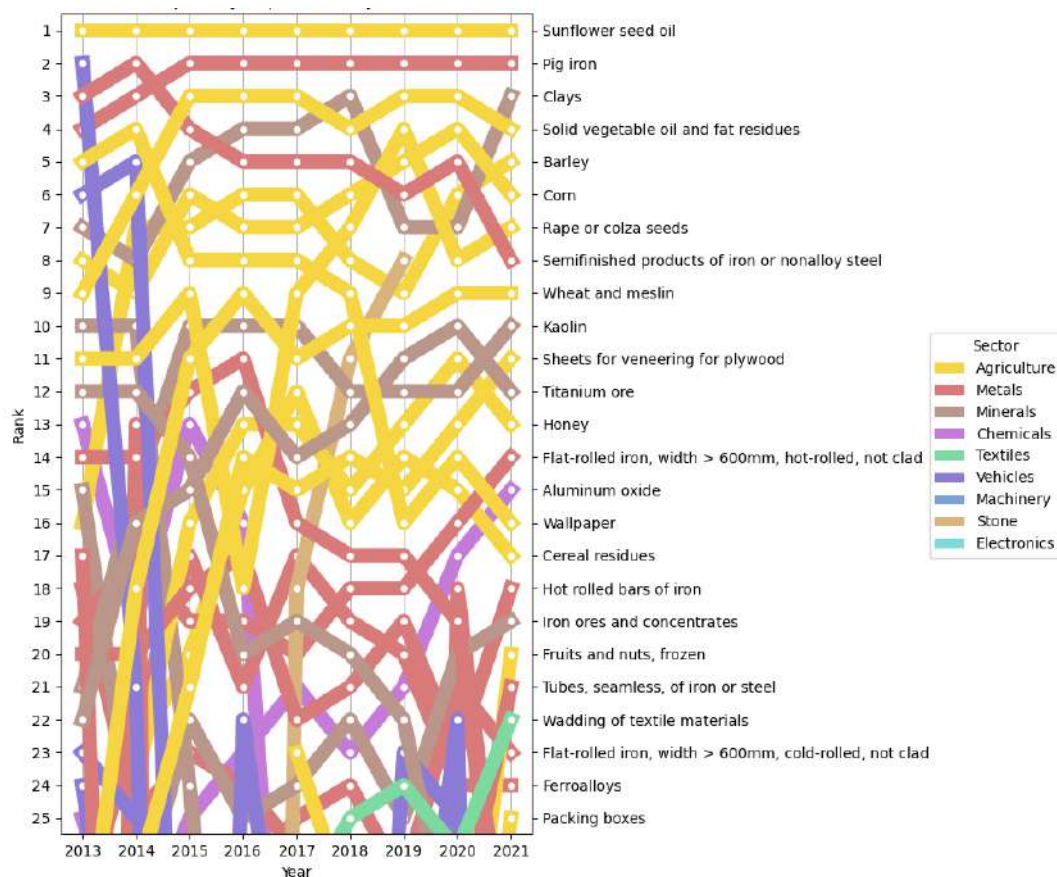


Рис. 2.3. Ранжування оцінки RCA по продуктам експорту України з 2013 по 2021 рік. Джерело – дані Trade Map [28], графік – розробка автора (див. додаток Е).

За період 2016-2021-х рр. в Україні років значно покращились показники відносної переваги у виробництві рапсу, чавуну, легованої сталі у первинній формі, заморожені фрукти та горіхи, пакувальні коробки та інші продукти (див. Таблицю 2.2.). Автори статті «Тенденції зовнішньої торгівлі товарами України за підсумками 2021 року» пояснюють цю динаміку зростанням світових цін на провідні товари експорту України, насамперед на залізну руду, метали, соняшкову олію та зернові» [36].

Таблиця 2.2.

Сектор	Продукт	2016, RCA	2021, RCA	2016-2021 зміна, RCA
Сільське господарство	Рапс	16.2	31.0	14.8
Виробництво металів	Чавун	59.6	65.3	5.7
Виробництво металів	Інша легована сталь у первинній формі	3.0	6.8	3.8
Сільське господарство	Заморожені фрукти та горіхи	5.2	8.7	3.5
Сільське господарство	Пакувальні коробки	4.6	7.6	2.9
Виробництво текстилю	Інші предмети меблювання	2.4	4.8	2.4
Виробництво текстилю	Вата з текстильних матеріалів	6.0	8.4	2.4
Виробництво металів	Труби безшовні з чавуну або сталі	6.1	8.5	2.3
Сільське господарство	Інше хутро	1.9	3.8	1.9
Машинобудування	Металопрокатні стани	3.5	5.2	1.7

Також станом на 2021-й рік з'явилися нові продукти, які до 2021-го року мали відносно малий показник RCA (були експортовані у малих кількостях через низьку якість або низький обсяг виробництва), такі як дріт з міді та легованої сталі, полімери (вінілхлоридові), етиловий спирт (більше 80%) та їдкий натр (див. Таблицю 2.3.).

Таблиця 1.2.

Сектор	Продукт	2021, RCA
Виробництво металів	Дріт з іншої легованої сталі	5.1
Виробництво хімічних речовин	Полімери, вінілхлорид	3.7
Виробництво металів	Мідні дроти та профілі	2.9
Сільське господарство	Етиловий спирт > 80%	2.4
Виробництво хімічних речовин	Їдкий натр	2.2

Сектори українського виробництва текстилю, електроніки, машинобудування, автомобілебудування, та видобутку каміння мають невисокий рівень порівняльної переваги RCA. Продукти сектору електроніки представлені найбільш низькими показниками порівняльної переваги. У Таблиці 2.4. відображені найбільші за показником RCA продукти, які виготовляються в межах цих секторів.

Таблиця 2.4.

Сектор	Продукт	2021, RCA
Виробництво текстилю	Вата з текстильних матеріалів	8.4
Автобудування	Частини залізничних локомотивів	5.7
Машинобудування	Металопрокатні стани	5.2
Видобування порід	Плитка з природного каменю	4.9
Виробництво текстилю	Інші предмети меблювання	4.8
Видобування порід	Скляна тара для транспортування	4.3

Загалом можна зробити висновок, що у експортному напрямку в Україні відповідно до індексу порівняльної переваги найбільш розвинені такі сектори виробництва, як сільське господарство, виробництво металів, мінералів, та хімії.

Сектори електроніки, машинобудування, автомобілебудування представлені досить обмеженою кількістю товарів, які мають більші, ніж середньостатистичні, показники порівняльної переваги.

2.5. Індекс складності виробництва (PCI)

Визначення економічної складності країни залежить не лише від продуктивних знань країни. Інформація про те, які можливості має країна, міститься не лише в абсолютній кількості продуктів, які вона виробляє, але й у повсюдності цих продуктів (тобто кількості країн, які експортують цей продукт), а також у складності та різноманітності продуктів інших країн роблять. З метою визначити складність виробництва продукту автор «The Atlas of Economic Complexity» Ц. Ідальго розрахував індекс складності виробництва продукту (product complexity index, PCI) для майже 1200-ти продуктів, які виробляються у світі [11].

PCI визначається шляхом розрахунку середньої різноманітності країн, які виробляють певний продукт, і середньої повсюдності інших продуктів, які виробляють ці країни. Формально PCI можна визначити наступним чином:

$$\widetilde{M}_{p,p}^P \stackrel{m}{=} \sum_c \frac{M_{cp} M_{cp}}{k_{c,0} k_{p,0}} \quad 2.5$$

У таблиці 2.5. представлено топ-10 найбільш складних у виробництві продуктів світу станом на 2021-й рік. Варто зазначити, що PCI може змінюватись з року в рік у залежності від технологічних змін у виробництві того чи іншого продукту. Тому PCI було вибрано за найбільш релевантний рік у вибірці – 2021-й.

Таблиця 2.5.

Код	Продукт	РСІ 2021
3705	Фотографічні пластини та фотоплівки, експоновані та проявлені, крім кіноплівок	2.31
9010	Апаратура та обладнання для фотографічних (включаючи кінематографічні) лабораторій, в іншому місці цієї групи не зазначені та не включені; негатоскопи; проекційні екрани; їх частини та аксесуари	2.27
2843	Колоїдні благородні метали; неорганічні або органічні сполуки дорогоцінних металів, визначеного або невизначеного хімічного складу; амальгами дорогоцінних металів	2.24
9012	Мікроскопи, крім оптичних мікроскопів; дифракційний апарат; їх частини та аксесуари	2.09
3818	Леговані пластини хімічних елементів/сполук для електроніки	2.06
8479	Машини та механічні пристрої з індивідуальними функціями, в іншому місці цієї групи не зазначені та не включені; його частини	2.04
8457	Обробні центри, вузлові верстати (однопозиційні) і багатопозиційні верстати для обробки металу	2.01
3702	Фотоплівки в рулонах, сенсibilізовані, неекспоновані, з будь-якого матеріалу, крім паперу, картону чи текстилю; плівка для моментального друку в рулонах, сенсibilізована, неекспонована	2.00
8113	Металокераміка та вироби з неї, включаючи відходи та брухт	1.99
8461	Верстати для стругання, фрезерування, прорізування канавок, протягування, зубонарізання, шліфування чи обробки зубів, пиляння, відрізання та інші верстати, що працюють шляхом видалення металу чи металокераміки, в іншому місці не зазначені	1.96

Найвищий показник РСІ – для продукту виготовлення фотографічних пластин та фотоплівки (2.31), найнижчий – видобуток олов'яних руд та концентратів (-3.37). Найскладнішими з точки зору методології РСІ є виготовлення точного електронного обладнання (апаратури для фото-кінематографічних продуктів, фотоплівки), металообробка (благородні метали, металокераміка), машинобудування (пристрої, обробні центри, верстати).

Кожен сектор економіки можна агрегувати за середнім значенням по продуктам, які з ним асоціюються. З даних Growth Lab [8] бачимо (див. Таблицю

2.6.), що найскладнішими секторами є машинобудування, виробництво електроніки, та виробництво хімікатів, найпростішими: виробництво текстилю, сільське господарство та видобуванню мінералів.

Таблиця 2.6.

Сектор економіки	PCI, середнє арифм.
Машинобудування	0.89
Виробництво електроніки	0.85
Виробництво хімікатів	0.43
Виробництво металів	0.27
Автомобілебудування	0.21
Видобування порід	0.04
Виробництво текстилю	-0.53
Сільське господарство	-0.71
Видобування мінералів	-0.82

Продукти, які у значній кількості ($RCA > 5$) були виготовлені та експортовані в Україні у 2021-му році, по показниках складності виробництва в основному знаходяться між у межах від -1.5 до 1 (Рисунок 2.4.). Як уже зазначалось у попередньому підрозділі щодо індексу виявлених порівняльних переваг, основою українського експорту є продукти сільського господарства, виробництва металів, видобування мінералів, та виробництва хімічних речовин.

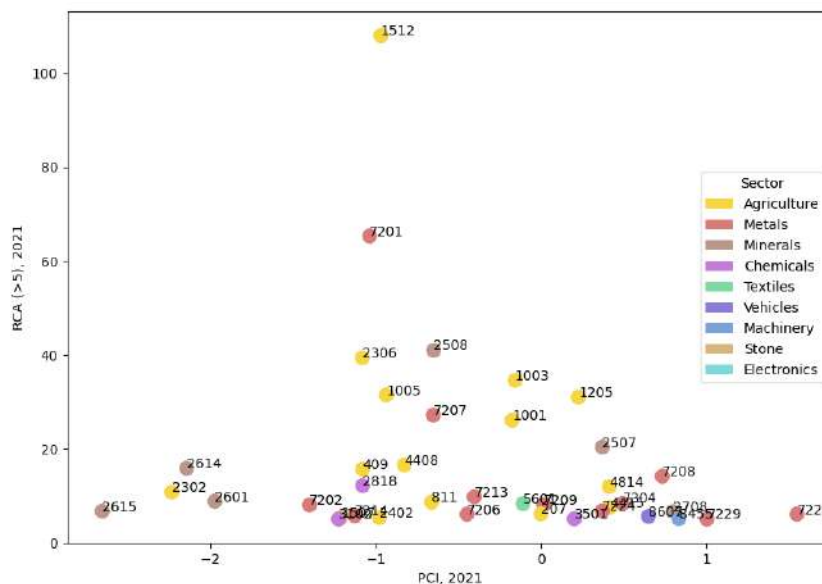


Рис. 2.4. – відображення продуктів експорту України за 2021 рік, які мають найвищий індекс виявлених переваг ($RCA > 5$) відносно їх складності виробництва. Джерело – дані Growth Lab [8], графік – розробка автора (див. Додаток Г).

Найскладнішими у виробництві продуктами, у яких Україна мала високу порівняльну перевагу ($RCA > 5$) у 2021-му році, були дрiт з нержавіючої сталі (виробництво металів, 1.55), металопрокатні стани (виробництво металів, 1.00), дрiт з іншої легованої сталі (машинобудування, 0.83), та кокс (видобування мінералів, 0.80). Тобто в українській економіці домінують продукти, які мають досить низьку складність виробництва.

2.6. Індекс економічної складності (ECI)

У «The Atlas of Economic Complexity» Р. Хаусман та Ц. Ідальго виділяють два індекси: індекс економічної складності (Economic Complexity Index), що стосується країн, та індекс складності виробництва (Product Complexity Index), що стосується складності виробництва певного продукту [11].

Економічна складність обчислюється з рівнянь різноманітності та повсюдності, щоб виразити рекурсію:

$$k_{c,n} = \sum_{c'} k_{c',n-2} \widetilde{M}_{c,c'}^c \quad 2.6$$

$$\text{Де } M_{c,c'}^c \stackrel{\text{def}}{=} \sum_p \frac{M_{cp} M_{c'p}}{k_{c,0} k_{p,0}}$$

Звідси нехай \vec{k}_n – вектор, в якого кожен елемент $c \in k_{c,n}$, тоді:

$$\vec{k}_n = \tilde{M}^c \times \vec{k}_{n-2}, \quad 2.7$$

Де \tilde{M}^c – матриця, де кожен елемент $(c, \acute{c}) \in \tilde{M}_{c,\acute{c}}^c$.

Якщо n прямує до нескінченності, цей вираз наближується до розподілу, який можна представити як:

$$\tilde{M}^c \times \vec{k} = \lambda \vec{k}_n \quad 1.6$$

Звідки \vec{k} є власним вектором \tilde{M}^c . ЕСІ визначається – це власний вектор, який визначається другим найбільшим власним вектором матриці \tilde{M}^c .

Україна за показником ЕСІ змістилася з 34-ї у 2000-му році на 49-ту сходинку у 2021-му році в рейтингу між країнами світу (див. Рисунок 2.5). За показником ЕСІ сусідні з Україною країни можна поділити на три табори: відносно стабільні (білорусь, Молдова, Польща), ті, що зростали (Угорщина, Словаччина, Румунія), та ті, що спадали (росія). Найвищий показник за всю історію обрахування індексу (з 1995-го року) має Японія, найнижчий у 2021-му році – Ліберія.

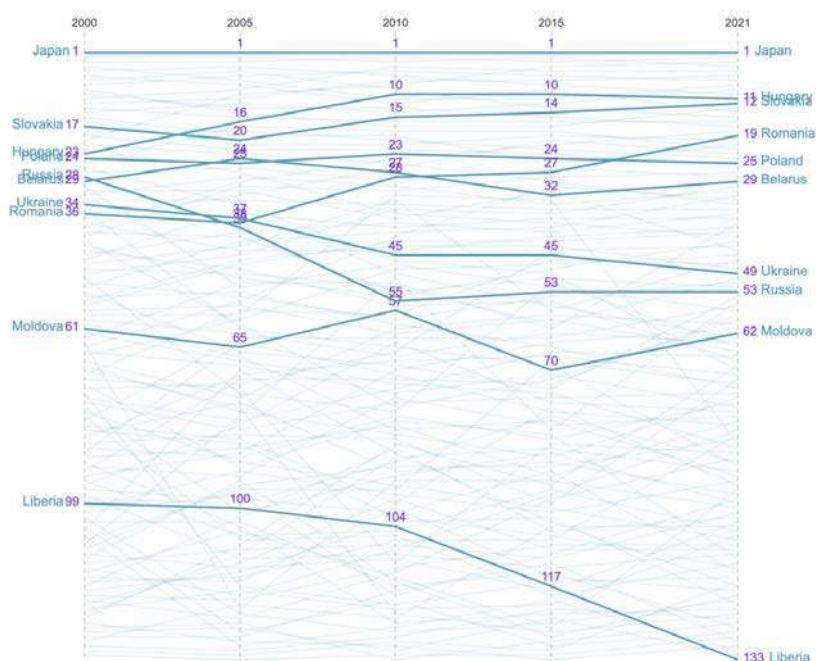


Рис. 2.5. – динаміка показників ЕСІ сусідніх з Україною країн (Угорщина, Словаччина, Румунія, Польща, білорусь, росія, Молдова), найвищої (Японія) та найгіршої (Ліберія) за показниками 2021 року. Джерело – Growth Lab [8]

Також Growth Lab визначає щорічне зростання для кожної країни. На даний момент прогноз для ЕСІ України складає 1.68% щорічно. Цей показник означає, що складність економіки України зростає на 1.68% щорічно станом на розрахунки у 2021-му році. Цей показник займає останній кuartиль таких прогнозів для країн світу, і є одним з найнижчих серед країн-сусідів (див. Рис. 2.6).

Economic Complexity Growth Projections to 2031 (Annual Growth, %)

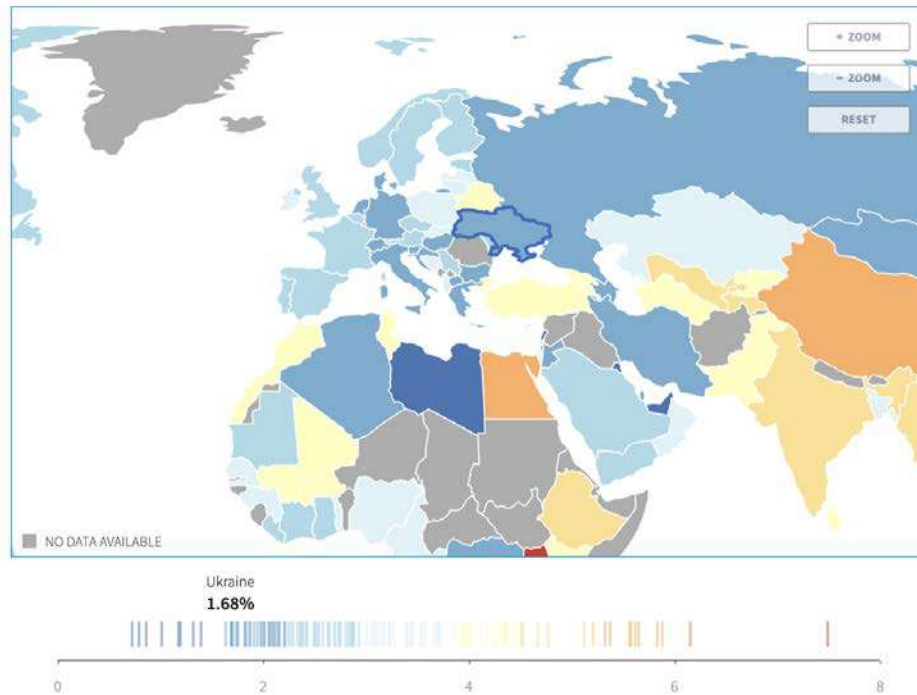


Рис. 2.6. – прогноз Growth Lab щодо щорічного зростання індексу економічної складності в Україні до 2031-го року (складений у 2021-му році). Джерело – Growth Lab [8]

2.7. Індекс прогнозу економічної складності (ЕСОІ)

Показник прогнозу економічної складності (Economic Complexity Outlook Index, ЕСОІ, СОІ) відображає кількість продуктів, які національна економіка ще не виробляє, але її рівень «ноу-хау» близький до того, аби розгорнути виробництво цих продуктів. Загалом можна означити, що ЕСОІ відображає легкість диверсифікації виробництва у певних галузях для країни, де високий показник ЕСОІ відображає велику кількість близьких складних продуктів, які спираються на подібні можливості або «ноу-хау», що присутні в поточному виробництві [11].

Перспектива складності відображає взаємозв'язок між наявними можливостями економіки для забезпечення легкої (або важкої) диверсифікації в суміжні складні виробництва, використовуючи поняття продуктового простору.

Увимо собі набір n продуктів $\{a_1, \dots, a_n\}$, які мають $RCA > 1$ у даній країні X , а також множину t продуктів $\{b_1, \dots, b_m\}$, які або не виробляються в країні X , або мають малий показник RCA (який апіорі менший за 0). Множина продуктивних просторів $\{a_1b_1, \dots, a_nb_m\}$ буде визначати показник прогнозу економічної складності, бо чим менший продуктивний простір між продуктами підмножини $\{a_i, \dots, a_j\}$ і певним продуктом b_k , тим більша ймовірність розгортання виробництва цього продукту в даній країні X .

Перспектива низької складності відображає, що країна має мало продуктів, які знаходяться на невеликій відстані, тому їй буде важко придбати нові ноу-хау і підвищити їхню економічну складність.

Щоб розрахувати $ESCOI$, спочатку потрібно обчислити відстань кожного продукту до існуючого виробництва (від 0 до 1). Потім ми підсумовуємо «близькість», тобто 1 мінус відстань до продуктів, які країна наразі не виробляє, зважену на рівень складності цих продуктів. Формулою $ESCOI$ можна відобразити як:

$$COI_c = \sum_p (1 - d_{cp})(1 - M_{cp})PCI_p, \quad 2.8$$

де PCI - індекс складності продукту p . $1 - M_{cp}$ забезпечує врахування лише тих продуктів, які країна наразі не виробляє.

З Рисунку 2.7 бачимо, що український $ESCOI$ у 1990-х та 2000-х рр. був на відносно одному рівні (від 1.1 до 1.3), мав значний негативний шок у 2016-му році (0.8), та знизився за період 2019-2021-х рр. до позначки 0.7. У основному

цей негативний тренд можна пояснити поступовим спадом виробництва та експорту металургії протягом 2010-х років через російське вторгнення.

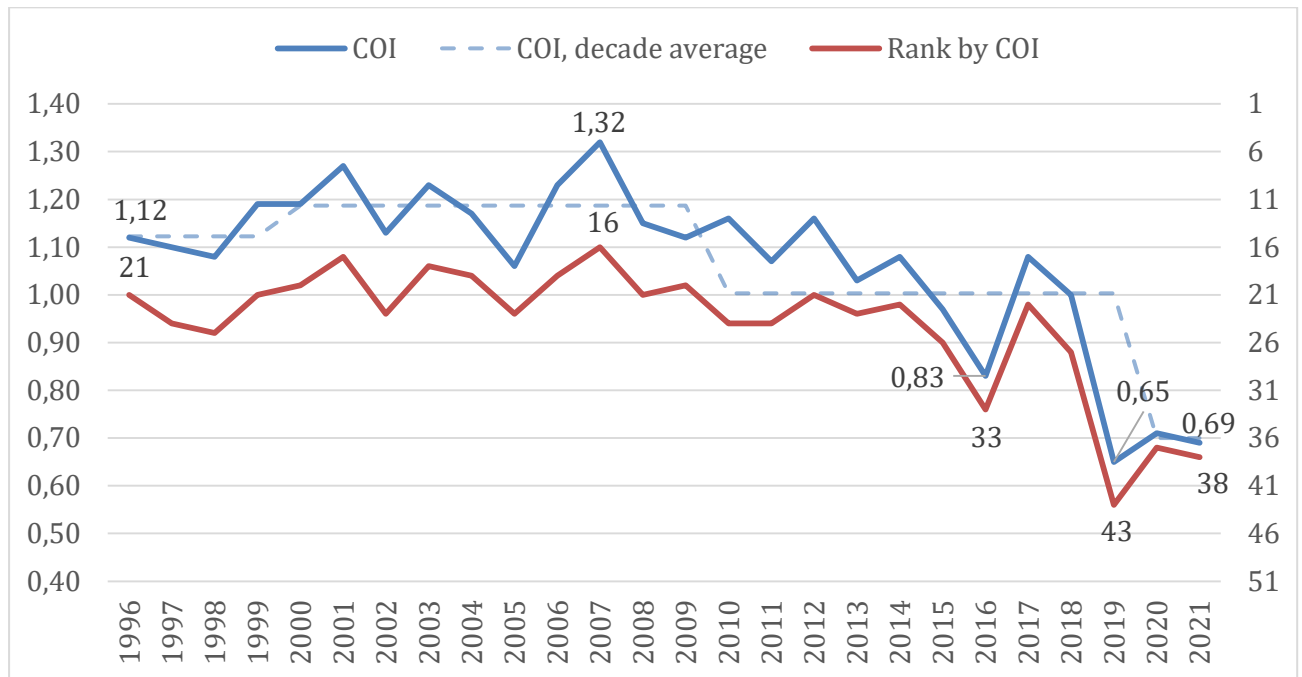


Рис. 1.5. Графік, який відображає тренди показника ЕСОІ та місце у світі української економіки за період 1996–2021 років. Джерело – дані Growth Lab [8], графік – розробка автора.

На Рисунку 2.8 відображено показники ЕСОІ та ЕСІ у період 1996-2021-х років в Україні. Можемо зробити логічний висновок, що ці показники корелюють між собою (коефіцієнт кореляції рівний 0.74 за даний період), що очевидно, оскільки чим менша економічна складність загалом, тим менше товарів, які мають $RCA > 1$, і, відповідно, тим менша можливість диверсифікувати виробництво запускаючи нові товари у виробництво.

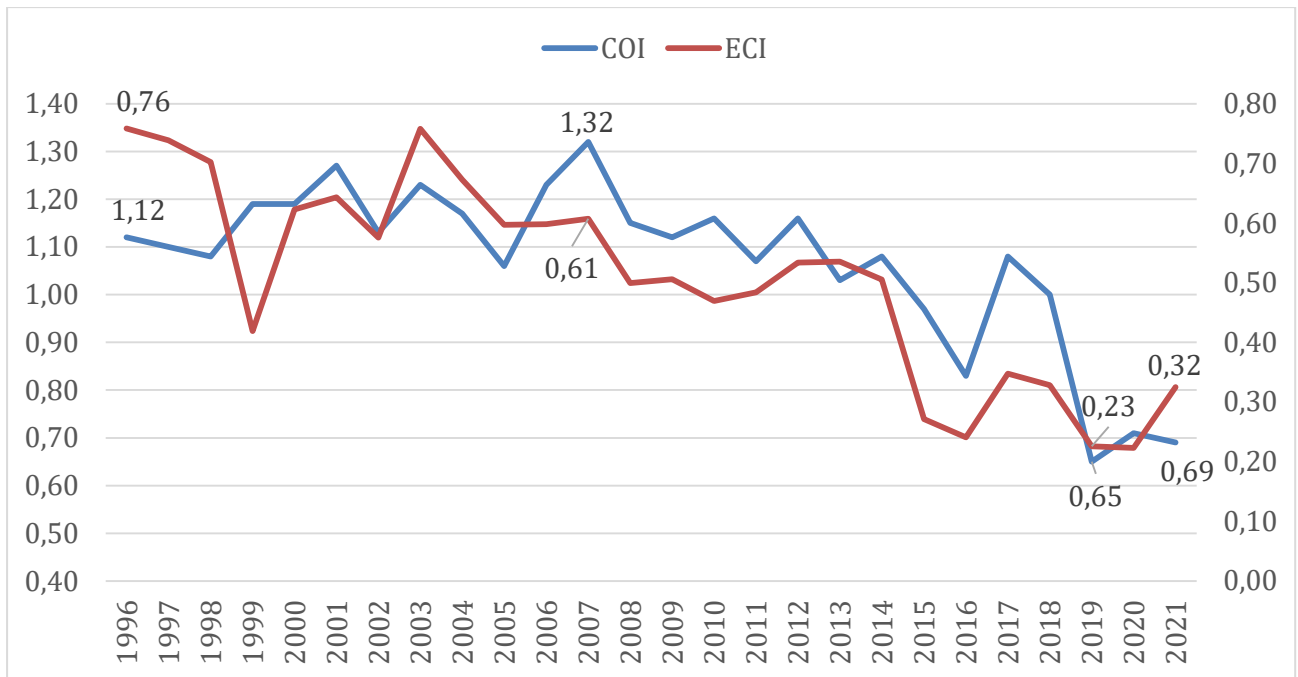


Рис. 1.6. Графік, який відображає тренди показника ECOI та ECI української економіки за період 1996–2021 років. Джерело – дані Growth Lab [8], графік – розробка автора.

Тим не менше, у 2021-му році Україна посідала 38-те місце з 133-ти країн, що показує, що у нашої країни є високий потенціал до того, аби продовжувати застосовувати «ноу-хау» задля диверсифікації продуктового набору, та покращити показники економічної складності, і, відповідно, посилити економічне зростання країни.

2.8. Висновки до Розділу III

Застосування теорії на практиці має певні обмеження та недоліки, такі як складність урахування реекспорту товарів, неможливість повного врахування експорту послуг, неможливість врахування неекспортних за своєю природою видів діяльності.

У Розділі було розглянуто 4 базових індекси, які застосовуються для оцінки економічної складності:

- індекс виявлених порівняльних переваг, який показує, наскільки той чи інший продукт виробляється у даній національній економіці відносно середньосвітових показників

- індекс складності виробництва, призначення якого полягає у визначенні складності виробництва продукту. Цей індекс напряму пов'язаний з індексом економічної складності.

- індекс економічної складності, який застосовується для загальної оцінки рівня диверсифікованості та складності вироблених продуктів національної економіки.

- Індекс прогнозу економічної складності, який відображає рівень потенційних можливостей національної економіки до поглиблення диверсифікації продукції.

За останні 10 років українська економіка переживає загалом негативний тренд за усіма показниками. Кількість продуктів з високим експортним значенням для світу зменшилась (виявленими порівняльними перевагами), превалюють та розвиваються сектори з більш простим рівнем складності виробництва (сільське господарство). Найбільш експортовані продукти ($RCA > 5$) є продуктами сільського господарства, виробництва металів, видобування мінералів, та виробництва хімічних речовин (причому сільське господарство та видобування мінералів – це одні з найпростіших у виробництві за середнім показником складності продуктів за секторами).

Тим не менше, за протягом 2016-2021 років у Україні окрім сільськогосподарської продукції посилилось виробництво деяких продуктів із секторів виробництва металів, текстилю, а також машинобудування. Також

з'являються більш складні у виробництві продукти з секторів виробництва хімічних речовин та виробництва металів.

Показник економічної складності невпинно зменшується внаслідок, як було зазначено, превалювання простіших у виробництві продуктів сільського господарства, видобування мінералів та розвитку виробництва текстилю, при незначному зростанні виробництва складніших секторів – машинобудування, виробництва електроніки, металів, хімічних речовин. Відносно низький рівень прогноз по зростанню економічної складності свідчить про те, що Україна з часом втрачає сильно диверсифіковані потужності і знання, які мала у 1990-х та 2000-х роках, і з часом їй економіці буде складніше відновлювати як економічну складність, так і зростання економіки.

Разом із тим, ЕСОІ української економіки є досить високим відносно інших країн, що показує, що відновлення за сприятливих економічних умов та політичної волі може бути стрімким.

РОЗДІЛ III ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОКАЗНИКІВ ТЕОРІЇ ЕКОНОМІЧНОЇ СКЛАДНОСТІ

3.1. Опис етапів дослідження

У ході дослідження буде застосовано декілька математичних методів, за допомогою яких буде досліджуватись взаємозв'язок між індексом економічної складності та показниками ВВП на душу населення (як у кількісному вимірі, так і у показниках приросту). Метою практичної частини буде за допомогою програмного забезпечення та даних з відкритих джерел виявити, чи може така комбінація рядів даних допомогти у як описовому та порівняльному, так і прогностичному аналізі, а також чи є підстави використовувати таке поєднання.

Практична частина буде проведена у кілька етапів:

1. Буде застосовано метод кластеризації k-means для визначення:
 - а. Групи (кластеру) країн за показниками кількісного та приросту ВВП на душу населення та показниками ЕСІ, в якому знаходилась Україна усереднено за період 2000-2010 років.
 - б. Групи (кластеру) країн за показниками кількісного та приросту ВВП на душу населення та показниками ЕСІ, в якому знаходилась Україна усереднено за період 2011-2021 років.
2. На основі дослідження у пункті 1 буде проведена порівняльна характеристика між країнами, які перебували у групах з Україною за наведеними вище показниками. Метою порівняння буде визначення причин пересування країн з кластеру з Україною за наведеними вище показниками 2000-2010-х років

до кластерів з вищими показниками у 2011-2021-х, на основі чого будуть сформульовані рекомендації для України.

3. Буде створено серію однофакторних лінійних регресійних моделей для кожного року у межах 1995-2021 рр. для встановлення факту закономірностей між показником приросту ВВП на душу населення та показниками ЕСІ для країн світу.

4. З метою з високою ймовірністю довести наявність причинно-наслідкових зв'язків буде застосовано дослідження для визначення причинності за Греджером між показником приросту ВВП на душу населення та показником ЕСІ для України.

Дані було обрано з 1995-го року як найменшого доступного по ЕСІ, до 2021-го року з метою більш контрольованого дослідження трендів української економіки. Починаючи з 2022-го року Україна перебуває у стані повномасштабного вторгнення, і доступні дані з періоду 2022-2025-х років може негативно вплинути на дослідження у зв'язку з аномальними значеннями, спричиненими умовами економіки у часи війни.

3.2. Кластеризація

Для визначення групи країн, для яких можна застосувати порівняльну аналітику, було застосовано математичний метод кластеризації методом k-means. Метриками, які були використані для кластеризації, були кількісний показник ВВП на душу населення, показник приросту ВВП на душу населення, та ЕСІ.

Для дослідження було взято показники країн Європи та Центральної Азії європейського регіону та пост-радянських країн (див. Рис. 3.1.) за два проміжки часу – 2000-2010-ті та 2011-2021-ші роки. У дослідженні, основний фокус якого є зростання української економіки, було важливо дослідити тренди України як у

контексті європейського регіону, так і у межах пострадянського простору, оскільки у обох контекстах Україна перебувала чи перебуває у роки незалежності. У дослідження не було включено такі країни, як Ісландія, Чорногорія, Люксембург, Андорра, Монако, Мальта, Косово та інші через а. відсутність показників економічної складності або б. відсутність цих країн в даних про внутрішній валовий продукт у деякі періоди або повністю.



Рис. 3.1. – мапа країн, обраних для дослідження (виділені рожевим кольором).

Дані про кількісний показник ВВП на душу населення (далі – GDPpC), зростання ВВП на душу населення (далі – GDPpC_growth), показник ECI (далі – ECI) щорічно по країнам взято за сайту The World Bank [32], показник індексу економічної складності (далі – ECI) щорічно по країнам взято з сайту Growth Lab [8].

Перед дослідженням було обрано метод кластеризації. Кластеризація за допомогою методу k-means — це метод машинного навчання, який ділить n спостережень на k кластерів, у яких кожне спостереження належить до кластера з найближчим середнім (що також має назву центроїд кластера). Це призводить до поділу простору даних на діаграму Вороного. Кластеризація k-means мінімізує дисперсії в межах кластера (квадрати евклідових відстаней). Оскільки цей метод пропонує досить точну оцінку груп, ми застосували саме цей метод.

Наступні кроки виконувались за допомогою програмного продукту Google Colab мовою python (див. Додатки Б та В). Спочатку було створено робочу таблицю у форматі *xlsx*, у якій містились дані про назву країн, їх тризначний код, середнє для GDPpC за 2000-2010 та 2011-2021 роки, середнє для GDPpC_growth за 2000-2010 та 2011-2021 роки, та середнє для ECI за 1999-2009 та 2010-2020 роки¹ для країн Європи та Центральної Азії. Середні значення за період було взято з метою зменшити вплив випадкових факторів, які могли впливати на показники. Наступним кроком дані було очищено від викидів, які могли спровокувати невірну кластеризацію (екстремальні значення для деяких країн). Графіки очищених даних у тривимірному та двовимірному просторі представлено на Рисунку 3.2. та Рисунку 3.3.

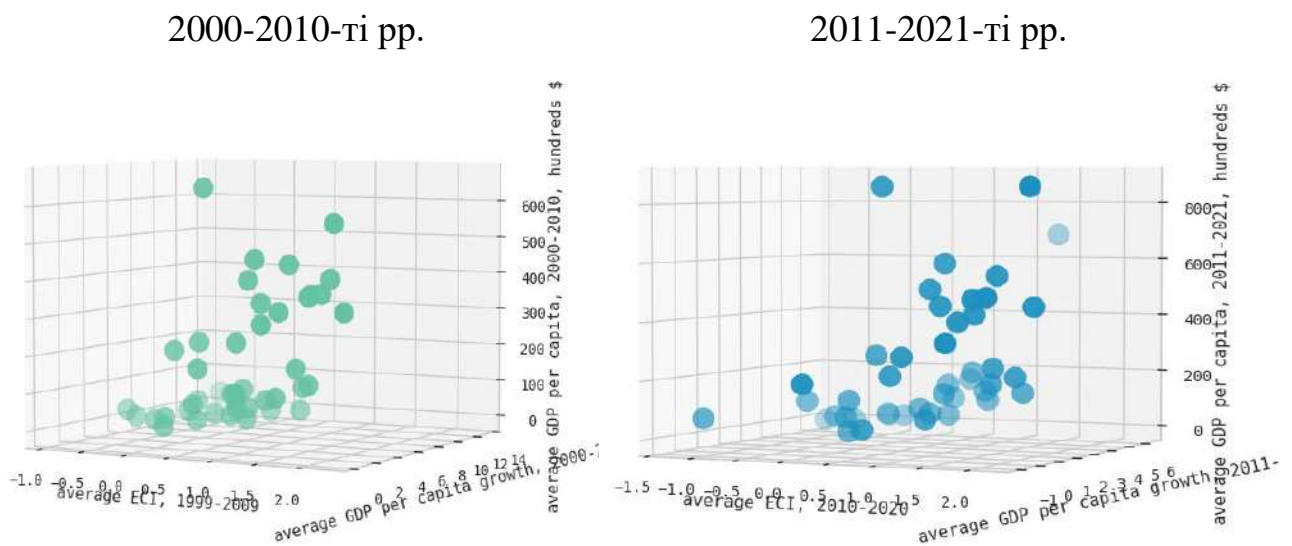


Рис. 3.2. – відображення країн у тривимірному просторі: за показниками GDPpC, зростання GDPpC (усередненими за 2000-2010 та 2011-2021 роки), та ECI (усередненим за 1999-2009 та 2010-2020 роки). Світло-зелені точки – середні показники країн за 2000-2010-ті pp., світло-сині – за 2011-2021-ті pp.

¹ Враховуючи результати попередньої курсової роботи автора, відповідно до яких зміна зростання виробництва впливає на значення ВВП найбільше через рік, дані ECI були навмисне взяті на рік раніше.

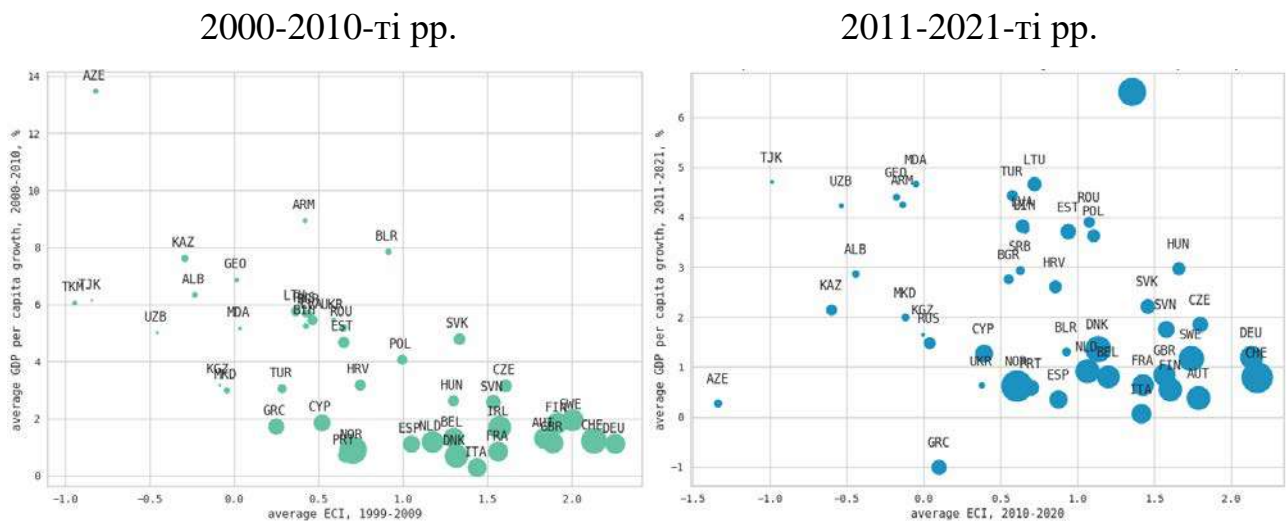


Рис. 3.3. – відображення країн у двовимірному просторі: за показниками зростання GDPpC (усередненими за 2000-2010 та 2011-2021 роки), та ЕСІ (усередненим за 1999-2009 та 2010-2020 роки). Показник ВВП представлений величиною маркеру. Світло-зелені точки – середні показники країн за 2000-2010-ті pp., світло-сині – за 2011-2021-ті pp.

Аналізуючи графіки на Рисунку 3.2.-3.3. можна зазначити наступні тенденції, притаманні обраному макрорегіону:

1. У 2011-2021-ших роках зростання ВВП країн, що розвиваються, сповільнилось, у середньому показники майже усіх країн не вищі за 5%, натомість у 2000-2010-тих роках більшість країн цієї категорії демонстрували зростання ВВП вище за 5%.
2. Кількість країн з від'ємним показником ЕСІ у періоді 2011-2021-ших збільшилось у порівнянні з 2000-2010-тих, що свідчить про те, що рівень складності економіки країн, що розвиваються, має тенденцію до зменшення.

Наступним кроком необхідно було визначити кількість кластерів за якими надалі буде розбито країни. Було відкинуто стандартний «метод ліктя», оскільки він не до кінця відповідав технічним характеристикам, і був досить неточним при відпрацюванні. Натомість кількість кластерів було визначено за допомогою двох

незалежних індексів: Девіса-Боулдіна та Салінські–Нарабажа. Суть застосування обох індексів полягає у тому, що у їх алгоритмі в ітеративному порядку застосовується метод k-means і під час даного перебору визначається оцінка оптимальності кожного k-розбиття, причому оптимальність ґрунтується на мінімізації евклідових відстаней до центроїдів кластерів. Графічно це визначається за найбільшим за значенням показником індексу. Серед усіх k застосувань k-means обирається найкращий за показником оцінок.

Для більшої точності методи було застосовано 20 разів для кількості кластерів від 2 до 25 ($20 * 24 = 480$ окремих ітерацій), значення обох індексів стандартизовані (зادля уникнення переваги одного з них), і була підрахована проста сума результатів по кожній з 20 ітерацій. На Рисунку 3.4. представлено результат комбінованого індексу, де можемо візуально визначити рекомендовану індексами кількість кластерів – 4. Отже, було зроблено висновок, що було доцільно розбити показники країн на чотири кластери.

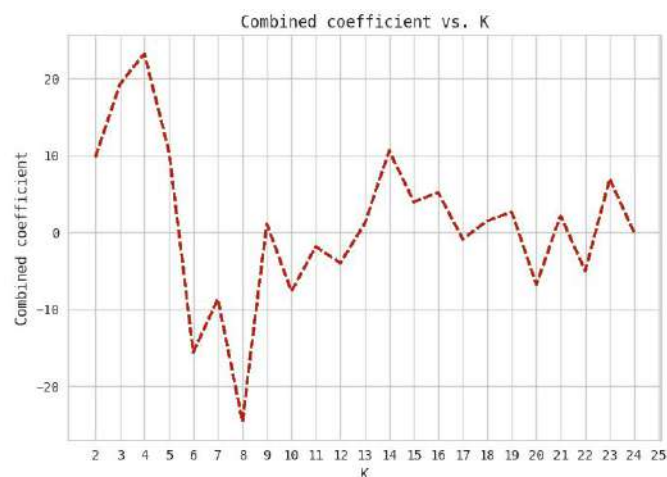


Рис. 3.4. – результат комбінації індексів Девіса-Боулдіна та Салінські–Нарабажа, що свідчить про доцільність поділу країн на чотири кластери.

Кластеризацію було проведено методом k-means. Двовимірне відображення результату кластеризації представлено на Рисунку 3.5. та Рисунку 3.6.

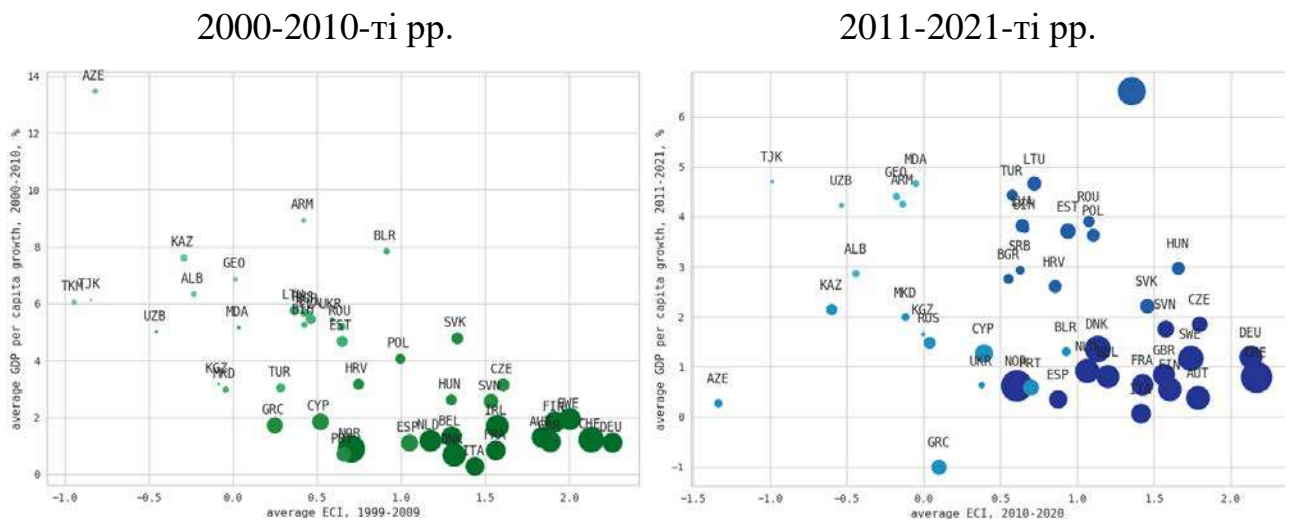


Рис. 3.5. – відображення розділених за допомогою методу kmeans на 4 кластери країн у двовимірному просторі. Зелені точки – середні показники країн за 2000-2010-ті рр., сині – за 2011-2021-ті рр. Насиченість кольору означає приналежність до конкретного кластеру, чим більш насичений колір – тим кластер країн має більші показники.

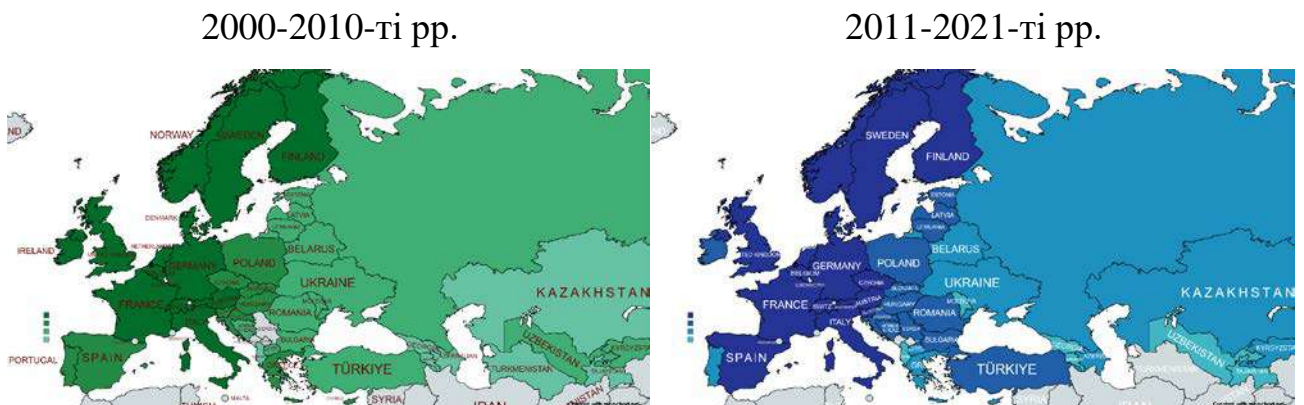


Рис. 3.6. – відображення розділених за допомогою методу k-means на 4 кластери країн на мапі. Зелені точки – середні показники країн за 2000-2010-ті рр., сині – за 2011-2021-ті рр. Насиченість кольору означає приналежність до конкретного кластеру, чим більш насичений колір – тим кластер країн має більші показники.

З Рис. 3.5-3.6 можна зробити висновок, що вагомі зміни відбувались у 2011-2021-х роках відносно 2000-2010 років у кількох субрегіонах:

1. Країни Балтії: Литва, Латвія та Естонія за показниками ВВП та ЕСІ покращили свої позиції.
2. Центральна Європа та країни Балкан: Чехія, Словенія, Сербія, Боснія і Герцеговина, Румунія, Болгарія, Туреччина також мали тенденцію до покращення відносно згаданих показників.
3. Середня Азія та країни Кавказу: більшість країн зазнали змін, як до зниження вищезгаданих показників (Узбекистан), так і до підвищення (Казахстан). Тим не менше, у субрегіоні не можна зазначити про вагомні зміни.
4. Східна Європа: відносно стабільна ситуація з невеликими зміщеннями у зменшення показнику ЕСІ.

До кластеру, у який увійшла Україна у 2011-2021, методом кластеризації k-means було визначено наступні країни: Азербайджан, білорусь, Кіпр, Греція, Казахстан, Киргизстан, Північна Македонія, Португалія, росія (див. Рис. 3.7.).

Таким самим способом було визначено кластер країн, до яких входила Україна за показниками 2000-2010 років: білорусь, Боснія і Герцеговина, Болгарія, Естонія, Киргизстан, Латвія, Литва, Молдова, Північна Македонія, Румунія, росія, Туреччина, Узбекистан.

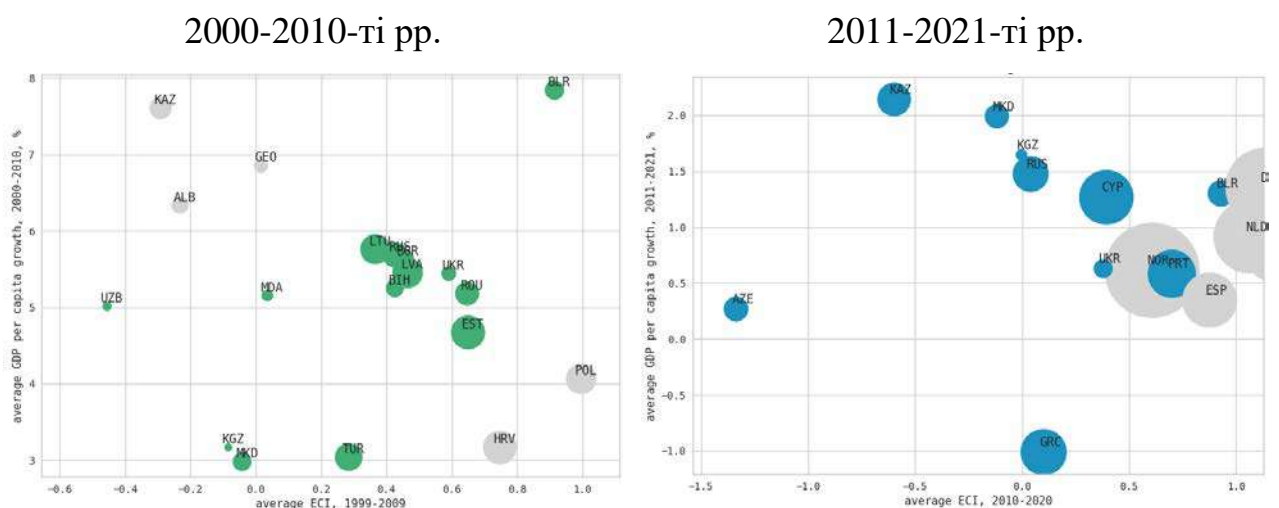


Рис. 3.7. – відображення кластерів, у яких присутня Україна. Зелені точки – середні показники країн кластеру за 2000-2010-ті рр., сині – за 2011-2021-ті рр.

Ця група країн (з кластерів, у яких перебувала Україна у 2000-2010-х та 2011-2021-х роках) буде використана для порівняльної характеристики.

3.3. Порівняльна характеристика для цільової групи країн з Україною

У таблиці 3.1. наведено статус країн, які перебували в одному кластері з Україною за результатами дослідження у попередньому розділі. Країни було занесено до однієї із груп:

1. «Залишились» у кластері – країни, які перебували в одному кластері з Україною протягом періодів і у 2000-2010-х рр., і у 2011-2021-х рр.

2. «Вийшли через покращення» економіки з кластеру – країни, які перебували в одному кластері з Україною протягом періоду 2000-2010-х рр., але у період 2011-2021-х рр. були класифіковані до іншої групи через збільшення показника ЕСІ.

3. «Вийшли через погіршення» економіки з кластеру – країни, які перебували в одному кластері з Україною протягом періоду 2000-2010-х рр., але у період 2011-2021-х рр. були класифіковані до іншого кластеру через зменшення показника ЕСІ.

4. «Увійшли через покращення» економіки в кластер – країни, які не перебували в одному кластері з Україною протягом періоду 2000-2010-х рр., але у період 2011-2021-х рр. були класифіковані до кластеру з Україною через збільшення показника ЕСІ.

5. «Увійшли через погіршення» економіки в кластер – країни, які не перебували в одному кластері з Україною протягом періоду 2000-2010-х рр., але у період 2011-2021-х рр. були класифіковані до кластеру з Україною через зменшення показника ЕСІ.

Таблиця 3.1.

Статус	Країни
Залишились	білорусь, Киргизстан, Північна Македонія, росія
Вийшли через покращення	Боснія і Герцеговина, Болгарія, Естонія, Латвія, Литва, Румунія, Туреччина
Вийшли через погіршення	Молдова, Узбекистан
Увійшли через покращення	Португалія, Казахстан
Увійшли через погіршення	Азербайджан, Кіпр, Греція,

З таблиці бачимо, що 4 країни залишились в одному кластері з Україною, 7 – вийшли з групи, покращивши свою економіку протягом останнього десятиліття, 2 країни вийшли з групи через погіршення економіки, 2 – увійшли через покращення, і ще 3 – увійшли через погіршення.

З метою визначення країн, на прикладі яких можна було би визначити рекомендації для України, ми можемо взяти ті країни, які перебували в одному кластері з Україною протягом періоду 2000-2010-х рр., але у період 2011-2021-х рр. були класифіковані до іншої групи через покращення комбінації ВВП, ВВП на душу населення та ЕСІ. Ця група складається з наступних країн: Боснія і Герцеговина, Болгарія, Естонія, Латвія, Литва, Румунія, Туреччина. У подальшому дослідженні ця група буде називатись *цільовою*. На Рисунку 3.8. представлено ранжування країн з 2000-го по 2021-ший рік за рівнем економічної складності. Основною тенденцією для України є пониження в рейтингу, причому найбільше зниження відбулось у період 2005-2010-х рр.

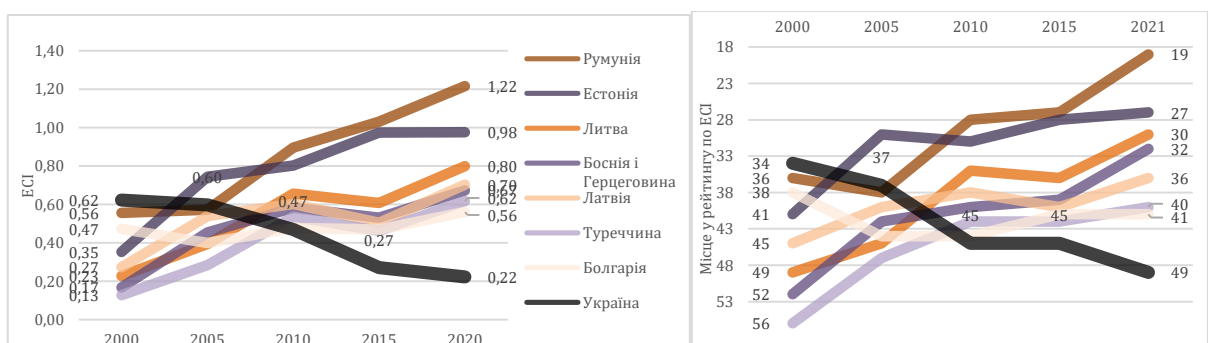


Рис. 3.8. – тенденції рейтингового місця економіки цільових країн та України за ЕСІ. Джерело – дані «Growth Lab» [8], графік – розробка автора.

Також досліджуючи найбільш розвинені продукти кожної країни з цільової групи, можна зробити висновок, що більшість найбільш експортованих продуктів ($RCA > 5$) країн цільової групи знаходяться в рамках від -1 до 1,5 за РСІ (індекс складності продукту). Україна має ширшу вибірку – від -2 до 1 за РСІ, причому топ-5 з них – біля позначки -1, що свідчить про те, що найбільш експортовані Україною продукти є порівняно нескладними у виробництві. Досить схожий характер має експорт Туреччини.

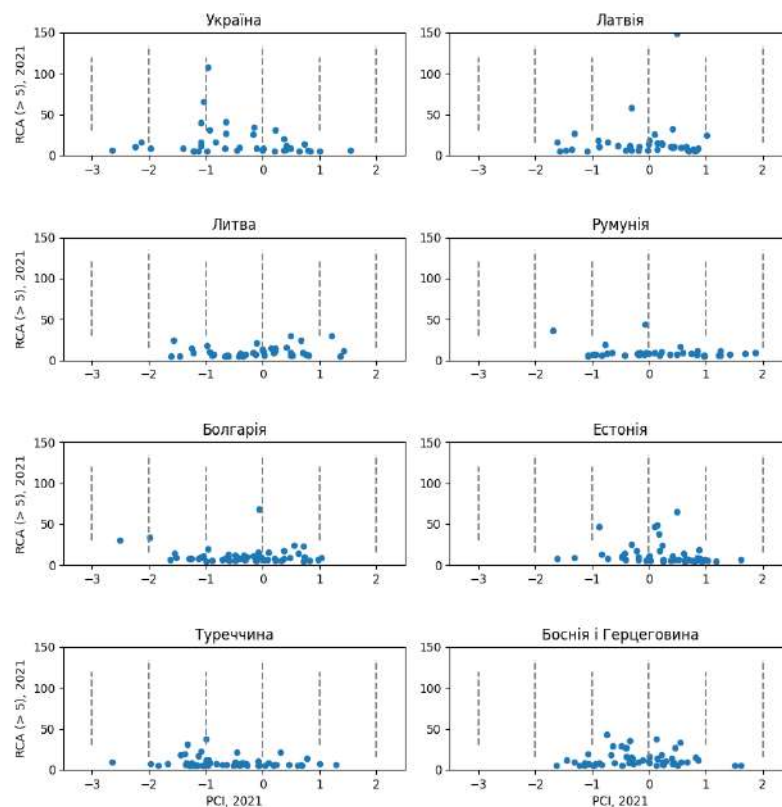


Рис. 3.9. Портрет найбільш експортованих країнами цільової групи товарів. Розподіл найбільш розвинених експортних продуктів цільових країн та України у 2021 році. Джерело – дані «Growth Lab» [8], графік – розробка автора (див. Додаток Д).

Також було проведено аналіз змін у різних секторах експорту країн цільової групи. Аналіз буде представлено у Таблиці 3.2. Для країн цільової групи було пораховано прирости з 2016-го року по 2021-й рік для кожного сектору

економіки, і виділено сектори, які зазнали суттєве зростання або спад складності виробництва продуктів.

Таблиця 3.2.

Країна	Порівняння секторів економіки за сумою PCI, 2016 та 2021	Сектори, які зазнали суттєвого зростання у 2016-2021 рр.	Сектори, які зазнали суттєвого спаду в 2016-2021 рр.																														
Боснія і Герцеговина	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектор</th> <th>2021, cumm PCI</th> <th>2016, cumm PCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vehicles</td><td>129%</td><td>-4%</td></tr> <tr><td>Textiles</td><td>-4%</td><td>48%</td></tr> <tr><td>Stone</td><td>48%</td><td>-8%</td></tr> <tr><td>Minerals</td><td>-8%</td><td>1%</td></tr> <tr><td>Metals</td><td>1%</td><td>146%</td></tr> <tr><td>Machinery</td><td>146%</td><td>73%</td></tr> <tr><td>Electronics</td><td>73%</td><td>-20%</td></tr> <tr><td>Chemicals</td><td>-20%</td><td>-31%</td></tr> <tr><td>Agriculture</td><td>-31%</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI	Vehicles	129%	-4%	Textiles	-4%	48%	Stone	48%	-8%	Minerals	-8%	1%	Metals	1%	146%	Machinery	146%	73%	Electronics	73%	-20%	Chemicals	-20%	-31%	Agriculture	-31%		автомобілебудування (незначне у кількісному вираженні) видобування порід машинобудування виробництво електроніки	виробництво хімікатів сільське господарство
Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI																															
Vehicles	129%	-4%																															
Textiles	-4%	48%																															
Stone	48%	-8%																															
Minerals	-8%	1%																															
Metals	1%	146%																															
Machinery	146%	73%																															
Electronics	73%	-20%																															
Chemicals	-20%	-31%																															
Agriculture	-31%																																
Болгарія	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектор</th> <th>2021, cumm PCI</th> <th>2016, cumm PCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vehicles</td><td>5%</td><td>-8%</td></tr> <tr><td>Textiles</td><td>-8%</td><td>3%</td></tr> <tr><td>Stone</td><td>3%</td><td>-12%</td></tr> <tr><td>Minerals</td><td>-12%</td><td>12%</td></tr> <tr><td>Metals</td><td>12%</td><td>35%</td></tr> <tr><td>Machinery</td><td>35%</td><td>19%</td></tr> <tr><td>Electronics</td><td>19%</td><td>-4%</td></tr> <tr><td>Chemicals</td><td>-4%</td><td>1%</td></tr> <tr><td>Agriculture</td><td>1%</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI	Vehicles	5%	-8%	Textiles	-8%	3%	Stone	3%	-12%	Minerals	-12%	12%	Metals	12%	35%	Machinery	35%	19%	Electronics	19%	-4%	Chemicals	-4%	1%	Agriculture	1%		виробництво металів машинобудування виробництво електроніки	видобування мінералів
Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI																															
Vehicles	5%	-8%																															
Textiles	-8%	3%																															
Stone	3%	-12%																															
Minerals	-12%	12%																															
Metals	12%	35%																															
Machinery	35%	19%																															
Electronics	19%	-4%																															
Chemicals	-4%	1%																															
Agriculture	1%																																
Естонія	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектор</th> <th>2021, cumm PCI</th> <th>2016, cumm PCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vehicles</td><td>124%</td><td>-7%</td></tr> <tr><td>Textiles</td><td>-7%</td><td>24%</td></tr> <tr><td>Stone</td><td>24%</td><td>96%</td></tr> <tr><td>Minerals</td><td>96%</td><td>81%</td></tr> <tr><td>Metals</td><td>81%</td><td>7%</td></tr> <tr><td>Machinery</td><td>7%</td><td>-22%</td></tr> <tr><td>Electronics</td><td>-22%</td><td>3%</td></tr> <tr><td>Chemicals</td><td>3%</td><td>1%</td></tr> <tr><td>Agriculture</td><td>1%</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI	Vehicles	124%	-7%	Textiles	-7%	24%	Stone	24%	96%	Minerals	96%	81%	Metals	81%	7%	Machinery	7%	-22%	Electronics	-22%	3%	Chemicals	3%	1%	Agriculture	1%		автомобілебудування видобування порід видобування мінералів виробництво металів	виробництво електроніки
Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI																															
Vehicles	124%	-7%																															
Textiles	-7%	24%																															
Stone	24%	96%																															
Minerals	96%	81%																															
Metals	81%	7%																															
Machinery	7%	-22%																															
Electronics	-22%	3%																															
Chemicals	3%	1%																															
Agriculture	1%																																
Латвія	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектор</th> <th>2021, cumm PCI</th> <th>2016, cumm PCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vehicles</td><td>44%</td><td>19%</td></tr> <tr><td>Textiles</td><td>19%</td><td>-1%</td></tr> <tr><td>Stone</td><td>-1%</td><td>19%</td></tr> <tr><td>Minerals</td><td>19%</td><td>-2%</td></tr> <tr><td>Metals</td><td>-2%</td><td>-3%</td></tr> <tr><td>Machinery</td><td>-3%</td><td>-54%</td></tr> <tr><td>Electronics</td><td>-54%</td><td>-21%</td></tr> <tr><td>Chemicals</td><td>-21%</td><td>8%</td></tr> <tr><td>Agriculture</td><td>8%</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI	Vehicles	44%	19%	Textiles	19%	-1%	Stone	-1%	19%	Minerals	19%	-2%	Metals	-2%	-3%	Machinery	-3%	-54%	Electronics	-54%	-21%	Chemicals	-21%	8%	Agriculture	8%		автомобілебудування виробництво текстилю видобування мінералів	виробництво електроніки виробництво хімікатів
Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI																															
Vehicles	44%	19%																															
Textiles	19%	-1%																															
Stone	-1%	19%																															
Minerals	19%	-2%																															
Metals	-2%	-3%																															
Machinery	-3%	-54%																															
Electronics	-54%	-21%																															
Chemicals	-21%	8%																															
Agriculture	8%																																
Литва	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектор</th> <th>2021, cumm PCI</th> <th>2016, cumm PCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vehicles</td><td>13%</td><td>0%</td></tr> <tr><td>Textiles</td><td>0%</td><td>0%</td></tr> <tr><td>Stone</td><td>0%</td><td>5%</td></tr> <tr><td>Minerals</td><td>5%</td><td>28%</td></tr> <tr><td>Metals</td><td>28%</td><td>41%</td></tr> <tr><td>Machinery</td><td>41%</td><td>36%</td></tr> <tr><td>Electronics</td><td>36%</td><td>29%</td></tr> <tr><td>Chemicals</td><td>29%</td><td>-5%</td></tr> <tr><td>Agriculture</td><td>-5%</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI	Vehicles	13%	0%	Textiles	0%	0%	Stone	0%	5%	Minerals	5%	28%	Metals	28%	41%	Machinery	41%	36%	Electronics	36%	29%	Chemicals	29%	-5%	Agriculture	-5%		автомобілебудування виробництво металів машинобудування виробництво електроніки виробництво хімікатів	
Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI																															
Vehicles	13%	0%																															
Textiles	0%	0%																															
Stone	0%	5%																															
Minerals	5%	28%																															
Metals	28%	41%																															
Machinery	41%	36%																															
Electronics	36%	29%																															
Chemicals	29%	-5%																															
Agriculture	-5%																																
Румунія	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектор</th> <th>2021, cumm PCI</th> <th>2016, cumm PCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vehicles</td><td>-27%</td><td>-12%</td></tr> <tr><td>Textiles</td><td>-12%</td><td>7%</td></tr> <tr><td>Stone</td><td>7%</td><td>28%</td></tr> <tr><td>Minerals</td><td>28%</td><td>39%</td></tr> <tr><td>Metals</td><td>39%</td><td>20%</td></tr> <tr><td>Machinery</td><td>20%</td><td>13%</td></tr> <tr><td>Electronics</td><td>13%</td><td>16%</td></tr> <tr><td>Chemicals</td><td>16%</td><td>20%</td></tr> <tr><td>Agriculture</td><td>20%</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI	Vehicles	-27%	-12%	Textiles	-12%	7%	Stone	7%	28%	Minerals	28%	39%	Metals	39%	20%	Machinery	20%	13%	Electronics	13%	16%	Chemicals	16%	20%	Agriculture	20%		автомобілебудування виробництво металів машинобудування виробництво електроніки виробництво хімікатів сільське господарство	автомобілебудування виробництво текстилю
Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI																															
Vehicles	-27%	-12%																															
Textiles	-12%	7%																															
Stone	7%	28%																															
Minerals	28%	39%																															
Metals	39%	20%																															
Machinery	20%	13%																															
Electronics	13%	16%																															
Chemicals	16%	20%																															
Agriculture	20%																																

Туреччина	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектор</th> <th>2021, cumm PCI</th> <th>2016, cumm PCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vehicles</td><td>43%</td><td></td></tr> <tr><td>Textiles</td><td>-5%</td><td></td></tr> <tr><td>Stone</td><td>18%</td><td></td></tr> <tr><td>Minerals</td><td>7%</td><td></td></tr> <tr><td>Metals</td><td>26%</td><td></td></tr> <tr><td>Machinery</td><td>42%</td><td></td></tr> <tr><td>Electronics</td><td>-17%</td><td></td></tr> <tr><td>Chemicals</td><td>16%</td><td></td></tr> <tr><td>Agriculture</td><td>-4%</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI	Vehicles	43%		Textiles	-5%		Stone	18%		Minerals	7%		Metals	26%		Machinery	42%		Electronics	-17%		Chemicals	16%		Agriculture	-4%		автомобілебудування видобування порід виробництво металів машинобудування виробництво хімікатів	виробництво електроніки
Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI																															
Vehicles	43%																																
Textiles	-5%																																
Stone	18%																																
Minerals	7%																																
Metals	26%																																
Machinery	42%																																
Electronics	-17%																																
Chemicals	16%																																
Agriculture	-4%																																
Україна	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектор</th> <th>2021, cumm PCI</th> <th>2016, cumm PCI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Vehicles</td><td>-61%</td><td></td></tr> <tr><td>Textiles</td><td>39%</td><td></td></tr> <tr><td>Stone</td><td>21%</td><td></td></tr> <tr><td>Minerals</td><td>-26%</td><td></td></tr> <tr><td>Metals</td><td>-18%</td><td></td></tr> <tr><td>Machinery</td><td>-50%</td><td></td></tr> <tr><td>Electronics</td><td>31%</td><td></td></tr> <tr><td>Chemicals</td><td>-23%</td><td></td></tr> <tr><td>Agriculture</td><td>-18%</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI	Vehicles	-61%		Textiles	39%		Stone	21%		Minerals	-26%		Metals	-18%		Machinery	-50%		Electronics	31%		Chemicals	-23%		Agriculture	-18%		видобування порід виробництво текстилю виробництво електроніки	автомобілебудування видобування мінералів виробництво металів машинобудування виробництво хімікатів сільське господарство
Сектор	2021, cumm PCI	2016, cumm PCI																															
Vehicles	-61%																																
Textiles	39%																																
Stone	21%																																
Minerals	-26%																																
Metals	-18%																																
Machinery	-50%																																
Electronics	31%																																
Chemicals	-23%																																
Agriculture	-18%																																

З таблиці можемо зробити висновок, що основним трендом з 2016-й по 2021-й роки у країнах цільової групи було зростання **автомобілебудування, виробництва металів, машинобудування, видобування порід**. Саме ці сектори експорту є одними з найбільш складними у виробництві, що переконливо доводить причину економічного зростання в цих країнах (див. Таблицю 1.5., де наведено середню PCI для кожного сектору економіки). Виробництво електроніки та хімікатів мали кардинально різні тенденції у зазначених країнах, представлені як і зростанням, так і спадом. Відносно стабільними лишились видобування мінералів, виробництво текстилю та сільське господарство, сектори економіки, які в середньому не є економічно складними.

Оскільки аналіз усіх секторів цільової групи країн є комплексною та окремою роботою і не відповідає зазначеній меті роботи, ми розглянемо найбільш спільний для цільової групи сектор – автомобілебудування. Розділимо причинно-наслідкові зв'язки у окремих групах, які відповідають різним причинам як механізмам зростання сектору.

До першої групи причин, пов'язаних з інституційними та економічними стимулами, належать активна державна підтримка, податкові пільги та сприятливий інвестиційний клімат. У Литві та Болгарії розвиток автомобілебудівного сектору став можливим завдяки створенню вільних економічних зон, які забезпечують інвесторам значні податкові переваги. Крім

того, Литва змогла залучити ключових німецьких виробників, таких як Continental і Hella, завдяки цілеспрямованій політиці щодо стимулювання високотехнологічного виробництва. Болгарія, у свою чергу, демонструє зростання завдяки інтенсифікації іноземних інвестицій, особливо зі США, що супроводжувалося зростанням кількості висококваліфікованих інженерів. Така політика може залучити інвесторів до вкладень у виготовлення більш виробничо складних класифікаційних груп товарів, зокрема, автомобілебудування. [18]

Другу групу становлять країни, що зробили ставку на вигідне географічне розташування та інфраструктурну інтеграцію у виробничі ланцюги ЄС. Так, Румунія, Боснія і Герцеговина та Туреччина активно інтегрувались у європейські ланцюги поставок, що зумовило зростання експорту автозапчастин та готових автомобілів. Румунія, зокрема, завдяки розгалуженій транспортній мережі та відносно низьким витратам на робочу силу стала важливим логістичним центром. Туреччина ж, маючи великі обсяги виробництва і наявність потужної виробничої бази, утвердилась як важливий постачальник для провідних автомобільних брендів, зокрема в регіоні Мармар. Ця причина напряду не стосується теорії економічної складності, але у контексті українського тренду євроінтеграції може стати однією з візійних точок відправки у стратегії. [4][5][26][31]

Третя група охоплює країни з акцентом на інноваційність і цифрову трансформацію галузі, що напряду стосується розширенню знаннєвих мереж та сприяє зростанню економічної складності галузі. Прикладом тут є Естонія та Латвія, де розвиток автомобілебудування відбувався в контексті загального економічного зростання, посиленого цифровими інноваціями та прагненням до скорочення викидів. Естонська політика у сфері транспорту демонструє орієнтацію на стале виробництво та впровадження сучасних технологій, що у свою чергу стимулювало зростання виробництва автокомпонентів із високою доданою вартістю. Це наглядно демонструє висновки з роботи Й. Ромеро та К. Грамкова «Economic complexity and greenhouse gas emissions»: виробництво

більш складних товарів пов'язане з нижчою інтенсивністю викидів через більш «зелені» типи технологій, що використовуються у виробництві таких товарів, та їхню високу додану вартість. [7][22][25]

Україна мала інші тенденції у той самий період. Більшість секторів української економіки мали спадну тенденцію. Навпаки до країн цільової групи, найбільшого спаду зазнали авто- (-61%) та машинобудування (-50%), найбільше зростання відбулось у виробництві електроніки (31%) та текстилю (39%). Можна зазначити, що Україна досить протилежні тенденції у порівнянні з країнами цільової групи, про що свідчить Таблиця 3.4., створена в аналітичних цілях з результатів дослідження у Таблиці 3.3.

Таблиця 2.4.

Sector	Україна	Країни цільової групи
Vehicles	спад	зростання
Textiles	зростання	утримання
Stone	зростання	зростання
Minerals	спад	утримання
Metals	спад	зростання
Machinery	спад	зростання
Electronics	зростання	утримання
Chemicals	спад	утримання
Agriculture	спад	спад

Виходячи з результатів аналізу причинно-наслідкових зв'язків у розвитку країн цільової групи, рекомендацією є:

1. Створення комфортного податкового клімату для інвесторів, з метою залучення капіталовкладень у недостатньо поширені високотехнологічні (таким чином, більш виробничо складні), з метою як горизонтального розширення секторів, що уже існують та мають високий рівень виявлених порівняльних переваг (сільське господарство, видобування мінералів), так і з метою появи і становлення більш секторів з більш високим середнім показником

складності виробництва, такими як автомобілебудування, машинобудування, виробництво електроніки та інші.

2. Умотивування політичної волі до впровадження «зелених» політик, які зможуть посприяти розвитку «зеленим» технологіям, і, відповідно до досліджень, призведуть до розвитку знанневих мереж у розрізі складних секторів економіки.

3.4. Серія економетричних моделей для оцінки залежності економічного зростання від рівня економічної складності

У рамках дослідження впливу індексу економічної складності на ВВП на душу населення ми застосували модель лінійної регресії. Щоб провести більш комплексний аналіз, було створено та проаналізовано по одній моделі для всіх країн на кожен рік у наборі років.

Для дослідження було взято показники країн усього світу за проміжок часу від 1995-го року по 2021-ий. У дослідження не було включено деякі країни через а. відсутність показників економічної складності або б. відсутність цих країн в даних про внутрішній валовий продукт у деякі періоди або зовсім.

Дані про щорічне зростання ВВП на душу населення (далі – GDPpC_growth), показник ECI (далі – ECI) щорічно (1995-2021 pp.) по країнам взято за сайту The World Bank [32], показник індексу економічної складності (далі – ECI) щорічно (1995-2021 pp.) по країнам взято з сайту Growth Lab [8].

За допомогою програмного продукту Google Colab мовою python (див. Додаток Ж) дані з двох таблиць було очищено та консолідовано у одну таблицю (див. Таблиця 3.5). У таблиці представлені усі можливі комбінації для зростання ВВП на душу населення та ECI по країнам та рокам.

Таблиця 3.5.

Year	Country	GDPpC_growth	ECI
1995	Angola	11.278422	-2.053099
1996	Angola	9.825458	-2.314454
1997	Angola	3.755519	-1.800252
1998	Angola	1.313926	-1.856619
1999	Angola	-1.062725	-1.673034
...
2017	Zimbabwe	1.974846	-1.101034
2018	Zimbabwe	2.909395	-1.071621
2019	Zimbabwe	-8.17732	-0.84022
2020	Zimbabwe	-9.670405	-0.857468
2021	Zimbabwe	6.271613	-1.006629

Наступним кроком було створено однофакторні моделі лінійної регресії, де незалежною змінною виступали показники ECI за вказаний період років, а залежною – щорічне зростання ВВП на душу населення. Далі було застосовано метод найменших квадратів, для того щоб визначити адекватність створених моделей, а також було визначено коефіцієнт нахилу прямої лінійної регресії. З урахуванням нашої гіпотези, що ECI позитивно впливає на зростання ВВП на душу населення, рішення про адекватність моделі приймалось на основі двох умов: 1. p -value методу найменших квадратів $p - value < 0.05$ (за якого ми відкидаємо нульову гіпотезу і вважаємо, що модель пояснює частину варіації залежної змінної), та 2. коефіцієнт нахилу більший за нуль.

З Таблиці 3.6. бачимо, що з 27-ми побудованих моделей маємо 23 моделі, які є адекватними у відповідності до першої умови, 17 моделей – адекватні за другої умови, і загалом 15 моделей – адекватні у відповідності до усіх умов. Також необхідно відзначити, що у більшості випадків моделі були неадекватні у період світових економічних криз: Світової рецесії (Dot-com bubble burst) 2000-2001 рр., Глобальної фінансової кризи (Великої рецесії) 2007-2009 рр., Європейської (єврозонної) боргової кризи 2009–2012 рр., рецесії через COVID-19 у 2020-му році.

Таблиця 3.6.

year	p-val and model	p-value < .05	coef > 0	Adequate
1995	p-val = 0.00. GDP growth = 0.23 * ECI + 2.28	+	+	+
1996	p-val = 0.00. GDP growth = -0.01 * ECI + 3.65	+		
1997	p-val = 0.04. GDP growth = 0.99 * ECI + 2.69	+	+	+
1998	p-val = 0.03. GDP growth = 0.66 * ECI + 1.98	+	+	+
1999	p-val = 0.02. GDP growth = 0.52 * ECI + 1.94	+	+	+
2000	p-val = 0.11. GDP growth = 1.11 * ECI + 2.84		+	
2001	p-val = 0.00. GDP growth = 0.04 * ECI + 2.07	+	+	+
2002	p-val = 0.00. GDP growth = 0.04 * ECI + 2.12	+	+	+
2003	p-val = 0.00. GDP growth = -0.32 * ECI + 3.13	+		
2004	p-val = 0.00. GDP growth = 0.01 * ECI + 4.41	+	+	+
2005	p-val = 0.02. GDP growth = -0.55 * ECI + 4.19	+		
2006	p-val = 0.01. GDP growth = -0.32 * ECI + 4.84	+		
2007	p-val = 0.00. GDP growth = 0.03 * ECI + 4.43	+	+	+
2008	p-val = 0.02. GDP growth = -0.55 * ECI + 2.38	+		
2009	p-val = 0.14. GDP growth = -2.03 * ECI - 1.61			
2010	p-val = 0.01. GDP growth = -0.42 * ECI + 3.38	+		
2011	p-val = 0.00. GDP growth = 0.29 * ECI + 2.67	+	+	+
2012	p-val = 0.12. GDP growth = -3.31 * ECI + 3.05			
2013	p-val = 0.02. GDP growth = -0.51 * ECI + 1.97	+		
2014	p-val = 0.00. GDP growth = -0.02 * ECI + 1.92	+		
2015	p-val = 0.01. GDP growth = 0.35 * ECI + 1.89	+	+	+
2016	p-val = 0.01. GDP growth = 0.31 * ECI + 1.68	+	+	+
2017	p-val = 0.01. GDP growth = 0.29 * ECI + 2.61	+	+	+
2018	p-val = 0.04. GDP growth = 0.49 * ECI + 2.26	+	+	+
2019	p-val = 0.03. GDP growth = 0.47 * ECI + 1.48	+	+	+
2020	p-val = 0.00. GDP growth = 0.16 * ECI - 5.37	+	+	+
2021	p-val = 0.07. GDP growth = 1.26 * ECI + 5.27		+	

3.5 Тест на причинність за Гренджером

Останнім дослідженням, яке було проведено, було виявлення причинності за Гренджером. Тест причинності Грейнджера – це статистичний метод, який оцінює, чи може один часовий ряд (у нашому випадку індекс економічної складності), передбачити інший часовий ряд (у нашому випадку щорічне зростання ВВП на душу населення) на основі лагів («lag» – часовий зсув). Таким чином, часовий ряд ЕСІ буде зміщуватись на від 1-го до 7-ми років назад, щоб

перевірити, чи можемо ми прийняти або відкинути гіпотезу про те, чи є ЕСІ причиною за Гренджером для приросту ВВП на душу населення.

Тестування причинності за Гренджером передбачає використання F-тестів для перевірки того, чи надають дані з відставанням, тобто лагом, зі зміною незалежної змінної будь-яку статистично значущу інформацію про залежну змінну (з рівнем точності 0.05). Якщо ні, то гіпотеза буде відхилена і буде констатовано, що «ЕСІ не є причиною приросту ВВП на душу населення за Гренджером».

Для дослідження було взято показники України за проміжок часу від 1995-го року по 2021-ий. Дані про щорічне зростання ВВП на душу населення (далі – GDPpC_growth), показник ЕСІ (далі – ЕСІ) щорічно (1995-2021 рр.) взято за сайту The World Bank [32], показник індексу економічної складності (далі – ЕСІ) щорічно (1995-2021 рр.) взято з сайту Growth Lab [8].

За допомогою програмного продукту Google Colab мовою python (див. Додаток Ж) дані було консолідовано та очищено для використання тесту на причинність за Гренджером. За допомогою програмної функції було створено Таблицю 3.7.

Таблиця 3.7.

	GDP_growth_x	ECI_x
GDP_growth_y	1.0000	0.0001
ECI_y	0.0563	1.0000

Інтерпретація результатів за результатами F-тестів показала, що p-value для ЕСІ як причини для зростання ВВП на душу населення за Гренджером підтверджує нульову гіпотезу, оскільки 0.0001 менше за 0.05, який ми обрали за мірило точності. Така закономірність була виявлена на зсуві ЕСІ на 7 років. У свою чергу, тест показав, що зворотну гіпотезу про «ВВП на душу є причиною для зміни ЕСІ за Гренджером», можна відхилити, оскільки p-value, який дорівнює 0.0563, є більшим за критичне значення.

3.6. Висновки до Розділу III

За допомогою програмного продукту Google Colab мовою python було застосовано метод кластеризації k-means для визначення групи (кластеру) країн, в якому знаходилась Україна за показниками ВВП на душу населення (кількісним та приростом) та ЕСІ усереднено за період 2000-2010-х рр., а також аналогічну групу за період 2011-2021-х рр. Шляхом застосування методів науки про дані виявлено, що для обох періодів найкращою кількістю груп є 4. У результаті дослідження було виявлено, що протягом 2000-2010-х років Україна перебувала у одному кластері з такими країнами, як Азербайджан, білорусь, Кіпр, Греція, Казахстан, Киргизстан, Північна Македонія, Португалія, росія, а протягом 2011-2021-х років – білорусь, Боснія і Герцеговина, Болгарія, Естонія, Киргизстан, Латвія, Литва, Молдова, Північна Македонія, Румунія, росія, Туреччина, Узбекистан.

На основі дослідження у пункті 1 було також проведено порівняльну характеристику між країнами, які перебували у групах з Україною за наведеними вище показниками. Метою порівняння було визначення причин переходу країн за наведеними вище показниками з кластеру з Україною 2000-2010-х років до кластерів з вищими показниками у 2011-2021-х рр. Група таких країн складалась з Боснії і Герцеговина, Болгарії, Естонії, Латвії, Литви, Румунії, та Туреччини.

Основною тенденцією для України є зміщення в рейтингу серед цієї групи країн з лідерської позиції у «дно» рейтингу, причому найбільше зниження відбулось у період 2005-2010 рр. Більшість найбільш експортованих продуктів (де $RCA > 5$) країн цільової групи знаходяться в рамках від -1 до 1,5 за індексом складності продукту. Україна має дещо інші рамки вибірки для групи продуктів з тим же рівнем індексу виявлених переваг: від -2 до 1 за РСІ, причому топ-5 продуктів – біля позначки -1, що свідчить про те, що найбільш експортовані

Україною продукти є досить нескладними у виробництві з точки зору теорії економічної складності. Досить схожий характер має експорт Туреччини.

Результатами порівняльного аналізу було виявлено, що Україна має протилежні тенденції розвитку: у вітчизняній економіці набирають розвитку сектори менш виробничо складні продукти (виробництво текстилю, видобування порід), і спадають сектори, де продукти мають більшу складність виробництва (машино- та автобудування, виробництво металів та ін.).

За допомогою програмного продукту Google Colab мовою python було створено серію однофакторних лінійних регресійних моделей для кожного року у межах 1995-2021 рр. для виявлення закономірностей між показником приростом ВВП на душу населення та показниками ЕСІ для країн світу. Було виявлено, що з 27-ми моделей 15 виявились повністю адекватними з економетричної точки зору. Більшість з «неадекватних» моделей були створені для даних тих років, коли у світі відбувались масштабні кризи, такі як Світова рецесія, Глобальна фінансова криза, Європейська боргова криза, рецесія через COVID-19.

Останнім технічним дослідженням було перевірити чи можна відкинути гіпотезу про причинно-наслідкові зв'язки між показником економічної складності та приростом ВВП на душу населення. Для цього було обрано тест на причинність за Гренджером. За допомогою програмного продукту Google Colab мовою python було застосовано тест причинності за Гренджером і виявлено, що ЕСІ є причиною за Гренджером для приросту ВВП на душу населення. Часовим зсувом такої причинної залежності було зафіксовано 7 років.

Таким чином, застосовані математичні методи та результати їх виконання переконливо доводять, що теорія економічної складності має високий потенціал для проведення досліджень у тому числі й в рамках українського національного моніторингу.

ВИСНОВКИ

У першому розділі цієї роботи було проаналізовано фундаментальні засади та сучасні напрями розвитку теорії економічної складності. На основі праць Рікардо Хаусмана, Сезара Ідальго та інших провідних дослідників було встановлено, що економічна складність визначається як рівень виробничих знань і технологічних можливостей, закладених у структурі економіки країни, що проявляється через різноманітність, технологічну складність і взаємозалежність товарів і послуг, які вона виробляє та експортує, а також характеризується взаємодією окремих суб'єктів економічної системи, які адаптують свої стратегії у відповідь на спільно створювані економічні результати. Важливими елементами концепції, які було описано та проаналізовано, є поняття продуктового простору і знаннєвої економіки.

Було відзначено, що високий рівень економічної складності є необхідною умовою стабільного економічного розвитку, оскільки забезпечує виробництво продукції з високою доданою вартістю та сприяє ефективнішому використанню ресурсів. Роботи авторів теорії доводять, що країни, які розвивають диверсифіковані і технологічно складні виробничі структури, демонструють стійкіші темпи економічного зростання та меншу чутливість до економічних криз, що може бути принагідно до післявоєнного відновлення України.

Сучасні дослідження значно розширили сферу застосування теорії економічної складності, інтегруючи її з питаннями соціальної нерівності. Зокрема, праці Д. Гартманна, М. Гевари та інших авторів підтвердили, що високий рівень економічної складності сприяє зменшенню соціальної нерівності через більш ефективний розподіл доходів, зумовлений розвитком складних виробничих секторів. Також важливим напрямом стали дослідження, які пов'язують економічну складність із «зеленою економікою». Роботи Й. Ромеро,

К. Грамкова та інших авторів довели, що країни з більш високою складністю виробництва демонструють нижчі показники викидів парникових газів, що пов'язано із застосуванням технологій, які мають менший негативний вплив на довкілля.

В українському академічному дискурсі теорія економічної складності знаходиться на початкових стадіях розвитку. Праці українських дослідників, таких як А. Зубрицький та В. Галасюк, свідчать про різні підходи до економічної політики. Зубрицький акцентує увагу на необхідності поступового розвитку вже існуючих галузей, тоді як Галасюк наголошує на пріоритеті структурної трансформації економіки України у напрямку розвитку високотехнологічних галузей для забезпечення довгострокової стабільності та конкурентоспроможності на глобальному ринку.

У другому розділі було розглянуто 4 базових індекси, які застосовуються для прогнозування та оцінки економічного зростання та супутніх економічних показників: індекс виявлених порівняльних переваг, індекс складності виробництва, індекс економічної складності, індекс прогнозу економічної складності.

У роботі розглядається стан української економіки з призми теорії економічної складності. За останні 10 років українська економіка переживає загалом негативний тренд за усіма показниками. Кількість продуктів з високим експортним значенням для світу зменшилась (за виявленими порівняльними перевагами, RCA), розвиваються сектори з більш простим рівнем складності виробництва (такими, як сільське господарство). Найбільш експортовані продукти є продуктами сектору сільського господарства, сектору виробництва металів (хоч і з суттєвим падінням експорту в цій галузі після початку повномасштабного вторгнення), секторі видобування мінералів, та секторі виробництва хімічних речовин. Сільське господарство та видобування мінералів – одні з найпростіших у виробництві за середнім показником складності продуктів за секторами. У період з 2016-го по 2021-ий по всім наведеним

секторам Україна зазнала суттєвого зменшення експортної переваги у порівнянні з іншими національними економіками (у процентному відношенні: сільське господарство -18%, виробництво металів -18%, виробництво хімічних речовин -23%, видобування мінералів -26%).

Тим не менше, протягом 2016-2021-х років в Україні окрім виробництва окремих позицій сільськогосподарської продукції посилилось виробництво деяких продуктів із секторів виробництва металів, текстилю, а також машинобудування. Також з'являються більш складні у виробництві продукти з секторів виробництва хімічних речовин та виробництва металів. Помітно зростають такі сектори, як виготовлення електроніки та текстилю (+31% та +39% відповідно), утім, експортна перевага цих секторів поки залишається на досить низькому рівні.

Показник економічної складності невпинно зменшується внаслідок, як було зазначено, превалювання простіших у виробництві продуктів сільського господарства, видобування мінералів та розвитку виробництва текстилю, при незначному зростанні виробництва складніших секторів – машинобудування, виробництва електроніки, металів, хімічних речовин. За період 2000-2021-х років Україна змістилась на 15 сходинок у рейтингу за ЕСІ – з 34 місця (ЕСІ = 0,62) на 49 місце (ЕСІ = 0,32).

Відносно песимістичний характер прогнозу по зростанню економічної складності свідчить про те, що Україна з часом втрачає сильно диверсифіковані потужності і знаннєві мережі, які мала у 1990-х та 2000-х роках, і з часом її економіці буде складніше відновлювати як економічну складність, так і зростання економіки. Разом із тим, ЕСОІ української економіки є досить високим відносно інших країн, що показує, що відновлення за сприятливих економічних умов та політичної волі може бути стрімким.

У ході третьої, практичної частини було проведено кластеризацію k-means для визначення кластерів країн, в якому знаходилась Україна за показниками ВВП та ЕСІ усереднено за періоди 2000-2010 та 2011-2021 років. За результатами

кластеризації було виокремлено країни, які входили до кластерів з Україною у періоди 2000-2010 років та/або 2011-2021 років.

На основі результатів кластеризації було проведено порівняльну характеристику між країнами, які перебували у групах з Україною у 2000-2010 роках, але через покращення показника ЕСІ вийшли з кластеру в 2011-2021 роках. До цієї цільової групи увійшли Болгарія, Боснія та Герцеговина, Естонія, Латвія, Литва, Румунія, та Туреччина. Було виявлено, що Україна має протилежні тенденції розвитку ніж цільова група: у вітчизняній економіці набирають розвитку сектори менш виробничо складні, і спадають сектори, де продукти мають більшу складність виробництва. Виходячи з результатів аналізу причинно-наслідкових зв'язків у розвитку країн цільової групи, було сформовано рекомендації як 1. створення комфортного податкового клімату для інвесторів, з метою залучення капіталовкладень у недостатньо поширені високотехнологічні, з метою як горизонтального розширення секторів, що уже існують та мають високий рівень виявлених порівняльних переваг, так і з метою появи і становлення більш секторів з більш високим середнім показником складності виробництва та 2. впровадження «зелених» політик, які зможуть посприяти розвитку «зеленим» технологіям, і, відповідно до досліджень, призведуть до розвитку знаннєвих мереж у розрізі складних секторів економіки.

Було виявлено, що достатня кількість лінійних однофакторних регресійних моделі повністю придатними для аналізу впливу індексу економічної складності на ВВП на душу населення. Виключенням стали моделі, рік даних яких був у період масштабних світових криз.

За допомогою програмного продукту Google Colab мовою python було застосовано тест причинності за Гренджером і виявлено, що не можна відкинути гіпотезу, що ЕСІ є причиною за Гренджером для приросту ВВП на душу населення. Часовим зсувом такої причинної залежності було зафіксовано 7 років.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

Сукупна здатність економічної складності передбачати економічне зростання, скорочення нерівності та екологічну стійкість позиціонує його як ціль, досягнення якої мало би стати першим пріоритетом для українських політиків, які прагнуть сприяти повоєнному відновленню в Україні. Автори «The Atlas of Economic Complexity» [11] наголошують, що «країни, показник ЕСІ є більшим, ніж ми очікували б, враховуючи їх поточний рівень доходу, як правило, розвиваються швидше, ніж ті, які є «надто багатими» для їх поточного рівня складності економіки», що разом із фактом відносно «посереднього» показника індексу дає нам високі надії на можливість «економічного дива України» у майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Albeaik S., Kaltenberg M., Alsaleh M., Hidalgo C. A. Improving the Economic Complexity Index [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1707.05826>
2. Arthur W. B. Complexity and the Economy // Handbook Chapter. – 2009. – DOI: <https://doi.org/10.4337/9781781952665.00007>
3. Balassa B. Trade liberalization and ‘revealed’ comparative advantage // The Manchester School of Economic and Social Studies. – 1965. – Vol. 32. – P. 99–123.
4. Blue Europe. Romania: An Emerging Automotive Hub in Europe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.blue-europe.eu/analysis-en/short-analysis/romania-an-emerging-automotive-hub-in-europe/>
5. Darteyre B., Guga S. The future of the European automobile industry: Poland and Romania. – Brussels: ETUI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.etui.org/sites/default/files/2022-08/The%20future%20of%20the%20European%20automobile%20industry%20Poland%20and%20Romania%20-%20Darteyre%20%26%20Guga.pdf>
6. Direction of trade statistics [Електронний ресурс]. – МВФ. – Режим доступу: <https://data.imf.org/?sk=9d6028d4-f14a-464c-a2f2-59b2cd424b85>
7. European Commission. Country Report: Estonia 2023 // Directorate-General for Economic and Financial Affairs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://economy-finance.ec.europa.eu/system/files/2023-06/ip230_en.pdf

8. Growth Lab. Country & Product Complexity Rankings // Harvard Kennedy School. [Електронний ресурс]. – Від 21 березня 2024 року. – Режим доступу: <https://atlas.cid.harvard.edu/rankings>
9. Hartmann D., Guevara M. Linking economic complexity, institutions, and income inequality // World development 93. – 2017. – 75-93.
10. Hausmann R., Ahuja K. A more globally-minded European green industrial policy // In: Tagliapietra S., Veugelers R. (eds.) Sparking Europe's new industrial revolution. – Bruegel, 2023. – С. 152–164.
11. Hausmann R., Hidalgo C. A., Bustos S. та ін. The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity. – Cambridge: MIT Press, 2013. – ISBN 978-0-262-52542-8.
12. Hausmann R., Hwang J., Rodrik D. What You Export Matters [Електронний ресурс] // CID Working Paper No. 123. – December, 2005. – Режим доступу: http://www.hks.harvard.edu/var/ezp_site/storage/fckeditor/file/pdfs/centersprograms/centers/cid/publications/faculty/wp/123.pdf
13. Hidalgo C. A. Economic complexity theory and applications // Nature Reviews Physics. – 2021. – Vol. 3. – P. 92–113. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s42254-020-00275-1>
14. Hidalgo C. A., Hausmann R. The building blocks of economic complexity // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2009. – Vol. 106, No. 26. – P. 10570–10575. – <https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106>
15. Hidalgo C. A., Hausmann R. A network view of economic development // Developing alternatives. – 2008. – Vol. 12, No 1.
16. Hidalgo C. A., Klinger B., Barabási A.-L., Hausmann R. The Product Space Conditions the Development of Nations // Science. – 2007. – Vol. 317.
17. Innovation Policies Under Economic Complexity [Електронний ресурс] // WIPO. – Режим доступу: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-econstat-wp-79-en-innovation-policies-under-economic-complexity.pdf>

18. Investment Monitor. US FDI in Bulgaria grew by over 23% between 2016 and 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.investmentmonitor.ai/news/us-fdi-in-bulgaria-grew-by-over-23-between-2016-and-2021/>
19. Laverde-Rojas H., Guevara-Fletcher D. A., Camacho-Murillo A. Economic growth, economic complexity, and carbon dioxide emissions: The case of Colombia // Heliyon. – 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07188>
20. Lopes J. C., Dias J., Amaral J. F. Assessing economic complexity as interindustry connectedness in nine OECD countries // International Review of Applied Economics. – 2012. – Vol. 26, No. 6. – P. 811–827. – <https://doi.org/10.1080/02692171.2012.665852>
21. Mealy P., Teytelboym A. Economic complexity and the green economy // Research Policy. – 2022. – Vol. 51, No. 8. – Article 103948. – <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>
22. Ministry of Economics of Latvia. Report on the Competitiveness of Latvia's Economy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.em.gov.lv/en/media/19125/download>
23. Orr R. Winning the Peace: An American Strategy for Post-Conflict Reconstruction. Washington D.C. : The CSIS Press, 2004.
24. Product space // Harvard Kennedy School. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://atlas.hks.harvard.edu/explore/productspace?exporter=country-804&importer=group-1&colorBy=sector&year=2021>
25. Romero J. P., Gramkow C. Economic complexity and greenhouse gas emissions // World Development. – 2021. – Vol. 139. – Article 105317. – <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105317>
26. See-industry.com. Automotive industry in Bosnia and Herzegovina [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.see-industry.com/en/automotive-industry-in-bosnia-herzegovina/2/2050/>

27. The new paradigm of economic complexity [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733321002420>
28. Trade Map [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.trademap.org/Product_SelCountry_TS.aspx?nvpm=1%7c804%7c%7c%7c%7cTOTAL%7c%7c%7c2%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c1%7c1%7c1%7c1
29. UN comtrade database [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://comtradeplus.un.org/>
30. United Nations Industrial Development Organization. Industrial Development Report 2020. Industrializing in the digital age. Vienna. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2023-03/UNIDO-IDR2020-main-report-en.pdf>
31. UNDP Turkey. Automotive Sector Analysis in Turkey (TR33 region) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/tr/otomotiv-tr33_eng.pdf
32. World Bank. GDP growth // National accounts data, OECD [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://api.worldbank.org/v2/en/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?downloadformat=csv>
33. Бажал Ю. М. Знаннєва економіка: теорія і державна політика // Економіка і прогнозування. – 2003. – № 3. – С. 71–86.
34. Галасюк В. В. Структурна трансформація економіки України як передумова євроінтеграції та прискореного економічного розвитку // Вчені записки. – 2019. – С. 164–175.
35. Зубрицький А. І. Експортний потенціал України у контексті порівняльних переваг // Економіка і прогнозування. – 2015. – № 1. – С. 140–154.

36. ТЕНДЕНЦІЇ ЗОВНІШНЬОЇ ТОРГІВЛІ ТОВАРАМИ УКРАЇНИ ЗА ПІДСУМКАМИ 2021 РОКУ [Електронний ресурс] // NISS. – Режим доступу: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2022-02/zovnishnya-torgivlya-tovaramy-ukrainy-za-2021-rik.pdf>

ДОДАТКИ

Додаток А

Графік, на якому відображене ранжування оцінки RCA по продуктам експорту України у 2021 році. Джерело – розробка автора, дані – Growth Lab, Harvard.

Name	Sector	Code	RCA	PCI
Sunflower seed oil	Agriculture	1512	108.0	-0.97
Pig iron	Metals	7201	65.3	-1.04
Clays	Minerals	2508	41.0	-0.65
Solid vegetable oil and fat residues	Agriculture	2306	39.4	-1.08
Barley	Agriculture	1003	34.6	-0.16
Corn	Agriculture	1005	31.5	-0.94
Rape or colza seeds	Agriculture	1205	31.0	0.22
Semifinished products of iron or nonalloy steel	Metals	7207	27.2	-0.65
Wheat and meslin	Agriculture	1001	26.1	-0.17
Kaolin	Minerals	2507	20.4	0.37
Sheets for veneering for plywood	Agriculture	4408	16.6	-0.83
Titanium ore	Minerals	2614	15.9	-2.14
Honey	Agriculture	409	15.7	-1.08
Flat-rolled iron, width > 600mm, hot-rolled, not clad	Metals	7208	14.2	0.73
Aluminum oxide	Chemicals	2818	12.2	-1.08
Wallpaper	Agriculture	4814	12.0	0.41
Cereal residues	Agriculture	2302	10.8	-2.23
Hot rolled bars of iron	Metals	7213	9.8	-0.40
Iron ores and concentrates	Minerals	2601	8.9	-1.97
Fruits and nuts, frozen	Agriculture	811	8.7	-0.66
Tubes, seamless, of iron or steel	Metals	7304	8.5	0.49
Wadding of textile materials	Textiles	5601	8.4	-0.11
Flat-rolled iron, width > 600mm, cold-rolled, not clad	Metals	7209	8.2	0.02
Ferroalloys	Metals	7202	8.1	-1.40
Packing boxes	Agriculture	4415	7.6	0.41
Other alloy steel in primary form	Metals	7224	6.8	0.37
Zirconium ore	Minerals	2615	6.7	-2.65
Pitch and pitch coke	Minerals	2708	6.7	0.80
Poultry	Agriculture	207	6.2	0.00

Other bars and rods of stainless steel	Metals	7222	6.1	1.55
Iron and nonalloy steel	Metals	7206	6.1	-0.45
Other bars of iron, not further worked than forged	Metals	7214	5.8	-1.13
Parts of railway locomotives	Vehicles	8607	5.7	0.65
Cigars and cigarettes	Agriculture	2402	5.4	-0.98
Soybean oil	Agriculture	1507	5.4	-1.21
Metal-rolling mills	Machinery	8455	5.2	0.83
Casein	Chemicals	3501	5.1	0.20
Nitrogenous fertilizers	Chemicals	3102	5.1	-1.22
Wire of other alloy steel	Metals	7229	5.1	1.00

Додаток Б

Програмний код мовою python у середовищі «Google Colab», за допомогою якого було очищено агреговано дані «Growth Lab. Country & Product Complexity Rankings» та «World Bank. GDP growth», і застосовано метод кластеризації k-means для періоду 2000-2010-х років.

```
# ----- IMPORTING LIBRARIES -----

import pandas as pd
from tabulate import tabulate
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

from sklearn.cluster import KMeans
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import silhouette_score
from sklearn.metrics import davies_bouldin_score

from yellowbrick.cluster import KElbowVisualizer
import scipy.cluster.hierarchy as shc
from mpl_toolkits import mplot3d

# ----- DATA PREPARATION -----

df_GDP_growth = pd.read_csv("gdp_per_capita_growth.csv",
skiprows=4)
df_GDP = pd.read_csv("gdp_per_capita.csv", skiprows=4)
df_ECI = pd.read_csv("Country Complexity Rankings 1995 - 2021.csv")

df_GDP = df_GDP[["Country Name", "Country Code", "2000", "2001",
"2002", "2003", "2004", "2005", "2006", "2007", "2008", "2009",
"2010"]]
df_GDP_growth = df_GDP_growth[["Country Name", "2000", "2001",
"2002", "2003", "2004", "2005", "2006", "2007", "2008", "2009",
"2010"]]
df_ECI = df_ECI[["Country", 'ECI 1999', 'ECI 2000', 'ECI 2001', 'ECI
2002', 'ECI 2003', 'ECI 2004', 'ECI 2005', 'ECI 2006', 'ECI 2007',
'ECI 2008', 'ECI 2009']]

df_GDP['GDP'] = df_GDP[["2000", "2001", "2002", "2003", "2004",
"2005", "2006", "2007", "2008", "2009", "2010"]].mean(axis=1)
```

```

df_GDP_growth['GDP_growth'] = df_GDP_growth[["2000", "2001",
"2002", "2003", "2004", "2005", "2006", "2007", "2008", "2009",
"2010"]].mean(axis=1)
df_ECI['ECI'] = df_ECI[['ECI 1999', 'ECI 2000', 'ECI 2001', 'ECI
2002', 'ECI 2003', 'ECI 2004', 'ECI 2005', 'ECI 2006', 'ECI 2007',
'ECI 2008', 'ECI 2009']].mean(axis=1)

df_GDP = df_GDP.rename(columns={'Country Name': 'Country', "Country
Code": 'CountryCode'})
df_GDP_growth = df_GDP_growth.rename(columns={'Country Name':
'Country'})

# editing the names in GDP dataset
df_GDP_growth['Country'] =
df_GDP_growth['Country'].replace(['Turkiye'], 'Turkey')
df_GDP_growth['Country'] =
df_GDP_growth['Country'].replace(['Slovak Republic'], 'Slovakia')
df_GDP_growth['Country'] =
df_GDP_growth['Country'].replace(['Russian Federation'], 'Russia')
df_GDP_growth['Country'] =
df_GDP_growth['Country'].replace(['Kyrgyz Republic'], 'Kyrgyzstan')

df_GDP['Country'] = df_GDP['Country'].replace(['Turkiye'],
'Turkey')
df_GDP['Country'] = df_GDP['Country'].replace(['Slovak Republic'],
'Slovakia')
df_GDP['Country'] = df_GDP['Country'].replace(['Russian
Federation'], 'Russia')
df_GDP['Country'] = df_GDP['Country'].replace(['Kyrgyz Republic'],
'Kyrgyzstan')

df_combined = pd.merge(df_ECI, df_GDP_growth, on = "Country", how =
"outer")
df_combined = pd.merge(df_combined, df_GDP, on = "Country", how =
"outer")
df_combined = df_combined.dropna()

df_combined = df_combined[df_combined['CountryCode'].isin(
['ALB', 'AND', 'ARM', 'AUT', 'AZE', 'BLR', 'BEL', 'BIH', 'BGR',
'HRV',
'CYP', 'CZE', 'DNK', 'EST', 'FIN', 'FRA', 'GEO', 'DEU', 'GRC',
'HUN',
'ISL', 'IRL', 'ITA', 'KAZ', 'KGZ', 'TJK', 'TKM', 'UZB', 'XKX',
'LVA',
'LIE', 'LTU', 'LUX', 'MLT', 'MDA', 'MCO', 'MNE', 'NLD', 'MKD',
'NOR',
'POL', 'PRT', 'ROU', 'RUS', 'SMR', 'SRB', 'SVK', 'SVN', 'ESP',
'SWE',
'CHE', 'TUR', 'UKR', 'GBR'])]

# print(tabulate(df_combined, headers='keys', tablefmt='psql'))

```

```

# ----- DATA VISUALIZATION -----

markersize = 100
plt.rcParams["font.family"] = "monospace"
colormap = np.array(
    ['#006d2c', '#66c2a4', '#41ae76', '#238b45']
)

plt.figure(figsize=(10, 7))
plt.scatter(
    df_combined[['ECI']], df_combined[['GDP_growth']],
    s=df_combined.GDP/markersize,
    c='#66c2a4'
)
plt.xlabel("ECI")
plt.ylabel("GDP,%")
plt.title("Europe and Central Asia countries by ECI and GDP per
capita", fontsize=15)
for i, label in enumerate(df_combined.CountryCode):
    plt.annotate(
        label,
        (
            df_combined.ECI.iloc[i]-0.079,
            df_combined.GDP_growth.iloc[i]+0.4
        )
    )
plt.xlabel("average ECI, 1999-2009")
plt.ylabel("average GDP per capita growth, 2000-2010, %")
plt.show()

plt.figure(figsize=(10, 7))
ax = plt.axes(projection = "3d")
ax.scatter3D(
    df_combined[['ECI']],
    df_combined[['GDP_growth']],
    df_combined.GDP/markersize,
    c='#66c2a4',
    s=200, #s=df_combined.GDP/markersize,
    marker="o"
)
ax.set_xlabel("average ECI, 1999-2009")
ax.set_ylabel("average GDP per capita growth, 2000-2010, %")
ax.set_zlabel("average GDP per capita, 2000-2010, hundreds $")
plt.title("Europe and Central Asia countries by ECI and GDP per
capita (growth and amount)", fontsize=15)
plt.show()

```

```

# # ----- PREPARATION FRO CLUSTERING('ELBOW' ANALYSIS) -----

# data standartization
df_combined_scaled = df_combined.copy()
df_combined_scaled[['GDP', 'GDP_growth', 'ECI']] =
StandardScaler().fit_transform(df_combined_scaled[['GDP',
'GDP_growth', 'ECI']])

# counter = range(1, 20)
# combined_score = np.full(
#     shape=39,
#     fill_value=1
# )

# for i in counter:

#     centers = range(2, 25)

#     # Davies Bouldin score
#     def get_kmeans_score(data, center):
#         kmeans_kwargs = {
#             "init": "random",
#             "n_init": 20,
#             "random_state": 1
#         }
#         kmeans = KMeans(n_clusters=center, **kmeans_kwargs)
#         model = kmeans.fit_predict(data)
#         score = davies_bouldin_score(data, model)
#         return score

#     davies_bouldin = []
#     for center in centers:
#         davies_bouldin.append(get_kmeans_score(df_combined_scaled[['GDP',
# 'GDP_growth', 'ECI']], center))

#     # plt.plot(centers, davies_bouldin, linestyle='--');
#     # plt.xlabel('K');
#     # plt.ylabel('Davies Bouldin score');
#     # plt.title('Davies Bouldin score vs. K');
#     # plt.show()

#     # Calinski Harabasz Score
#     model = KMeans()
#     visualizer = KElbowVisualizer(model, k=(2,
25), metric='calinski_harabasz', timings= True)
#     visualizer.fit(df_combined_scaled[['GDP', 'GDP_growth',
'ECI']])
#     visualizer.show()

```

```

#                                     df_scores           =
pd.DataFrame(data=[centers,davies_bouldin,visualizer.k_scores_]).T
#                                     df_scores[[1,2]]       =
StandardScaler().fit_transform(df_scores[[1,2]])
#     df_scores['difference'] = df_scores[1] + df_scores[2]
#     combined_score         = np.add(combined_score,
df_scores.iloc[:,3:].values)

# plt.plot(centers, combined_score, linestyle='--');
# plt.xlabel('K');
# plt.ylabel('Combined coefficient');
# plt.title('Combined coefficient vs. K');
# plt.xticks([2, 3, 4, 5 ,6 ,7 ,8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25])
# plt.show()

# # ----- CLUSTERIZATION -----

kmeans      =      KMeans(init="random",      n_clusters=4,      n_init=10,
random_state=1)
kmeans.fit(df_combined_scaled[['GDP', 'GDP_growth', 'ECI']])
df_combined['Cluster'] = kmeans.labels_

# plt.figure(figsize=(10, 7))
# ax = plt.axes(projection = "3d")
# ax.scatter3D(
#     df_combined[['ECI']],
#     df_combined[['GDP_growth']],
#     df_combined.GDP/markersize,
#     c=colormap[df_combined.Cluster],
#     s=df_combined.GDP/markersize,
#     marker="o"
# )
# ax.set_xlabel("average ECI, 1999-2009")
# ax.set_ylabel("average GDP per capita growth, 2000-2010, %")
# ax.set_zlabel("average GDP per capita, 2000-2010, bil. $")
# plt.title("Clusterization by GDP growth and ECI", fontsize=15)
# plt.show()

plt.figure(figsize=(10, 7))
plt.scatter(
    df_combined[['ECI']],
    df_combined[['GDP_growth']],
    s=df_combined.GDP/markersize,
    c=colormap[df_combined.Cluster],
    marker="o"
)
plt.xlabel("average ECI, 1999-2009")
plt.ylabel("average GDP per capita growth, 2000-2010, %")

```

```

plt.title("Clusters created using k-means method", fontsize=15)
for i, label in enumerate(df_combined.CountryCode):
    plt.annotate(
        label,
        (
            df_combined.ECI.iloc[i]-0.079,
            df_combined.GDP_growth.iloc[i]+0.4
        )
    )
ax = plt.gca()
# ax.set_xlim([-2, 2.5])
# ax.set_ylim([-6, 8])
plt.show()

colormap_ukr = np.full(shape=33,fill_value='lightgray')
ukr_cluster_color = list(df_combined[df_combined['CountryCode'] ==
'UKR']['Cluster'])[0]
colormap_ukr[list(df_combined.loc[df_combined['CountryCode'] ==
'UKR']['Cluster'])[0]] =
colormap[list(df_combined.loc[df_combined['CountryCode'] ==
'UKR']['Cluster'])[0]]

# print(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['Country']))
df_combined.to_excel("output_2000-2010.xlsx")

markersize = 10

minx = np.min(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['ECI'])) - 0.2
maxx = np.max(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['ECI'])) + 0.2
miny = np.min(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['GDP_growth'])) - 0.2
maxy = np.max(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['GDP_growth'])) + 0.2
minz = np.min(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['GDP']))/markersize - 50
maxz = np.max(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['GDP']))/markersize + 50

plt.figure(figsize=(10, 7))
plt.scatter(
    df_combined[['ECI']],
    df_combined[['GDP_growth']],
    s=df_combined.GDP/markersize,
    c=colormap_ukr[df_combined.Cluster]
)
plt.xlabel("average ECI, 1999-2009")
plt.ylabel("average GDP per capita growth, 2000-2010, %")
plt.title("Ukrainian cluster (using k-means method)", fontsize=15)

```

```

for i, label in enumerate(df_combined.CountryCode):
    plt.annotate(
        label,
        (
            df_combined.ECI.iloc[i]-0.02,
            df_combined.GDP_growth.iloc[i]+0.05
        )
    )
ax = plt.gca()
ax.set_xlim([minx, maxx])
ax.set_ylim([miny, maxy])
plt.show()

# plt.figure(figsize=(10, 7))
# ax = plt.axes(projection = "3d")
# ax.scatter3D(
#     df_combined[['ECI']],
#     df_combined[['GDP_growth']],
#     df_combined.GDP/markersize,
#     c=colormap_ukr[df_combined.Cluster],
#     s=200, #s=df_combined.GDP/markersize,
#     marker="o"
# )
# ax.set_xlabel("average ECI, 1999-2009")
# ax.set_ylabel("average GDP per capita growth, 2000-2010, %")
# ax.set_zlabel("average GDP per capita, 2000-2010, tens $")
# plt.title("Ukrainian cluster", fontsize=15)
# ax.set_xlim([minx, maxx])
# ax.set_ylim([miny, maxy])
# ax.set_zlim([minz, maxz])
# plt.show()

```

Додаток В

Програмний код мовою python у середовищі «Google Colab», за допомогою якого було очищено агреговано дані «Growth Lab. Country & Product Complexity Rankings» та «World Bank. GDP growth», і застосовано метод кластеризації k-means для періоду 2011-2021-х років.

```
# ----- IMPORTING LIBRARIES -----

import pandas as pd
from tabulate import tabulate
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

from sklearn.cluster import KMeans
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import silhouette_score
from sklearn.metrics import davies_bouldin_score

from yellowbrick.cluster import KElbowVisualizer
import scipy.cluster.hierarchy as shc
from mpl_toolkits import mplot3d

# ----- DATA PREPARATION -----

df_GDP_growth = pd.read_csv("gdp_per_capita_growth.csv",
skiprows=4)
df_GDP = pd.read_csv("gdp_per_capita.csv", skiprows=4)
df_ECI = pd.read_csv("Country Complexity Rankings 1995 - 2021.csv")

df_GDP = df_GDP[["Country Name", "Country Code", "2011", "2012", "2013", "2014", "2015", "2016", "2017", "2018", "2019", "2020", "2021"]]
df_GDP_growth = df_GDP_growth[["Country Name", "2011", "2012", "2013", "2014", "2015", "2016", "2017", "2018", "2019", "2020", "2021"]]
df_ECI = df_ECI[["Country", 'ECI 2010', 'ECI 2011', 'ECI 2012', 'ECI 2013', 'ECI 2014', 'ECI 2015', 'ECI 2016', 'ECI 2017', 'ECI 2018', 'ECI 2019', 'ECI 2020']]

df_GDP['GDP'] = df_GDP[["2011", "2012", "2013", "2014", "2015", "2016", "2017", "2018", "2019", "2020", "2021"]].mean(axis=1)
```

```

df_GDP_growth['GDP_growth'] =
df_GDP_growth[["2011", "2012", "2013", "2014", "2015", "2016", "2017", "2018", "2019", "2020", "2021"]].mean(axis=1)
df_ECI['ECI'] = df_ECI[['ECI 2010', 'ECI 2011', 'ECI 2012', 'ECI 2013', 'ECI 2014', 'ECI 2015', 'ECI 2016', 'ECI 2017', 'ECI 2018', 'ECI 2019', 'ECI 2020']].mean(axis=1)

df_GDP = df_GDP.rename(columns={'Country Name': 'Country', "Country Code": 'CountryCode'})
df_GDP_growth = df_GDP_growth.rename(columns={'Country Name': 'Country'})

# editing the names in GDP dataset
df_GDP_growth['Country'] =
df_GDP_growth['Country'].replace(['Turkiye'], 'Turkey')
df_GDP_growth['Country'] =
df_GDP_growth['Country'].replace(['Slovak Republic'], 'Slovakia')
df_GDP_growth['Country'] =
df_GDP_growth['Country'].replace(['Russian Federation'], 'Russia')
df_GDP_growth['Country'] =
df_GDP_growth['Country'].replace(['Kyrgyz Republic'], 'Kyrgyzstan')

df_GDP['Country'] = df_GDP['Country'].replace(['Turkiye'], 'Turkey')
df_GDP['Country'] = df_GDP['Country'].replace(['Slovak Republic'], 'Slovakia')
df_GDP['Country'] = df_GDP['Country'].replace(['Russian Federation'], 'Russia')
df_GDP['Country'] = df_GDP['Country'].replace(['Kyrgyz Republic'], 'Kyrgyzstan')

df_combined = pd.merge(df_ECI, df_GDP_growth, on = "Country", how = "outer")
df_combined = pd.merge(df_combined, df_GDP, on = "Country", how = "outer")
df_combined = df_combined.dropna()

df_combined = df_combined[df_combined['CountryCode'].isin(['ALB', 'AND', 'ARM', 'AUT', 'AZE', 'BLR', 'BEL', 'BIH', 'BGR', 'HRV', 'CYP', 'CZE', 'DNK', 'EST', 'FIN', 'FRA', 'GEO', 'DEU', 'GRC', 'HUN', 'ISL', 'IRL', 'ITA', 'KAZ', 'KGZ', 'TJK', 'TKM', 'UZB', 'XKX', 'LVA', 'LIE', 'LTU', 'LUX', 'MLT', 'MDA', 'MCO', 'MNE', 'NLD', 'MKD', 'NOR', 'POL', 'PRT', 'ROU', 'RUS', 'SMR', 'SRB', 'SVK', 'SVN', 'ESP', 'SWE', 'CHE', 'TUR', 'UKR', 'GBR'])]

# print(tabulate(df_combined, headers='keys', tablefmt='psql'))

```

```

# ----- DATA VISUALIZATION -----

markersize = 100
plt.rcParams["font.family"] = "monospace"
colormap = np.array(
    ['#253494', '#41b6c4', '#1d91c0', '#225ea8']
)

plt.figure(figsize=(10, 7))
plt.scatter(
    df_combined[['ECI']], df_combined[['GDP_growth']],
    s=df_combined.GDP/markersize,
    c='#1d91c0'
)
plt.xlabel("ECI")
plt.ylabel("GDP,%")
plt.title("Europe and Central Asia countries by ECI and GDP per
capita", fontsize=15)
for i, label in enumerate(df_combined.CountryCode):
    plt.annotate(
        label,
        (
            df_combined.ECI.iloc[i]-0.079,
            df_combined.GDP_growth.iloc[i]+0.4
        )
    )
plt.xlabel("average ECI, 2010-2020")
plt.ylabel("average GDP per capita growth, 2011-2021, %")
plt.show()

plt.figure(figsize=(10, 7))
ax = plt.axes(projection = "3d")
ax.scatter3D(
    df_combined[['ECI']],
    df_combined[['GDP_growth']],
    df_combined.GDP/markersize,
    c='#1d91c0',
    s=200, #s=df_combined.GDP/markersize,
    marker="o"
)
ax.set_xlabel("average ECI, 2010-2020")
ax.set_ylabel("average GDP per capita growth, 2011-2021, %")
ax.set_zlabel("average GDP per capita, 2011-2021, hundreds $")
plt.title("Europe and Central Asia countries by ECI and GDP per
capita (growth and amount)", fontsize=15)
plt.show()

```

```

# # ----- PREPARATION FRO CLUSTERING('ELBOW' ANALYSIS) -----

# data standartization
df_combined_scaled = df_combined.copy()
df_combined_scaled[['GDP', 'GDP_growth', 'ECI']] =
StandardScaler().fit_transform(df_combined_scaled[['GDP',
'GDP_growth', 'ECI']])

# counter = range(1, 10)
# combined_score = np.full(
#     shape=39,
#     fill_value=1
# )

# for i in counter:

#     centers = range(2, 25)

#     # Davies Bouldin score
#     def get_kmeans_score(data, center):
#         kmeans_kwargs = {
#             "init": "random",
#             "n_init": 20,
#             "random_state": 1
#         }
#         kmeans = KMeans(n_clusters=center, **kmeans_kwargs)
#         model = kmeans.fit_predict(data)
#         score = davies_bouldin_score(data, model)
#         return score

#     davies_bouldin = []
#     for center in centers:
#         davies_bouldin.append(get_kmeans_score(df_combined_scaled[['GDP',
# 'GDP_growth', 'ECI']], center))

#     # plt.plot(centers, davies_bouldin, linestyle='--');
#     # plt.xlabel('K');
#     # plt.ylabel('Davies Bouldin score');
#     # plt.title('Davies Bouldin score vs. K');
#     # plt.show()

#     # Calinski Harabasz Score
#     model = KMeans()
#     visualizer = KElbowVisualizer(model, k=(2,
25), metric='calinski_harabasz', timings= True)
#     visualizer.fit(df_combined_scaled[['GDP', 'GDP_growth',
'ECI']])
#     visualizer.show()

```

```

#                                     df_scores           =
pd.DataFrame(data=[centers,davies_bouldin,visualizer.k_scores_]).T
#                                     df_scores[[1,2]]       =
StandardScaler().fit_transform(df_scores[[1,2]])
#     df_scores['difference'] = df_scores[1] + df_scores[2]
#     combined_score         = np.add(combined_score,
df_scores.iloc[:,3:].values)

# plt.plot(centers, combined_score, linestyle='--');
# plt.xlabel('K');
# plt.ylabel('Combined coefficient');
# plt.title('Combined coefficient vs. K');
# plt.xticks([2, 3, 4, 5 ,6 ,7 ,8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,
17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25])
# plt.show()

# # ----- CLUSTERIZATION -----

kmeans      =      KMeans(init="random",      n_clusters=4,      n_init=10,
random_state=1)
kmeans.fit(df_combined_scaled[['GDP', 'GDP_growth', 'ECI']])
df_combined['Cluster'] = kmeans.labels_

print(df_combined[['Country', 'Cluster']])

# plt.figure(figsize=(10, 7))
# ax = plt.axes(projection = "3d")
# ax.scatter3D(
#     df_combined[['ECI']],
#     df_combined[['GDP_growth']],
#     df_combined.GDP/markersize,
#     c=colormap[df_combined.Cluster],
#     s=df_combined.GDP/markersize,
#     marker="o"
# )
# ax.set_xlabel("average ECI, 2010-2020")
# ax.set_ylabel("average GDP per capita growth, 2011-2021, %")
# ax.set_zlabel("average GDP per capita, 2011-2021, bil. $")
# plt.title("Clusterization by GDP growth and ECI", fontsize=15)
# plt.show()

plt.figure(figsize=(10, 7))
plt.scatter(
    df_combined[['ECI']],
    df_combined[['GDP_growth']],
    s=df_combined.GDP/markersize,
    c=colormap[df_combined.Cluster],
    marker="o"
)

```

```

plt.xlabel("average ECI, 2010-2020")
plt.ylabel("average GDP per capita growth, 2011-2021, %")
plt.title("Clusters created using k-means method", fontsize=15)
for i, label in enumerate(df_combined.CountryCode):
    plt.annotate(
        label,
        (
            df_combined.ECI.iloc[i]-0.079,
            df_combined.GDP_growth.iloc[i]+0.4
        )
    )
ax = plt.gca()
# ax.set_xlim([-2, 2.5])
# ax.set_ylim([-6, 8])
plt.show()

colormap_ukr = np.full(shape=33, fill_value='lightgray')
ukr_cluster_color = list(df_combined[df_combined['CountryCode'] ==
'UKR']['Cluster'])[0]
colormap_ukr[list(df_combined.loc[df_combined['CountryCode'] ==
'UKR']['Cluster'])[0]] =
colormap[list(df_combined.loc[df_combined['CountryCode'] ==
'UKR']['Cluster'])[0]]

# print(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['Country']))
df_combined.to_excel("output_2011-2021.xlsx")

markersize = 10

minx = np.min(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['ECI'])) - 0.2
maxx = np.max(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['ECI'])) + 0.2
miny = np.min(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['GDP_growth'])) - 0.2
maxy = np.max(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['GDP_growth'])) + 0.2
minz = np.min(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['GDP']))/markersize - 50
maxz = np.max(list(df_combined[df_combined['Cluster'] ==
ukr_cluster_color]['GDP']))/markersize + 50

plt.figure(figsize=(10, 7))
plt.scatter(
    df_combined[['ECI']],
    df_combined[['GDP_growth']],
    s=df_combined.GDP/markersize,
    c=colormap_ukr[df_combined.Cluster]
)
plt.xlabel("average ECI, 2010-2020")

```

```

plt.ylabel("average GDP per capita growth, 2011-2021, %")
plt.title("Ukrainian cluster (using k-means method)", fontsize=15)
for i, label in enumerate(df_combined.CountryCode):
    plt.annotate(
        label,
        (
            df_combined.ECI.iloc[i]-0.02,
            df_combined.GDP_growth.iloc[i]+0.05
        )
    )
ax = plt.gca()
ax.set_xlim([minx, maxx])
ax.set_ylim([miny, maxy])
plt.show()

# plt.figure(figsize=(10, 7))
# ax = plt.axes(projection = "3d")
# ax.scatter3D(
#     df_combined[['ECI']],
#     df_combined[['GDP_growth']],
#     df_combined.GDP/markersize,
#     c=colormap_ukr[df_combined.Cluster],
#     s=200, #s=df_combined.GDP/markersize,
#     marker="o"
# )
# ax.set_xlabel("average ECI, 2010-2020")
# ax.set_ylabel("average GDP per capita growth, 2011-2021, %")
# ax.set_zlabel("average GDP per capita, 2011-2021, tens $")
# plt.title("Ukrainian cluster", fontsize=15)
# ax.set_xlim([minx, maxx])
# ax.set_ylim([miny, maxy])
# ax.set_zlim([minz, maxz])
# plt.show()

```

Додаток Г

Програмний код мовою python у середовищі «Google Colab», за допомогою якого було агреговано дані «Growth Lab. Country & Product Complexity Rankings» для 2021-го року і відображено тільки ті продукти, які мали показник RCA > 5.

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.ticker import MultipleLocator, FixedFormatter,
FixedLocator
from matplotlib.patches import Patch

df = pd.read_excel("Ukraine exports by product 2017-2021.xlsx",
sheet_name = 'PCI - RCA')[['Name', 'Code', 'Year', 'RCA', 'PCI',
'Color']]

df = df.loc[df['RCA'] > 5]
df = df.loc[df['Year'] == 2021]

legend_elements = [
    Patch(facecolor='#f6d643', label='Agriculture'),
    Patch(facecolor='#d97b7b', label='Metals'),
    Patch(facecolor='#bb978b', label='Minerals'),
    Patch(facecolor='#c57bd9', label='Chemicals'),
    Patch(facecolor='#7ddaa1', label='Textiles'),
    Patch(facecolor='#8d7bd8', label='Vehicles'),
    Patch(facecolor='#7ba2d9', label='Machinery'),
    Patch(facecolor='#dab47d', label='Stone'),
    Patch(facecolor='#7ddada', label='Electronics'),
]

plt.figure(figsize=(10, 7))
plt.scatter(
    df.PCI, df.RCA,
    s=100,
    c=df.Color
)
for i, label in enumerate(df.Code):
    plt.annotate(
        label,
        (
            df.PCI.iloc[i],
            df.RCA.iloc[i]
        )
    )
plt.xlabel("PCI, 2021")
plt.ylabel("RCA (>5), 2021")
plt.legend(handles=legend_elements, loc='right', title="Sector")
```

```
plt.show()
```

Додаток Д

Програмний код мовою python у середовищі «Google Colab», за допомогою якого було агреговано дані «Growth Lab. Country & Product Complexity Rankings» для 2016-2021-х років і відображено тільки ті продукти, які мали показник RCA > 5 для країн цільової групи (див. 3.3 Порівняльна характеристика для цільової групи країн з Україною).

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd

data = pd.read_excel("Ukraine exports by product 2017-2021.xlsx",
sheet_name = 'PCI - RCA by key countries')

xaxes = ['', '', '', '', '', '', 'PCI, 2021', 'PCI, 2021']
yaxes = ['RCA (> 5), 2021', '', 'RCA (> 5), 2021', '', 'RCA (> 5),
2021', '', 'RCA (> 5), 2021', '', ]
titles =
['Україна', 'Латвія', 'Литва', 'Румунія', 'Болгарія', 'Естонія', 'Туречч
ина', 'Боснія і Герцеговина']

print(data)

# f,a = plt.subplots(2,4)
# a = a.ravel()
# for idx,ax in enumerate(a):
#     ax.hist(data[idx])
#     ax.set_title(titles[idx])
#     ax.set_xlabel(xaxes[idx])
#     ax.set_ylabel(yaxes[idx])
# plt.tight_layout()

fig, ax = plt.subplots(nrows=4, ncols=2)

i = 1
j = 0

for row in ax:
    for col in row:
        col.scatter(data.iloc[:, [i]], data.iloc[:, [i-1]], s=20)
        col.set_xlim([-3.5, 2.5])
        col.set_ylim([0, 150])
        col.set_title(titles[j])
        col.set_xlabel(xaxes[j])
        col.set_ylabel(yaxes[j])
```

```
i = i + 2
j = j + 1
col.axvline(x=-2, ymin=0.1, ymax=0.9, color='grey',ls='--')
col.axvline(x=0, ymin=0.1, ymax=0.9, color='grey',ls='--')
col.axvline(x=2, ymin=0.1, ymax=0.9, color='grey',ls='--')
col.axvline(x=-1, ymin=0.2, ymax=0.8, color='grey',ls='--')
col.axvline(x=1, ymin=0.2, ymax=0.8, color='grey',ls='--')
col.axvline(x=-3, ymin=0.2, ymax=0.8, color='grey',ls='--')
plt.tight_layout(pad = 0)
plt.show()
```

Додаток Е

Програмний код мовою python у середовищі «Google Colab», за допомогою якого було агреговано дані «Trade Map», створено графік тренду лідуючих продуктів за секторами економіки.

```
import pandas as pd
from tabulate import tabulate
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.ticker import MultipleLocator, FixedFormatter,
FixedLocator
from matplotlib.patches import Patch

df = pd.read_excel("Ukraine exports by product 2017-2021.xlsx")

n_top_ranked = 25
legend_elements = [
    Patch(facecolor='#f6d643', label='Agriculture'),
    Patch(facecolor='#d97b7b', label='Metals'),
    Patch(facecolor='#bb978b', label='Minerals'),
    Patch(facecolor='#c57bd9', label='Chemicals'),
    Patch(facecolor='#7ddaa1', label='Textiles'),
    Patch(facecolor='#8d7bd8', label='Vehicles'),
    Patch(facecolor='#7ba2d9', label='Machinery'),
    Patch(facecolor='#dab47d', label='Stone'),
    Patch(facecolor='#7ddada', label='Electronics'),
]

fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 5), subplot_kw=dict(ylim=(0.5,
0.5 + n_top_ranked)))
fig.legend(handles=legend_elements, loc='right', title="Sector")

ax.xaxis.set_major_locator(MultipleLocator(1))
ax.yaxis.set_major_locator(MultipleLocator(1))

# print(df["Rank"].to_list())
yax2 = ax.secondary_yaxis("right")
yax2.yaxis.set_major_locator(FixedLocator(df.loc[df['Year'] ==
2021]["Rank"].to_list()))
yax2.yaxis.set_major_formatter(FixedFormatter(df["Name"].to_list()
))

for i, j in df.groupby("Name"):
    ax.plot("Year", "Rank", "o-", data=j, mfc="w",
c=j.iloc[0]['Color'], lw = 10)

ax.invert_yaxis()
```

```
ax.set(xlabel="Year", ylabel="Rank", title="Popularity of publisher  
by edition")  
ax.grid(axis="x")  
plt.tight_layout()  
plt.show()
```

Додаток Ж

Програмний код мовою python у середовищі «Google Colab», за допомогою якого було агреговано дані «Growth Lab. Country & Product Complexity Rankings» та «World Bank. GDP growth», створено мережу однофакторних регресій та застосовано тест причинності за Гренджером.

```
import pandas as pd
from tabulate import tabulate
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

from sklearn.linear_model import LinearRegression
import plotly.express as px

from google.colab import drive

drive.mount('/content/drive')

df_GDP_growth = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/study/Master's
diploma/script/gdp_per_capita_growth.csv", skiprows=4)
df_GDP = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/study/Master's
diploma/script/gdp_per_capita.csv", skiprows=4)
df_ECI = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/study/Master's
diploma/script/Country Complexity Rankings 1995 - 2021.csv")

df_GDP = df_GDP[["Country Name", "1995", "1996", "1997", "1998",
"1999", "2000", "2001", "2002", "2003", "2004", "2005", "2006",
"2007", "2008", "2009", "2010",
"2011", "2012", "2013", "2014", "2015", "2016", "2017", "2018", "2019", "20
20", "2021"]]
df_GDP_growth = df_GDP_growth[["Country Name", "1995", "1996",
"1997", "1998", "1999", "2000", "2001", "2002", "2003", "2004",
"2005", "2006", "2007", "2008", "2009",
"2010", "2011", "2012", "2013", "2014", "2015", "2016", "2017", "2018", "20
19", "2020", "2021"]]
df_ECI = df_ECI[["Country", "ECI 1995", "ECI 1996", "ECI 1997", "ECI
1998", "ECI 1999", 'ECI 2000', 'ECI 2001', 'ECI 2002', 'ECI 2003',
'ECI 2004', 'ECI 2005', 'ECI 2006', 'ECI 2007', 'ECI 2008', 'ECI
2009', 'ECI 2010', 'ECI 2011', 'ECI 2012', 'ECI 2013', 'ECI 2014',
'ECI 2015', 'ECI 2016', 'ECI 2017', 'ECI 2018', 'ECI 2019', 'ECI
2020', 'ECI 2021']]

df_GDP = df_GDP.rename(columns={'Country Name': 'Year', 'Country
Code': 'CountryCode'})
df_GDP_growth = df_GDP_growth.rename(columns={'Country Name':
'Year'})
```

```
df_ECI = df_ECI.rename(columns={'ECI 1995': '1995',      'ECI 1996':
'1996',      'ECI 1997': '1997',      'ECI 1998': '1998',      'ECI 1999':
'1999',      'ECI 2000': '2000',      'ECI 2001': '2001',      'ECI 2002':
'2002',      'ECI 2003': '2003',      'ECI 2004': '2004',      'ECI
2005': '2005',      'ECI 2006': '2006',      'ECI 2007':
'2007',      'ECI 2008': '2008',      'ECI 2009': '2009',      'ECI
2010': '2010',      'ECI 2011': '2011',      'ECI 2012':
'2012',      'ECI 2013': '2013',      'ECI 2014': '2014',      'ECI
2015': '2015',      'ECI 2016': '2016',      'ECI 2017': '2017',      'ECI
2018': '2018',      'ECI 2019': '2019',      'ECI 2020': '2020', 'ECI
2021': '2021'})
```

```
df_GDP = df_GDP.T
df_GDP_growth = df_GDP_growth.T
df_ECI = df_ECI.T
```

```
new_header = df_GDP.iloc[0]
df_GDP = df_GDP[1:]
df_GDP.columns = new_header
```

```
new_header = df_GDP_growth.iloc[0]
df_GDP_growth = df_GDP_growth[1:]
df_GDP_growth.columns = new_header
```

```
new_header = df_ECI.iloc[0]
df_ECI = df_ECI[1:]
df_ECI.columns = new_header
```

```
df_GDP['Year'] = df_GDP.index
df_GDP_growth['Year'] = df_GDP_growth.index
df_ECI['Year'] = df_ECI.index
```

```
# df_GDP
```

```
df_GDP = df_GDP.melt(
    id_vars=['Year'],      # columns to keep "as is"
    var_name='Country',   # name for the new "variable" column
    value_name='value'    # name for the new "value" column
)
```

```
df_GDP_growth = df_GDP_growth.melt(
    id_vars=['Year'],      # columns to keep "as is"
    var_name='Country',   # name for the new "variable" column
    value_name='value'    # name for the new "value" column
)
```

```
df_ECI = df_ECI.melt(
    id_vars=['Year'],      # columns to keep "as is"
    var_name='Country',   # name for the new "variable" column
    value_name='value'    # name for the new "value" column
)
```

```

gdp      = df_GDP.rename(columns={'value':'GDP'})
growth   = df_GDP_growth.rename(columns={'value':'GDP_growth'})
eci      = df_ECI.rename(columns={'value':'ECI'})

df = (
    gdp
    .merge(growth, on=['Year', 'Country'], how='inner')
    .merge(eci,    on=['Year', 'Country'], how='inner')
)

df = df.dropna()

df = df.rename(columns={'year':'Year', 'country':'Country'})
df

results = []
for year in range(1995, 2022):
    mask = df['Year'] == str(year)
    X = df.loc[mask, ['ECI']]
    y = df.loc[mask, 'GDP_growth']
    if not X.empty:
        reg = LinearRegression().fit(X, y)
        coef      = reg.coef_[0]
        intercept = reg.intercept_
        r2        = reg.score(X, y)

        # flags
        p_flag     = '+' if r2 < 0.05 else ''
        coef_flag  = '+' if coef > 0     else '-'
        adequate   = '+' if (p_flag=='+' and coef_flag=='+') else ''

        # combined column
        model_str = f"p-val = {r2:.2f}. GDP growth = {coef:.2f} *
ECI + {intercept:.2f}"

        results.append({
            'year':          year,
            'p-val and model': model_str,
            'p-value < .05': p_flag,
            'coef > 0':     coef_flag,
            'Adequate':     adequate
        })

df_summary = pd.DataFrame(results)

# if you want to reorder columns:
df_summary = df_summary[['year', 'p-val and model', 'p-value <
.05', 'coef > 0', 'Adequate']]

df_summary

```

```

df_plot = df

fig = px.scatter(
    df_plot,
    y="GDP_growth",
    x="ECI",
    range_x=[-2, 2],
    range_y=[-100, 100]
)
fig.update_traces(marker_size=5)
fig.show()

from statsmodels.tsa.stattools import grangercausalitytests
maxlag = 7
test = 'ssr_chi2test'

def grangers_causation_matrix(data, variables, test='ssr_chi2test',
    verbose=False):
    df = pd.DataFrame(np.zeros((len(variables), len(variables))),
        columns=variables, index=variables)
    for c in df.columns:
        for r in df.index:
            test_result = grangercausalitytests(data[[r, c]],
                maxlag=maxlag, verbose=False)
            p_values = [round(test_result[i+1][0][test][1],4) for i
                in range(maxlag)]
            # if verbose: print(f'Y = {r}, X = {c}, P Values =
                {p_values}')
            min_p_value = np.min(p_values)
            df.loc[r, c] = min_p_value
            print(f"row: {r}, column: {c}, value: {df.loc[r, c]}")
            print("lag: ", p_values.index(min(p_values))+1)
    df.columns = [var + '_x' for var in variables]
    df.index = [var + '_y' for var in variables]
    return df

df_ukr = (
    df.loc[df['Country']=='Ukraine', ['Year', 'ECI', 'GDP_growth']]
        .sort_values('Year')
        .reset_index(drop=True)
)

data = df_ukr[['GDP_growth', 'ECI']]

grangers_causation_matrix(
    data,
    variables=data.columns
)

```