

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Навчально-науковий інститут бізнесу, економіки та менеджменту
Кафедра економічної кібернетики

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

_____ (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр _____
(бакалавр / магістр)

зі спеціальності _____ 051 «Економіка» _____ ,
(код та назва)

освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика»
(освітньо-професійної / освітньо-наукової) (назва програми)

на тему: «Моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов
технологічного розвитку в економічно розвинених країнах»

Здобувача (ки) групи ЕК.м-21 Бабенка Вадима Сергійовича
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ (підпис)

Вадим БАБЕНКО
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

ст. викл., к.е.н., Ірина ПОЗОВНА

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Суми – 2023

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Навчально-науковий інститут бізнесу, економіки та менеджменту
Кафедра економічної кібернетики

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.е.н., доцент
_____ В.В. Койбічук
“ ___ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
спеціальність 051 «Економіка (Економічна кібернетика)
студентки 5 курсу, групи ЕК.м-21

_____ Бабенка Вадима Сергійовича _____

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи «МОДЕЛЮВАННЯ КЛЮЧОВИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ В ЕКОНОМІЧНО РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ».

затверджена наказом по університету від « ___ » _____ 2023 року _____

2. Термін подання студентом закінченої роботи «17» грудня 2023 року

3. Мета кваліфікаційної роботи – розробка підходу щодо моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах.

4. Об'єкт дослідження – процес оцінки ключових макроекономічних та інноваційних показників.

5. Предмет дослідження – математичні методи та моделі оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах.

6. Кваліфікаційна робота виконується на матеріалах законодавчих та нормативно-правових актів з питань технологічного регулювання; аналітичні звіти та наукові публікації вітчизняних та зарубіжних авторів з питань дослідження макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку; статистичні дані Світового банку.

7. Орієнтовний план кваліфікаційної роботи, терміни подання розділів керівникові та зміст завдань для виконання поставленої мети

Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ – 15 листопада 2023 р.

У розділі 1 проаналізувати поняття технологічного розвитку країни та аналіз макроекономічних показників економічно розвинених країн; провести систематизацію існуючих теоретичних підходів дослідження у галузі технологічного розвитку та економіки; сформулювати завдання моделювання.

Розділ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КЛЮЧОВИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ В ЕКОНОМІЧНО РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ – 25 листопада 2023 р.

У розділі 2 описати вхідні дані для побудови математичної моделі; сформулювати вимоги до методологічного забезпечення моделювання оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку.

Розділ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КЛЮЧОВИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ В ЕКОНОМІЧНО РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ – 7 грудня 2023 р.

У розділі 3 провести моделювання канонічних взаємозв'язків між макроекономічними та інноваційними показниками; побудувати модель регресійних рівнянь для ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах; проаналізувати отримані результати та перевірити адекватність побудованої математичної моделі; розробити рекомендації за результатами проведених розрахунків.

8. Консультації з роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Позовна І.В., старший викладач кафедри економічної кібернетики, к.е.н.	30.10.2023	30.10.2023
2	Позовна І.В., старший викладач кафедри економічної кібернетики, к.е.н.	30.10.2023	30.10.2023
3	Позовна І.В., старший викладач кафедри економічної кібернетики, к.е.н.	30.10.2023	30.10.2023

9. Дата видачі завдання: «30» жовтня 2023 року

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Позовна І.В.
(ініціали, прізвище)

Завдання до виконання одержав _____
(підпис)

Бабенко В.С.
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

дипломної роботи на тему:

«МОДЕЛЮВАННЯ КЛЮЧОВИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ В ЕКОНОМІЧНО РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ»

студентки

Бабенка Вадима Сергійовича

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми визначається тим, що моделювання найважливіших макроекономічних та інноваційних факторів технологічного розвитку є важливим інструментом для аналізу, прогнозування та формулювання стратегій стимулювання інновацій в економіці. Вивчення таких аспектів, як рівень інвестицій, науковий потенціал у сфері досліджень та розробок, фінансова стабільність та економічна політика, дає уявлення про те, як країна може створити сприятливі умови для технологічного зростання.

Метою даної роботи є розробка підходу щодо моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах.

Об'єктом дослідження є процес оцінки ключових макроекономічних та інноваційних показників.

Предметом дослідження є математичні методи та моделі оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах.

Методи дослідження. Для дослідження поставлених завдань були використані такі загальнонаукові та специфічні методи дослідження, як: індукція та дедукція, аналіз та синтез, порівняння та логічне узагальнення, табличний та графічний метод, метод бібліографічного аналізу, метод головних компонент, канонічний аналіз, панельне регресійне моделювання.

Основний науковий результат роботи. У роботі проведено аналіз поняття технологічного розвитку країни та аналіз макроекономічних показників економічно

розвинених країн; систематизовано існуючі теоретичні підходи дослідження у галузі технологічного розвитку та економіки; сформовано задачі моделювання; обрано вхідні дані для побудови математичної моделі; описано вимоги до методологічного забезпечення моделювання оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку; проаналізовано отримані результати та перевірити адекватність побудованої математичної моделі та перевірено адекватність моделі; розроблено рекомендації за результатами проведених розрахунків

Рекомендації щодо використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані регулятивними органами державного управління під час формування державної політики у сфері технологічного розвитку.

Інформаційною базою кваліфікаційної роботи є законодавчі та нормативно-правові акти з питань технологічного регулювання; аналітичні звіти та наукові публікації вітчизняних та зарубіжних авторів з питань дослідження макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку; статистичні дані Світового банку.

Ключові слова: макроекономічні показники, інновації, інноваційний розвиток, технологічний розвиток.

Основний зміст кваліфікаційної роботи викладено на 48 сторінках, у тому числі список використаних джерел з 70 найменування, який розміщено на 8 сторінках. Робота містить 6 таблиць, 32 рисунки, а також 2 додатки.

Рік виконання кваліфікаційної роботи – 2023 рік.

Рік захисту роботи – 2023 рік.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ	9
1.1 Поняття технологічного розвитку країни та аналіз макроекономічних показників економічно розвинених країн.....	9
1.2 Систематизація існуючих теоретичних підходів дослідження у галузі технологічного розвитку та економіки	13
1.3 Постановка завдання моделювання	17
2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КЛЮЧОВИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ В ЕКОНОМІЧНО РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ	19
2.1 Опис вхідних даних для побудови моделі	19
2.2 Методологічне забезпечення моделювання оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку	25
3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КЛЮЧОВИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ В ЕКОНОМІЧНО РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ	30
3.1 Моделювання канонічних взаємозв'язків між макроекономічними та інноваційними показниками.....	30
3.2 Моделювання регресійних рівнянь для ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах	42
3.3 Розробка рекомендацій за результатами проведених розрахунків	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТКИ	63
ДОДАТОК А.....	63
ДОДАТОК Б	64

ВСТУП

У сучасному світі стрімкого технологічного прогресу все більшого значення набуває взаємозв'язок між макроекономічними процесами та інноваційним потенціалом. Економічно розвинені країни визнають важливість визначення та моделювання ключових макроекономічних та інноваційних факторів як необхідних елементів здорового та сталого технологічного розвитку. Зі зростанням значення інноваційних технологій виникає необхідність зрозуміти, як макроекономічні фактори впливають на сферу інновацій та сприяють або перешкоджають технологічному прогресу.

Метою даної роботи є розробка підходу щодо моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах.

Об'єктом дослідження є процес оцінки ключових макроекономічних та інноваційних показників.

Предметом дослідження є математичні методи та моделі оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах.

У зв'язку із цим, завданнями дослідження є:

- проаналізувати поняття технологічного розвитку країни та аналіз макроекономічних показників економічно розвинених країн;
- систематизувати існуючі теоретичні підходи дослідження у галузі технологічного розвитку та економіки;
- сформулювати задачі моделювання;
- описати вхідні дані для побудови математичної моделі;
- сформулювати вимоги до методологічного забезпечення моделювання оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку;
- проаналізувати отримані результати та перевірити адекватність побудованої математичної моделі;

– розробити рекомендації за результатами проведених розрахунків.

Для досягнення поставленої мети та завдань дослідження були використані такі *загальнонаукові та специфічні методи дослідження*, як: індукція та дедукція, аналіз та синтез, порівняння та логічне узагальнення, табличний та графічний метод, метод бібліографічного аналізу, метод головних компонент, канонічний аналіз, панельне регресійне моделювання.

Основний науковий результат кваліфікаційної магістерської роботи полягає в розробці науково-методичного підходу до моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах на основі комплексного поєднання методу головних компонент, канонічний аналіз, панельне регресійне моделювання, що дозволило отримати комплексну картину передумов формування технологічного розвитку досліджуваних країн. Одержані результати можуть бути використані регулятивними органами державного управління під час формування державної політики у сфері технологічного розвитку.

Інформаційною базою дослідження є законодавчі та нормативно-правові акти з питань технологічного регулювання; аналітичні звіти та наукові публікації вітчизняних та зарубіжних авторів з питань дослідження макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку; статистичні дані Світового банку.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ

1.1 Поняття технологічного розвитку країни та аналіз макроекономічних показників економічно розвинених країн

Технологічний розвиток країни – це процес впровадження та розвитку нових технологій, методів виробництва, інновацій та наукових досягнень в різних сферах економіки та суспільства. Цей процес спрямований на підвищення ефективності виробництва, покращення якості продукції та послуг, збільшення конкурентоспроможності на світовому ринку і підвищення рівня життя населення. Технологічний розвиток включає в себе впровадження нових наукових відкриттів, технічних інновацій, а також модернізацію існуючих технологій. Цей процес може стосуватися різних галузей, таких як інформаційні технології, біотехнології, енергетика, машинобудування, медицина та інші [67].

Основні аспекти технологічного розвитку включають створення та впровадження нових продуктів і послуг, підвищення продуктивності праці, розвиток наукових досліджень та освіти, а також формування сприятливого інноваційного середовища. В епоху глобалізації переможцями у конкурентному середовищі стають країни, які можуть відігравати провідну роль у своїй економіці в галузях високих технологій і навчальних послуг. Водночас, вони посилюють напрями науки та освіти, що є основою для інноваційного типу розвитку. Головною силою, що прискорює глобалізаційні процеси, є транснаціональні корпорації (ТНК), які відіграють ключову роль у міжнародних науково-дослідних і конструкторських розробках (НДДКР) та поширенні інновацій. ТНК займають визначальне положення не тільки в сфері виробництва та експорту, але й у торгівлі патентами і ліцензіями, концентруючи основну частину науково-технічних досягнень і передового виробничого досвіду [66].

У економічно розвинених та технологічно високорозвинених країнах світу інноваційна діяльність є ключовим фактором стабільного підвищення валового внутрішнього продукту, підвищення ефективності праці та збільшення

конкурентоспроможності національної економіки. Ці досягнення, в свою чергу, надають можливість впроваджувати високі соціальні стандарти для населення. Технологічний розвиток економічно розвинених країн є результатом впливу різноманітних факторів, які взаємодіють у складних системах. Деякі ключові фактори, що сприяють технологічному розвитку в таких країнах, включають:

- фізичний капітал;
- людські ресурси;
- природні ресурси;
- соціальні та політичні фактори;
- доступ до ринків інновацій та міжнародне співробітництво.

Наявність більшої кількості виробничих інструментів у виробничих процесах призводить до збільшення обсягу виробництва товарів і послуг, а отже, до накопичення капіталу на рівні окремої особи. Значущість фізичного капіталу виявляється, оскільки колись вважалося, що саме фізичний капітал є єдиним джерелом економічного зростання. Щодо інвестиційних можливостей, які раніше не були представлені, суспільство може збільшити свій виробничий потенціал, збільшуючи баланс реального капіталу. У цьому контексті одним із найяскравіших прикладів є вплив фізичного капіталу на економічний ріст Сполучених Штатів. У поточному столітті, тобто, незважаючи на значні обсяги маргінального капіталу, використаного на цьому етапі розвитку американської економіки, співвідношення виробництва до капіталу залишалося пропорційним тенденції до зниження і не погіршувалося. Надзвичайно важливо, що інвестиційні можливості розширювалися з такою самою швидкістю, як і інвестиції у засоби виробництва [52].

Людські ресурси є одним із найважливіших факторів, що призводять до прискореного економічного зростання, а отже і технологічного прогресу. Якість людських ресурсів залежить від набору характеристик, найважливішою з яких є їхній потенціал до інновацій та можливість забезпечення освітою, професійною підготовкою та навичками. У випадку нестачі кваліфікованих людських ресурсів це буде гальмувати економічний ріст [70].

Природні ресурси входять до числа факторів, що впливають на економічний ріст країни. Природні ресурси мають велике значення і включають в себе всі природні ресурси, які зустрічаються на поверхні землі чи у її нутрошах, наприклад, рослини на суходолі та водні ресурси. Природні ресурси Землі включають газ, нафту та корисні копалини. Природні ресурси відрізняються в різних країнах в залежності від їхніх екологічних і кліматичних умов.

Соціальні і політичні фактори є чинниками, які повинні відігравати важливу роль у економічному рості країн [43]. Прозора та стабільна господарська політика сприяє створенню сприятливого середовища для інновацій та технологічного розвитку. Розвинена інфраструктура, така як транспортні системи та телекомунікації, забезпечує ефективний розвиток технологій. Не менш важливим є високий рівень освіти сприяє створенню кваліфікованих кадрів, які здатні ефективно впроваджувати та розвивати технології.

Європейські та американські компанії мають можливість швидше впроваджувати нові технології через розвинуті ринки інновацій та споживання. Співпраця з іншими країнами та міжнародними організаціями дозволяє обмінюватися знаннями та ресурсами для сприяння технологічному розвитку.

Отже можна зазначити, що ключовими факторами інноваційного розвитку економіки є інтелектуальні ресурси, такі як знання та кваліфікація людини, об'єкти прав інтелектуальної власності, які впроваджуються в господарський обіг, а також інвестиційні та інформаційні ресурси.

Економічно та технологічно розвинені країни світу перейшли до нового етапу економічного розвитку, який характеризується інноваційним підходом. Основними рисами цього підходу є широкомасштабне впровадження науково-технічних розробок та передача високопродуктивних технологій у виробництво з метою їх комерціалізації. Це призводить до прогресивних технологічних змін у реальному секторі економіки, структурі сфери споживання та підвищення конкурентоспроможності національної економіки в цілому. Це в свою чергу дозволяє впроваджувати високі соціальні стандарти для населення.

Згідно з міжнародними даними, в розвинених країнах світу технологічні інновації становлять майже половину ефективності ринкової економіки та призводять до зростання ВВП на рівні до 80% [69]. Результати проведених досліджень підтверджують, що внаслідок комерціалізації інтелектуально-інноваційних технологій утворюється приблизно 90% бюджету США, від 70 до 80% бюджетів країн Європейського союзу та майже 100% бюджету Японії. Україна, у свою чергу, формує менше 10% свого національного бюджету завдяки інноваційній діяльності. Основні гравці на світовому ринку наукомісткої продукції включають США (39%), Японію (30%), Німеччину (16%), при цьому Україна займає менше 0,1% цього ринку [65].

Для оцінки готовності держави до інноваційних змін на світовому та європейському рівнях використовують різноманітні методи та обчислюють відповідні індикатори та показники. Серед широко використовуваних критеріїв можна виділити такі:

1. фінансування науково-технічного розвитку:
 - сума коштів, вкладених у наукові та технічні дослідження;
 - витрати на дослідження та розробки у відсотках до валового внутрішнього продукту (ВВП).
2. інноваційна активність підприємств:
 - обсяг інвестицій, спрямованих на дослідження та розробки;
 - кількість патентів та ліцензій, отриманих підприємствами.
3. рівень наукових досягнень та комерціалізація:
 - кількість та впливовість наукових публікацій;
 - кількість нових продуктів чи послуг, які випускаються на ринок завдяки науковим розробкам.
4. вплив технологічного розвитку на макроекономічні показники:
 - зростання ВВП внаслідок впровадження нових технологій;
 - зменшення рівня безробіття завдяки автоматизації та ефективнішим технологіям виробництва.
5. місце країни на світовому ринку наукомісткої продукції:

- обсяг експорту та імпорту високотехнологічних товарів та послуг;
- конкурентоспроможність країни в глобальному інноваційному рейтингу [68, 36].

Ці показники визначають та оцінюють ефективність та вплив технологічного розвитку на економіку країни, визначаючи її конкурентоспроможність та інноваційний потенціал на світовому рівні. Дані індикатори мають вирішальне значення для формування стійкої економічної бази для технологічного розвитку. Ефективне управління цими макроекономічними показниками стає важливим кроком для забезпечення сталого зростання інноваційних секторів.

1.2 Систематизація існуючих теоретичних підходів дослідження у галузі технологічного розвитку та економіки

В останні десятиліття спостерігається поглиблення і вдосконалення зв'язку між технологічним розвитком та економічними процесами в глобальному контексті. За останні роки наукове співтовариство активно досліджує цей важливий взаємозв'язок, що відображено в значній кількості публікацій відомих журналів, індексованих у базі даних Scopus [63].

Щоб підтвердити тенденції, окреслені в цьому дослідженні, ми проаналізували іноземні публікації з 2000 по 2023 рік за такими ключовими словами, як «technical development» та «economics». Загалом було знайдено 2320 документів. На рисунку 1.1 показано кількість документів, пов'язаних з темою охорони здоров'я та економіки.

Спираючись на дані, представлені на рисунку 1.1, можна зазначити, що медична та економічна тематика демонструє загалом поступове зростання протягом усього аналізованого періоду. З 2019 року ми можемо спостерігати різке зростання кількості публікацій на рік, приблизно з 114 до 193. Найбільша кількість публікацій на цю тематику була у 2023 році, а саме 204.

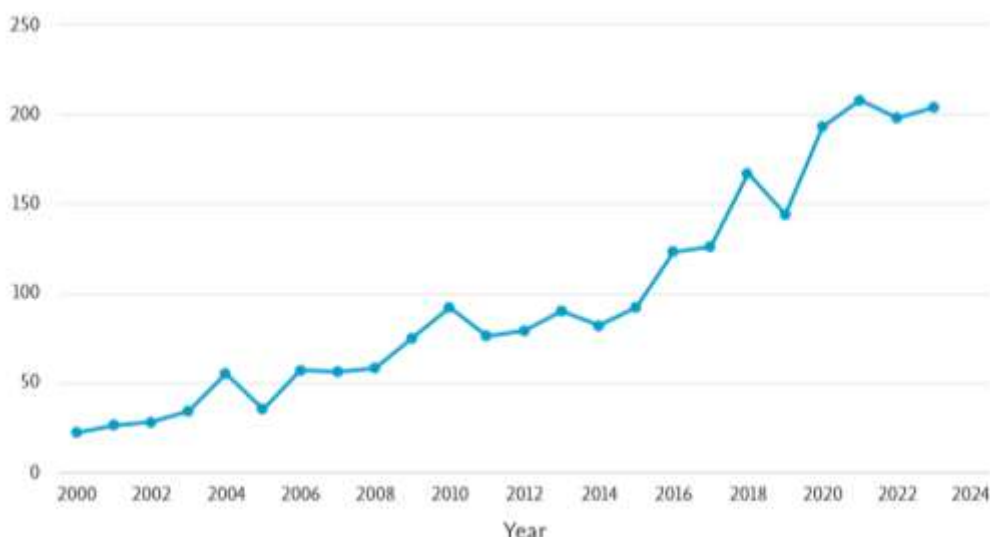


Рисунок 1.1 – Динаміка публікацій за ключовими словами «technical development» та «economics» за даними наукометричної бази даних Scopus у 2000-2023 роках

Джерело: складено автором на основі [63]

На наступному рисунку (рис. 1.2) представлено динаміку публікаційної активності за напрямом технічного розвитку та економіки в базі даних Scopus за період 2000-2023 років.

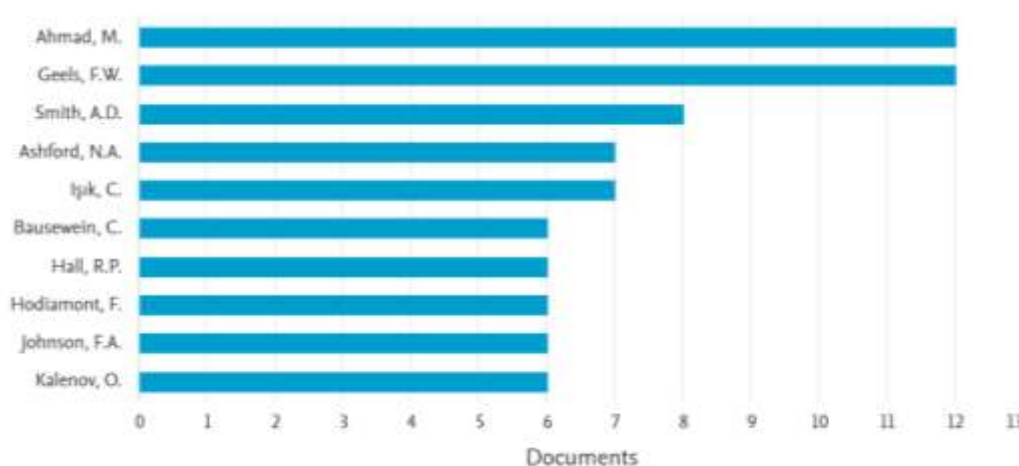


Рисунок 1.2 – Динаміка кількості публікацій авторів з технічного розвитку та економіки в базі даних Scopus за період 2000-2023 років

Джерело: складено автором на основі [63]

На рисунку 1.2 представлено дослідників за кількістю публікацій за темою дослідження у наукометричній базі даних Scopus. Ми можемо бачити, що найбільшу кількість робіт опубліковано такими авторами як Ahmad, M. (Нінбо, Китай) та Geels, F.W. (Манчестер, Великобританія), по 12 на кожного. Так, наприклад, Geels, F.W. у своїй роботі «Коеволюційна та багаторівнева динаміка в перехідних епохах: Трансформація авіаційних систем і перехід від гвинтових до турбореактивних літальних апаратів» [24] розглядає системні інновації в інноваційній типології Фрімена та Переса та концептуалізує ці зміни як переходи від однієї соціотехнічної системи до іншої. У той же час, Ahmad, M. у своєму дослідженні під назвою «Роль економічної складності та державного втручання в екологічну стійкість: Чи важлива децентралізація?» [42] вивчає питання внеску фіскальної децентралізації в пом'якшення впливу складності економіки та державного втручання на енергоефективність і вуглецеву ефективність за наявності реального ВВП на душу населення і виявив, що децентралізація витрат і доходів сприяє підвищенню енергоефективності та ефективності викидів вуглецю. На рисунку 1.3 представлено динаміку кількості публікацій у розрізі країн за напрямком технічного розвитку та економіки в базі даних Scopus за період 2000-2023 рр.

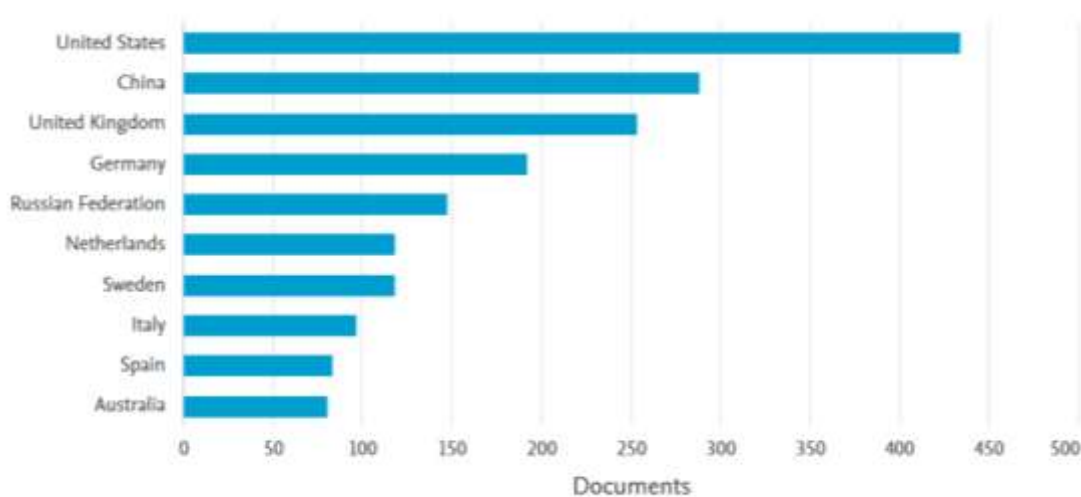


Рисунок 1.3 – Динаміка кількості публікацій у розрізі країн за напрямком технічного розвитку та економіки в базі даних Scopus за період 2000-2023 рр.

Джерело: складено автором на основі [63]

З огляду на графік на рисунку 1.3 спостерігається, що найбільшу кількість публікацій було опубліковано в США, зокрема це 434 документа. Також з невеликою різницею числа публікацій на тематику розвитку та економіки посідають такі країни як Китай та Великобританія, з 228 та 253 документами відповідно.

Розглянемо більш детально роботи деяких науковців із зазначеної теми. У роботі [30] пропонується досліджувати трансформацію ВВП за допомогою тривимірного підходу як багатоаспектного показника, що відображає рівень не лише економічного зростання, але й розвитку технологій у країні. У роботах [7, 50] проводився аналіз взаємозв'язку між технологічним лідерством та ступенем використання інформаційно-комунікаційних технологій. У дослідженні приділено увагу визначенню факторів, які мають вагомий вплив на збільшення експорту високотехнологічних товарів [34].

В роботах [64, 43] розглядається врахування темпів економічного росту країни як одного з факторів, що впливають на підвищення ефективності управління розвитком в умовах цифровізації бізнес-процесів. Загалом, вплив четвертої індустріальної революції [3], активні інтеграційні економічні процеси, що відбуваються у світі, сприяють стимулюванню інноваційного підприємництва [13, 62, 45, 48, 12]. У роботах [16, 14, 17, 19] було проведено кількісний аналіз ступеня трансформацій у соціально-економічному та політичному розвитку окремих країн Європи. Основи взаємодії між економічними агентами, фінансовими установами та реальним сектором економіки країни розглянуто в статтях [40, 37, 3, 32, 39, 66, 69]. У роботі [18] досліджено взаємозв'язки між трьома детермінантами: рівнем технологічного лідерства та ефективності наукової діяльності; рівнем економічного розвитку та рівнем соціального розвитку.

У роботах [39, 1, 5, 6, 16, 19, 22, 58, 2] пропонується аналіз моделі трансферу інновацій для ефективного управління державою. До цього був врахований процес розробки та впровадження інновацій. Роль зовнішніх інвестицій у масштабуванні бізнесу для зростання його технологічної готовності до сучасних викликів (на прикладі перетворення малого бізнесу на середній) досліджується у роботах [13, 30, 47, 53, 37, 1]. У роботах [23, 9, 17, 42, 32, 34, 33] проведено оцінку різних інструментів

інновацій, а також домінуючих напрямків спрямування потоків іноземних інвестицій. У роботах [8, 54, 21, 24, 28, 27] зазначається, що отримана вигода країни залежить від прямих іноземних інвестицій.

1.3 Постановка завдання моделювання

На основі теоретичних та методичних засад макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку, можна сформулювати основні завдання даної роботи.

Метою представленої роботи є розробка підходу щодо моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах. Об'єктом дослідження є процес оцінки ключових макроекономічних та інноваційних показників. Предметом дослідження є математичні методи та моделі оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах.

Для проведення даного дослідження було обрано наступні методи: метод головних компонент для відбору найбільш релевантних макроекономічних та інноваційних показників; канонічний аналіз для виявлення функціональної залежності між групами макроекономічних та інноваційних показників; панельне регресійне моделювання для ідентифікації макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах.

Завдання моделювання у межах досліджуваної предметної галузі представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Формулювання проблеми моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах

Елементи	Описання
Проблема	Моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах
Впливає на	Формування ведення державної політики в напрямку забезпечення макроекономічної стабільності та сталого технологічного розвитку
Результатом чого є	Розробка науково-методичного підходу щодо моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах
Переваги моделі	Аргументований список вхідних показників; відкритий та зрозумілий алгоритм відбору релевантних змінних; високий ступінь наочності та візуалізації представлених результатів; можливість прогнозування технологічного розвитку та макроекономічних показників

Джерело: складено автором

2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КЛЮЧОВИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ В ЕКОНОМІЧНО РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ

2.1 Опис вхідних даних для побудови моделі

Економічний добробут країни, який часто вимірюється такими показниками, як валовий внутрішній продукт, дохід на душу населення та загальна якість життя, відіграє фундаментальну роль у забезпеченні результативності технологічного розвитку. Сильна і стабільна економіка може забезпечити необхідні ресурси для досліджень і розробок, освіти та інновацій. З іншої сторони варто не дооцінювати безпосередній ефект для технологічного розвитку країни завдяки її інноваційному розвитку. Для побудови математичної моделі оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку сформовано наступний масив вхідних даних: чотирнадцять показників інноваційного розвитку (X1-X14); три макроекономічні показники (Y1-Y3) (табл. 2.1).

Всього в дослідженні беруть участь 11 країн світу з розвиненою економікою (Велика Британія, Німеччина, Франція, Італія, Південна Африка, США, Канада, Китай, Японія, Сінгапур, Нова Зеландія) [15]. Період дослідження десять років (2011-2021 рр.). Таким чином для даного дослідження сформовано сукупність панельних даних.

Розглянемо детальніше показники технічного розвитку та макроекономічної стабільності Великої Британії, США та Китаю з 2011 по 2022 рік (табл.2.2).

З огляду на ці дані можна зробити висновки, що найбільші витрати на дослідження та розробки у всіх трьох країн були за 2022 рік, найбільше ВВП на душу населення у Великої Британії у 2014 році, у США та Китаї – 2022 рік, а найбільша кількість прямих іноземних інвестицій було здійснено у Великобританії за 2016 рік, у США за 2015 рік, а в Китаї за 2011 рік.

Таблиця 2.1 – Вхідні дані

Умовні позначення	Показник	Одиниці вимірювання
Y1	ВВП (валовий внутрішній продукт) на душу населення	%
Y2	ВНД (валовий національний дохід) на душу населення	Дол.
Y3	Індекс інфляції	%
X1	Експорт товарів та послуг інноваційного напрямку	%
X2	Імпорт товарів та послуг інноваційного напрямку	%
X3	Експорт телекомунікаційних інноваційних товарів та послуг	%
X4	Імпорт телекомунікаційних інноваційних товарів та послуг	%
X5	Експорт високотехнологічних товарів та послуг	Дол.
X6	Експорт ІКТ	%
X7	Імпорт ІКТ	%
X8	Експорт ІКП	%
X9	Абсолютний експорт ІКП	Дол.
X10	Користувачі мережі Інтернет	%
X11	Наукові патенти резидентів	Од.
X12	Наукові патенти нерезидентів	Од.
X13	ГП	Од.
X14	Обсяг витрат спрямованих на дослідження і розвиток	%
Y1	ВВП (валовий внутрішній продукт) на душу населення	%
Y2	ВНД (валовий національний дохід) на душу населення	Дол.
Y3	Індекс інфляції	%

ІКТ- інформаційно-технологічні товари, ІКП – інформаційно-комунікаційні послуги, ГП – глобальний інноваційний індекс

Джерело: складено автором на основі [57, 59]

Для аналізу динаміки змін досліджуваних показників використовуються абсолютний приріст і темп росту, які розраховуються за такими формулами (1, 2).

$$\Delta i = y_i - y_{i-1}, i = 1, 2 \dots n \quad (1)$$

$$\Delta t = y_t / y_{t-1}, t = 1, 2 \dots n \quad (2)$$

де n – кількість рівнів ряду.

Розглянемо динаміку зміни даних показників за період з 2000 по 2020 роки – їх абсолютний приріст та темп росту (рис. Б1 додатку Б).

На наступних рисунках (рис. 2.1-2.6) представлено візуалізацію темпів росту та абсолютного приросту показників за досліджуваний період.

Таблиця 2.2 – Показники технологічного розвитку та макроекономічної стабільності Великої Британії, США та Китаю з 2000 по 2020 рік

Країна	Рік	Витрати на дослідження та розробки	ВВП на душу населення	Прямі іноземні інвестиції, чисті надходження (% від ВВП)
Велика Британія	2011	1,63999	4,21507	1,013052
Велика Британія	2012	1,56888	4,248559	1,727454
Велика Британія	2013	1,6103	4,344909	1,955026
Велика Британія	2014	1,63097	4,744759	1,921245
Велика Британія	2015	1,63424	4,507107	1,544657
Велика Британія	2016	1,64281	4,114608	12,03164
Велика Британія	2017	1,65981	4,062269	4,671487
Велика Британія	2018	1,70494	4,330631	-0,87054
Велика Британія	2019	1,70799	4,274708	0,692697
Велика Британія	2020	1,71104	4,031842	4,898158
Велика Британія	2021	1,71409	4,65859	0,189665
Велика Британія	2022	1,71714	4,585043	1,437046
США	2011	2,76525	5,006597	1,689113
США	2012	2,68166	5,178442	1,540208
США	2013	2,71154	5,329113	1,710668
США	2014	2,72151	5,512385	1,435021
США	2015	2,78206	5,676273	2,809148
США	2016	2,84585	5,786674	2,537498
США	2017	2,89572	5,990775	1,955211
США	2018	3,00082	6,282331	1,045704
США	2019	3,16609	6,512039	1,477875
США	2020	3,45018	6,352863	0,65698
США	2021	3,73427	7,021947	2,114876
США	2022	4,01836	7,639859	1,524104
Китай	2011	1,78034	0,561439	3,708807
Китай	2012	1,91214	0,630058	2,827105
Китай	2013	1,99786	0,702039	3,039855
Китай	2014	2,02243	0,763607	2,559248
Китай	2015	2,05701	0,801645	2,192178
Китай	2016	2,10033	0,809439	1,555637
Китай	2017	2,11603	0,881705	1,349124
Китай	2018	2,14058	0,990541	1,693894
Китай	2019	2,24463	1,014386	1,310716
Китай	2020	2,40093	1,040872	1,723176
Китай	2021	2,55723	1,26175	1,930786
Китай	2022	2,71353	1,272022	1,002979

Джерело: складено автором на основі [57]

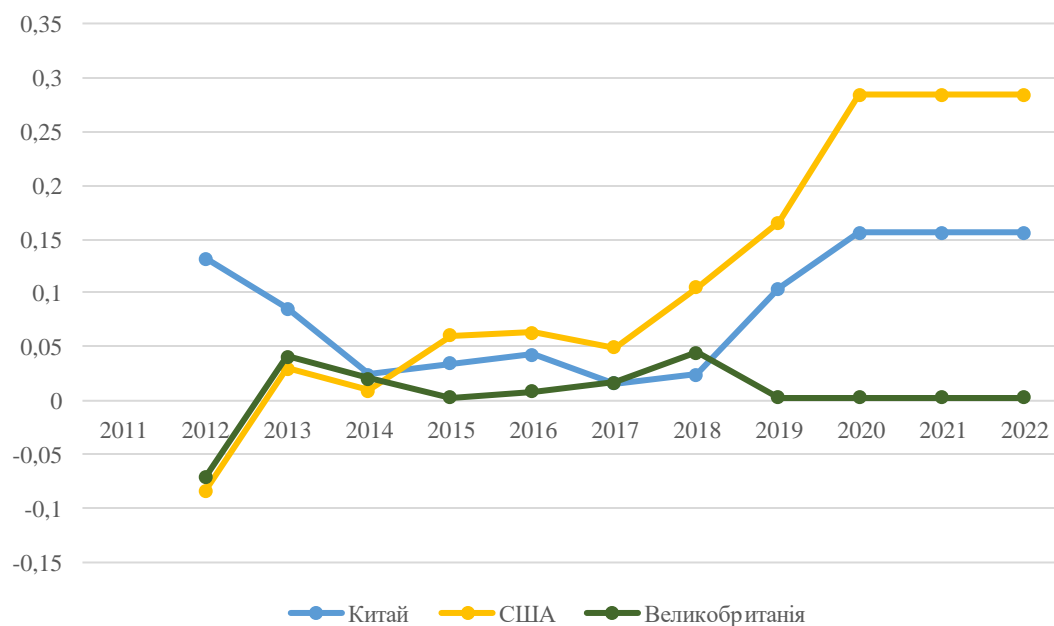


Рисунок 2.1 – Абсолютний приріст показника витрат на дослідження та розробки серед Великобританії, США та Китаю протягом 2011-2022 рр.

Джерело: складено автором [57]

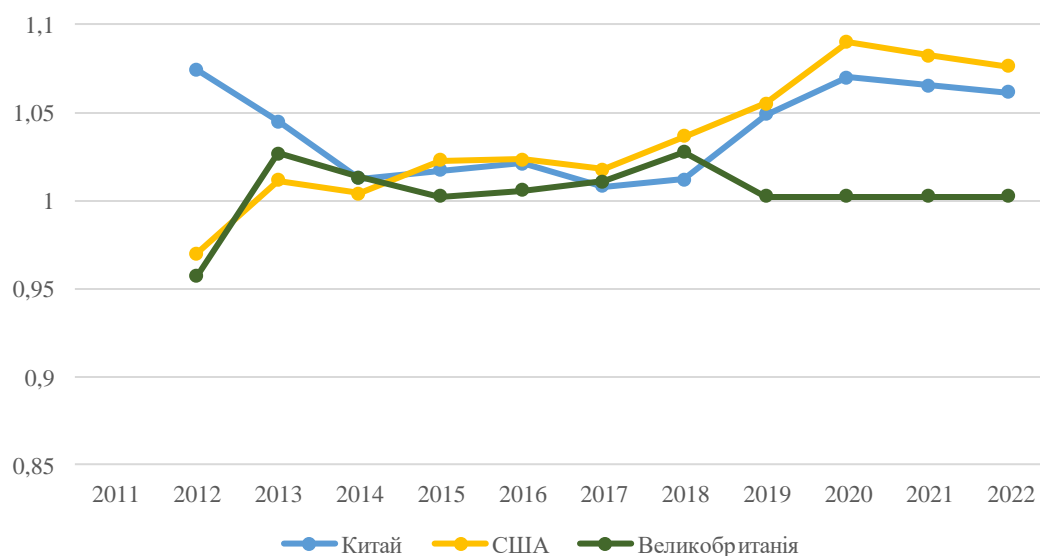


Рисунок 2.2 – Темп росту показника витрат на дослідження та розробки серед Великобританії, США та Китаю протягом 2011-2022 рр.

Джерело: складено автором [57]

Як бачимо, найбільший показник як абсолютного приросту, так і темпу росту витрат на дослідження та розробки має США на період 2020 року. Найменше

значення абсолютного приросту бачимо у цієї ж країни за 2012 рік, у той час як найменший темп росту спостерігається за той самий рік у Великобританії.

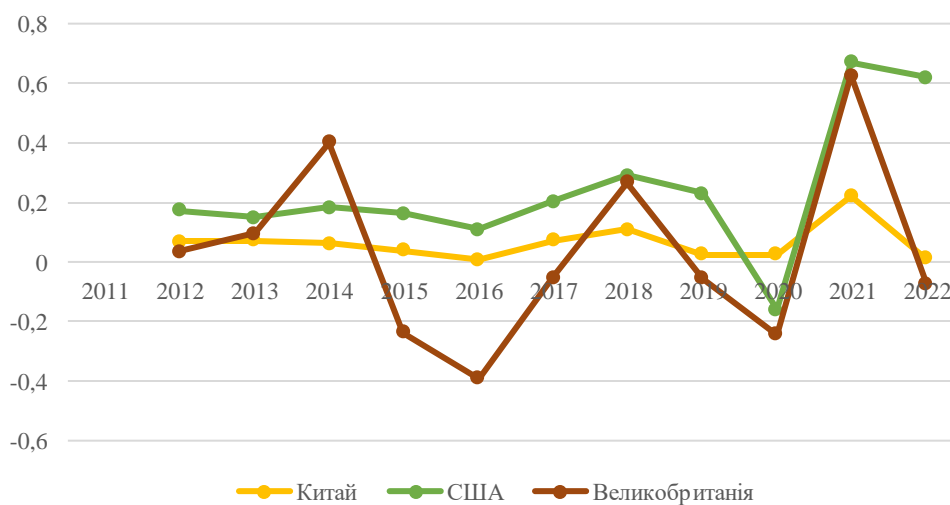


Рисунок 2.3 – Абсолютний приріст показника ВВП на душу населення серед Великобританії, США та Китаю протягом 2011-2022 рр.

Джерело: складено автором [57]

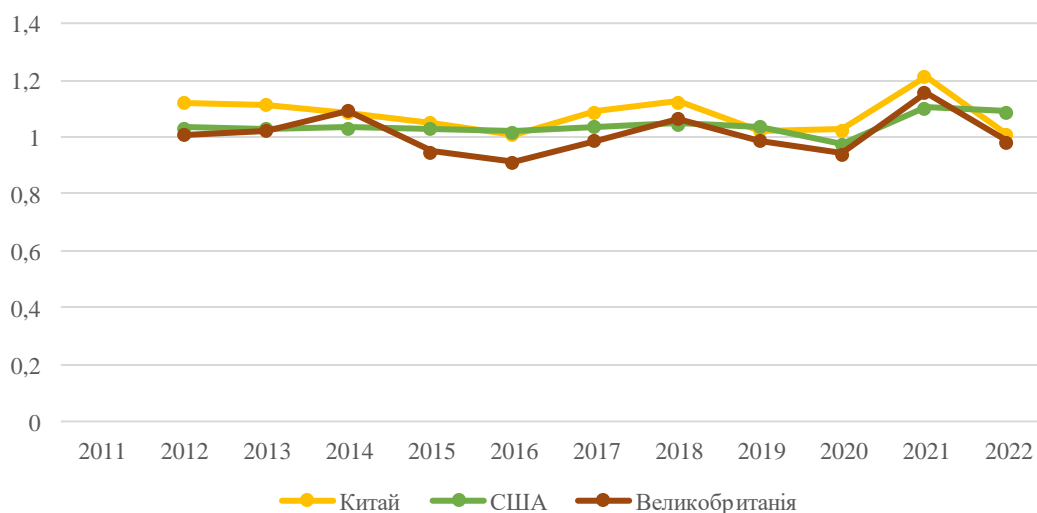


Рисунок 2.4 – Темп росту показника ВВП на душу населення серед Великобританії, США та Китаю протягом 2011-2022 рр.

Джерело: складено автором [57]

Як бачимо, даний показник досягає найбільшого значення абсолютного приросту у США 2021 року, а найменший – у Великобританії у 2016 році; темп росту

також має найменше значення у Великобританії у 2016 році, у той час як в Китаї у 2021 році він досягає найбільшого результату розрахунків.

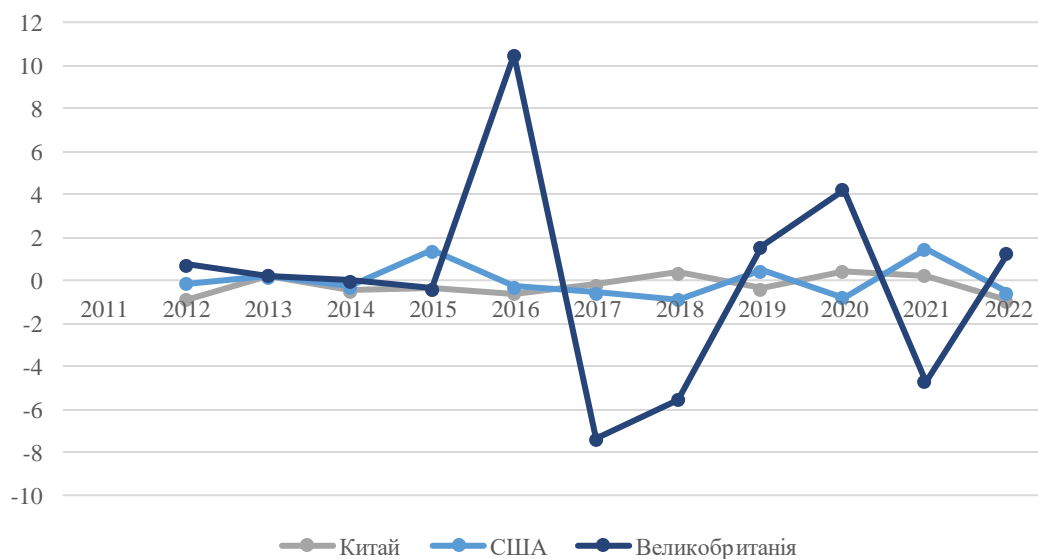


Рисунок 2.5 – Абсолютний приріст прямих іноземних інвестицій серед Великобританії, США та Китаю протягом 2011-2022 рр.

Джерело: складено автором [57]

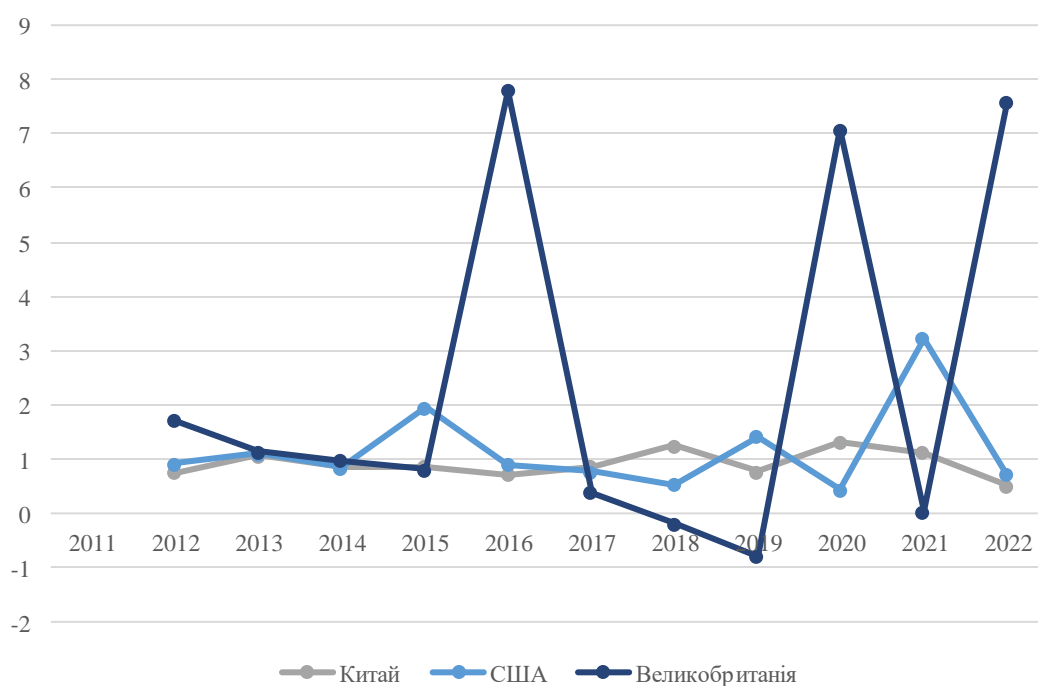


Рисунок 2.6 – Темп росту прямих іноземних інвестицій серед Великобританії, США та Китаю протягом 2011-2022 рр.

Джерело: складено автором [57]

За результатами, зображеними на цих графіках, ми можемо бачити, що найбільший і найменший абсолютний приріст прямих іноземних інвестицій спостерігався у Великобританії у 2016 та 2017 роках відповідно. Як і абсолютний приріст, найбільшого значення темп росту набуває у Великобританії за 2016 рік, а найменшого – в цій же країні за 2019 рік.

За результатами розрахунків та їх графічного зображення можемо стверджувати, що найбільших змін технічного розвитку за 2011-2022 рр. спостерігається в США. Серед усіх досліджуваних економічно розвинених країн Великобританія має найменші результати темпу росту та абсолютного приросту за даними показниками. Це свідчить про те, що даній країні необхідна правильна оптимізація стратегій економічного та науково-технічного розвитку в контексті сучасного глобального середовища. Нові рекомендації мають бути націлені на покращення внутрішніх процесів держави з метою стимулювання стійкого та ефективного науково-технічного прогресу, мають розкрити складні аспекти впливу економічних факторів на інноваційні процеси і сприяти формулюванню практичних рекомендацій для політики та стратегічного управління.

2.2 Методологічне забезпечення моделювання оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку

Модель оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку включає комплексне поєднання наступних методів:

- метод головних компонент – для відбору показників, які здійснюють найбільш значимий вплив серед всієї сукупності вхідних змінних;
- канонічний аналіз – для ідентифікації взаємозв'язку між групами змінних;
- панельний багатофакторний регресійний аналіз – для ідентифікації функціональних взаємозв'язків між досліджуваними змінними.

Метод головних компонент – це математичний підхід, який використовується для скорочення розмірності вхідної вибірки показників, яка широко використовується в галузі аналізу даних і машинного навчання. Мета даного методу полягає в тому, щоб трансформувати дані великої розмірності в дані нижчої розмірності, зберігаючи при цьому якомога більше вихідної дисперсії.

Головні компоненти, які утворюються за допомогою методу головних компонентів, представляють лінійні комбінації вихідних ознак, які фіксують максимальну дисперсію в даних. Перша головна компонента пояснює найбільшу дисперсію, за нею йде друга і так далі. Дисперсія головного компонента відображає поширення або дисперсію точок даних уздовж цього компонента.

Результати методу головних компонентів базуються на даних коваріаційної матриці, яка кількісно визначає зв'язки між різними ознаками в наборі даних. Діагональні елементи коваріаційної матриці представляють дисперсії окремих ознак, тоді як недіагональні елементи представляють коваріації. Для визначення оптимальної кількості компонентів важливо визначити власні вектори та власні значення коваріаційної матриці. Власні вектори представляють напрямки максимальної дисперсії, а власні значення вказують на величину дисперсії вздовж цих напрямків. Необхідно відсортувати власні значення в порядку спадання та обрати перші власні вектори, що відповідають найвищим власним значенням. Ці власні вектори формують основу для нового підпростору ознак. Крім того, оптимальну кількість компонентів можна також визначити за допомогою графіку каменистого осипу. Вклад початкових змінних у структурі компонентів визначається за допомогою факторних навантажень, які по суті представляють собою коефіцієнти кореляції ланих змінних із виділеними компонентами.

Канонічний аналіз – це статистичний метод, який дозволяє визначити залежність між характеристикою Y_0 та набором ознак Y_1, \dots, Y_n , де множинний коефіцієнт кореляції є ключовим показником, який дорівнює коефіцієнту кореляції між Y_0 та його лінійним змодельованим значенням (3).

$$\hat{Y} = \alpha_0 + \alpha_1 Y_1 + \dots + \alpha_n Y_n. \quad (3)$$

Даний принцип дозволяє визначити залежність між двома наборами характеристик Y_1, \dots, Y_n та Y_{r+1}, \dots, Y_{r+n} . Математична формалізація відбувається на основі обчислення випадкових величин U_1 та V_1 разом із відповідними канонічними коефіцієнтами α_n (4-5).

$$U_1 = \alpha_{10} + \alpha_{11} Y_1 + \dots + \alpha_{1r} Y_r, \quad (4)$$

$$V_1 = \alpha_{10} + \alpha_{11} Y_{r+1} + \dots + \alpha_{1n} Y_{r+n}. \quad (5)$$

Визначена кореляція між U_1 and V_1 $R_1 = \text{corr}(U_1, V_1)$ (4) має бути максимальною.

$$R_{c(i)} = \frac{\text{cov}(U_i V_i)}{\sqrt{\text{var}(U_i) \text{var}(V_i)}}, \quad (6)$$

де i_{th} – канонічна функція;

cov – значення коваріації між величинами U_1 and V_1 ;

var – дисперсія U_1 and V_1 .

Відповідно до термінології канонічного аналізу на основі вхідних параметрів дослідження формуються відповідно два набори показників: U_1 , який визначається вісьмома показниками капіталізації банківської системи, та V_1 , який визначається п'ятьма показниками макроекономічної стабільності. Визначені канонічні параметри характеризуються наступними властивостями:

- канонічні параметри є незалежними лінійними комбінаціями початкових показників, розподілених за групами;
- канонічні змінні розраховані таким чином, що відповідні канонічні кореляції є максимальними;

– канонічні змінні упорядковуються за спадним значенням відповідних канонічних кореляцій;

– канонічні змінні із різних пар не корелюють.

Таким чином канонічний кореляційний аналіз дозволяє одночасно аналізувати взаємозв'язок між кількома залежними змінними і великою кількістю визначальних факторів. Канонічні змінні (корені) представляють собою набір певних прихованих (неявно виражених) змінних, що лежать в основі досліджуваного явища. Кількість канонічних коренів відповідає найменшій кількості змінних в групі показників. Зі збільшенням порядкового номера канонічного кореня частка досліджуваного явища, яка описується цим коренем, зменшується.

На останньому етапі дослідження побудуємо багатofакторну лінійну регресійну модель виду (7-8) із випадковими або фіксованими ефектами. Визначити тип моделі дозволяє тест Хаусмана.

$$y_{it} = \alpha + X_{it}^* \beta + v_{it}, i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T, \quad (7)$$

де i – порядковий номер об'єкта дослідження;

t – період дослідження;

α - вільний член;

β - вектор коефіцієнтів розмірності $K \times 1$;

X_{it}^* - вектор-рядок матриці K пояснюючих змінних;

v_{it} - помилка регресії.

$$v_{it} = u_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

де u_i - індивідуальні ефекти спостережень;

ε_{it} - залишки моделі.

Різниця між регресійними моделями із фіксованими і випадковими ефектами полягає в наступному. Моделі із фіксованими ефектами використовуються тоді, коли є індивідуальні характеристики, які постійні з часом, і їх необхідно контролювати.

Фіксовані ефекти підходять, коли ці характеристики співвідносяться з незалежними змінними.

Модель із випадковими ефектами будується тоді, коли в дослідженні присутні конкретні ефекти, що стосуються індивідуальних особливостей даних, некорельовані з незалежними змінними, і необхідно врахувати неоднорідність індивідуального рівня.

Всі необхідні розрахунки здійснюються за допомогою статистичних програмних продуктів Statistica 12 та Stata 18.

3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КЛЮЧОВИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ПЕРЕДУМОВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗВИТКУ В ЕКОНОМІЧНО РОЗВИНЕНИХ КРАЇНАХ

3.1 Моделювання канонічних взаємозв'язків між макроекономічними та інноваційними показниками

Перш ніж реалізувати канонічний аналіз необхідно методом головних компонент відібрати серед показників інноваційного розвитку ті, що здійснюють найбільш значимий вплив серед сукупної вибірки. За допомогою методу головних компонент отримано таблицю із власними значеннями виділених компонент (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Власні значення, дисперсія та кумулятивна дисперсія компонент

Компонента	Власне значення	Дисперсія	Кумулятивна дисперсія
Компонента 1	4,610	0,355	0,355
Компонента 2	3,753	0,289	0,643
Компонента 3	1,455	0,112	0,844
Компонента 4	0,882	0,077	0,832
Компонента 5	0,779	0,060	0,874
Компонента 6	0,491	0,038	0,930
Компонента 7	0,336	0,026	0,948
Компонента 8	0,284	0,022	0,978
Компонента 9	0,184	0,014	0,992
Компонента 10	0,055	0,004	0,996
Компонента 11	0,044	0,003	1,000
Компонента 12	0,004	0,000	1,000
Компонента 13	0,001	0,000	1,000
Компонента 14	0,0001	0,000	1,000

Джерело: складено автором

Всього в аналізі методом головних компонент бере участь чотирнадцять показників інноваційного розвитку. З огляду на представлені результати таблиці 3.1 отримано тринадцять компонент, які повністю описують досліджуване явище, оскільки кумулятивна дисперсія для всіх чотирнадцяти компонент дорівнює 1. Визначити оптимальну кількість компонент для наступного етапу дослідження

необхідно за допомогою власних значень. Оптимальною кількістю компонент є та, що відповідає власному значенню більшому за одиницю. В даному випадку це перші три компоненти, оскільки саме вони мають власні значення більші ніж одиниця (4,610; 3,753 та 1,455 відповідно). Крім того, варто також звернути увагу на той факт, що кумулятивна дисперсія, яку виділяють перші три компоненти перевищує 84%, чого цілком достатньо для подальших обчислень в межах даних компонент.

Підтвердити або спростувати дане рішення щодо вибору оптимальної кількості компонент для подальшого дослідження можна також за допомогою побудови графіку кам'янистого осипу (рис. 3.1).

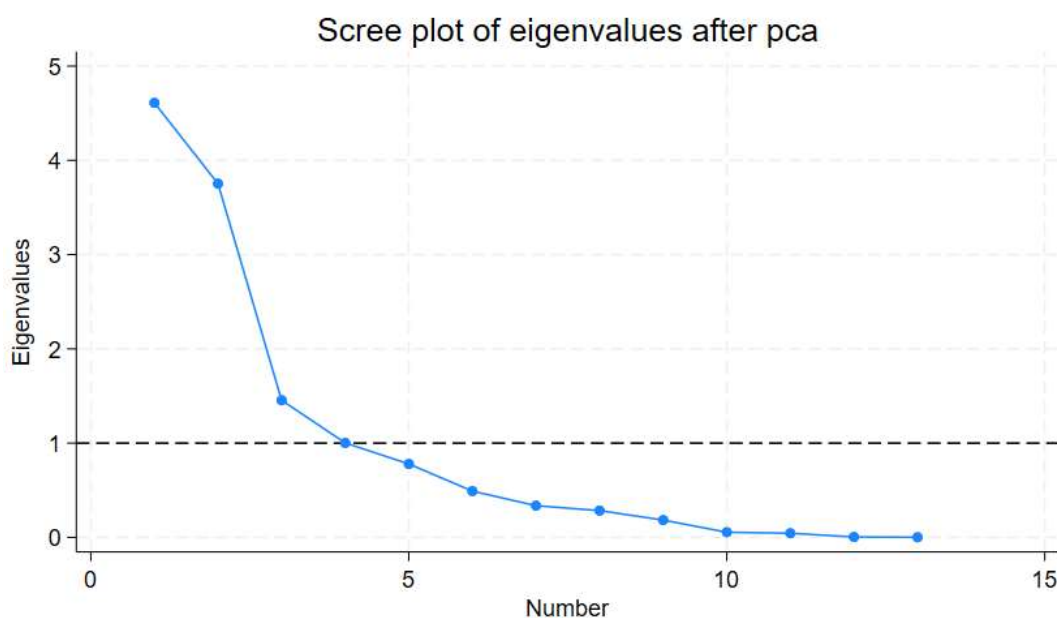


Рисунок 3.1 – Графік кам'янистого осипу

Джерело: складено автором

На представленому графіку зображену криву, яка відповідає кількості компонент та відповідному критерію кам'янистого осипу. Рухаючись зліва направо по кривій даного графіку, необхідно знайти на лінії графіку таке місце, де зміна значень стає більш плавною. Для зручності дане місце на графіку позначено пунктирною лінією. Та кількість точок, що опинилась вище за дану лінію, і відповідає оптимальній кількості компонент, яку необхідно залишити. В даному випадку – це

три компоненти, що співпало із висновком, отриманим унаслідок обчислення власних значень компонент.

Отже, для оцінки факторних навантажень, що необхідно для визначення структури компонент, використаємо не тринадцять компонент, а лише перші три. Результати факторних навантажень представлені в наступній таблиці (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Факторні навантаження показників

Змінна	Компонента 1	Компонента 2	Компонента 3
X1	0,385	0,194	0,117
X2	0,420	-0,038	-0,028
X3	0,390	0,190	0,114
X4	0,423	-0,040	-0,019
X5	-0,104	0,467	0,082
X6	-0,039	0,414	-0,282
X7	-0,064	0,411	-0,276
X8	0,347	0,056	0,340
X9	0,251	0,186	0,292
X10	0,239	-0,138	-0,549
X11	-0,121	0,441	0,142
X12	-0,099	0,318	-0,022
X13	-0,251	-0,110	0,536
X14	0,113	-0,225	0,017

Джерело: складено автором

Для наступному етапі моделювання відберемо ті показники інноваційного розвитку, факторні навантаження яких перевищують 0,4 по модулю. В даному випадку це вісім змінних:

- X2 (факторне навантаження – 0,420);
- X4 (факторне навантаження – 0,423);
- X5 (факторне навантаження – 0,467);
- X6 (факторне навантаження – 0,414);
- X7 (факторне навантаження – 0,411);
- X10 (факторне навантаження – -0,549);
- X11 (факторне навантаження – 0,441);
- X13 (факторне навантаження – 0,536).

Перш ніж переходити до канонічного аналізу, необхідно перевірити припущення відповідності нормальному закону розподілу вибірки показників, які беруть участь у дослідженні. Тест Shapiro-Wilk дозволяє перевірити гіпотезу відносно нормальності розподілу показників за допомогою обчислення розрахункового значення критерію та відповідного рівня довіри результатів (p-level), значення якого має бути більшим ніж 0,05. Результати тесту Shapiro-Wilk для обох наборів показників представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати перевірки відповідності нормальному закону розподілу показників інноваційного розвитку та макроекономічної стабільності за допомогою критерію Shapiro-Wilk

Змінна	Criterion Shapiro-Wilk			
	W	V	z	Prob>z
Y1	0,905	17,391	6,647	0,000
Y2	0,912	16,099	6,468	0,000
Y3	0,856	26,251	7,606	0,000
X2	0,983	3,060	2,603	0,005
X4	0,982	3,217	2,720	0,003
X5	0,569	78,733	10,162	0,000
X6	0,705	53,888	9,280	0,000
X7	0,818	33,328	8,161	0,000
X10	0,808	35,048	8,278	0,000
X11	0,808	35,048	8,278	0,000
X13	0,398	109,860	10,937	0,000

Джерело: складено автором

З огляду на результати тесту Shapiro-Wilk та відповідного рівня довіри результатів (p-level) всі показники банківської капіталізації та макроекономічної стабільності не відповідають нормальному закону розподілу. Проте технологічний потенціал канонічного аналізу дозволяє продовжувати дослідження, незважаючи на дану ситуацію.

Враховуючи термінологію канонічного аналізу, представлену в попередньому розділі, необхідно визначити списки змінних, які увійдуть до U та V . Нехай U міститиме в собі показники інноваційного розвитку, а V – макроекономічні показники.

Наступним кроком в канонічному аналізі є дослідження рівня кореляційного зв'язку між досліджуваними змінними з урахуванням їх перерозподілу між групами U and V за допомогою кореляційного аналізу. Це дозволить перевірити припущення щодо надлишковості даних. Результати кореляційного аналізу представлені на наступному рисунку (рис. 3.2).

Correlations (Spreadsheet1)											
variable	X2	X4	X5	X6	X7	X10	X11	X13	Y1	Y2	Y3
X2	1,000	0,998	-0,288	-0,066	-0,114	0,425	-0,324	-0,418	0,251	0,039	-0,197
X4	0,998	1,000	-0,285	-0,063	-0,121	0,427	-0,325	-0,411	0,260	0,044	-0,204
X5	-0,288	-0,285	1,000	0,656	0,621	-0,389	0,919	-0,043	-0,388	-0,354	-0,010
X6	-0,066	-0,063	0,656	1,000	0,912	-0,137	0,529	-0,202	-0,211	-0,102	-0,044
X7	-0,114	-0,121	0,621	0,912	1,000	-0,155	0,526	-0,160	-0,234	-0,049	-0,002
X10	0,425	0,427	-0,389	-0,137	-0,155	1,000	-0,383	-0,638	0,601	0,564	-0,130
X11	-0,324	-0,325	0,919	0,529	0,526	-0,383	1,000	0,027	-0,379	-0,353	-0,022
X13	-0,418	-0,411	-0,043	-0,202	-0,160	-0,638	0,027	1,000	-0,497	-0,385	0,320
Y1	0,251	0,260	-0,388	-0,211	-0,234	0,601	-0,379	-0,497	1,000	0,609	-0,134
Y2	0,039	0,044	-0,354	-0,102	-0,049	0,564	-0,353	-0,385	0,609	1,000	-0,006
Y3	-0,197	-0,204	-0,010	-0,044	-0,002	-0,130	-0,022	0,320	-0,134	-0,006	1,000

Рисунок 3.2 – Кореляційна матриця між показниками інноваційного розвитку та макроекономічними показниками

Джерело: складено автором

З огляду на результати кореляційного аналізу виявлено, що між кількома показниками всередині досліджуваних груп присутній високий кореляційний зв'язок (вище 0,7). Зокрема, між такими показниками інноваційного розвитку: X2 та X4 (0,998), X5 та X11 (0,919), X6 та X7 (0,912). Таким чином, змінні X4, X7 та X11 не братимуть участь у канонічному аналізі та побудові регресійної моделі.

Канонічний аналіз проводитиметься для статистичних даних досліджуваних країн на момент 2011 та 2021 років для того, щоб виявити можливі структурні зміни між технологічним розвитком та макроекономічними показниками. Перші результати канонічного аналізу для 2011 та 2021 років представлені нижче (рис. 3.3, 3.4).

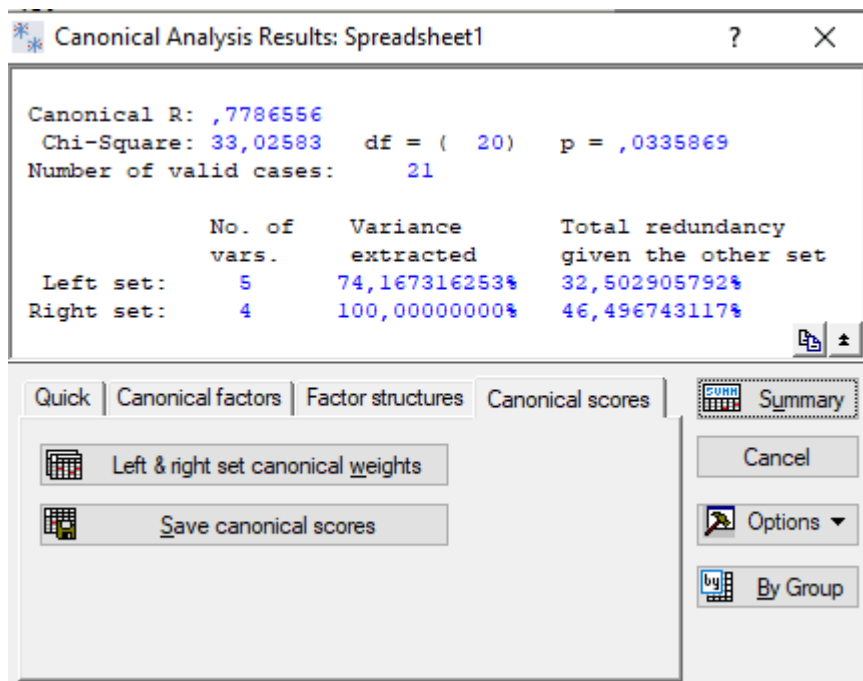


Рисунок 3.3 – Результати канонічного аналізу для даних станом на 2011 рік
Джерело: складено автором

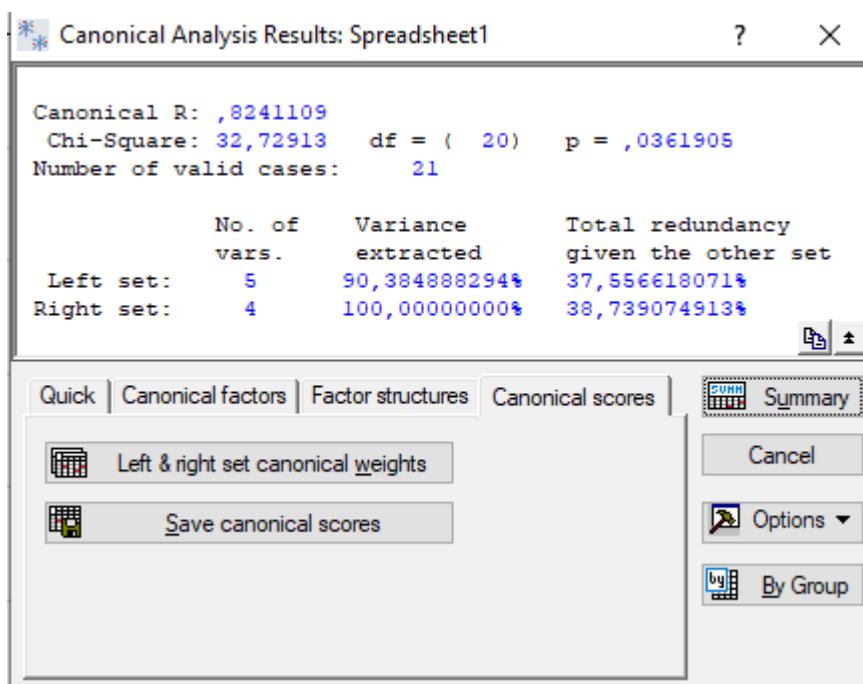


Рисунок 3.4 – Результати канонічного аналізу для даних станом на 2021 рік
Джерело: складено автором

Варто відзначити, що у 2011 році 74,167%, а у 2021 році 90,385% показників інноваційного розвитку включені в аналіз (Variance extracted дорівнює відповідно

74,167% та 90,385%). Показники, що характеризують макроекономічну стабільність, 100% беруть участь в аналізі (Variance extracted дорівнює 100%) у 2011 та 2021 роках. За результатами Total redundancy представлених на рисунках 3.3 і 3.4, 32,503% та 37,557% варіації досліджуваних показників інноваційного розвитку у 2011 та 2021 роках обумовлюється зміною досліджуваних макроекономічних показників. З іншої сторони зміна показників макроекономічної стабільності країн на 46,497% (2011 рік) та 38,739% (2021 рік) обумовлюється варіацією показників інноваційного розвитку. Як бачимо, напрям взаємодії між досліджуваними групами показників визначається наступним чином – макроекономічні показники більшою мірою обумовлюються інноваційним розвитком країн, а не навпаки. Це дає основу для визначення залежних і незалежних змінних під час проведення регресійного моделювання.

Значення *The Chi-Square* індикаторів та p ($p < 0,05$) для обох років аналізу підтверджують статистичну значущість отриманих результатів. Канонічний коефіцієнт кореляції R^2 для обох моделей є більшим ніж 0,7, що свідчить про високу якість результативних залежностей та тісний зв'язок між показниками інноваційного розвитку та макроекономічної стабільності.

Для знаходження оптимальної кількості канонічних коренів необхідно проаналізувати статистичні показники: *The Chi-Square* індикатори, канонічний коефіцієнт детермінації R^2 та рівень імовірності p (рис. 3.5, 3.6).

Root Removed	Chi-Square Tests with Successive Roots Removed (Spreadsheet1)					
	Canonial R	Canonial R-sqr.	Chi-sqr.	df	p	Lambda Prime
0	0,778656	0,606305	33,02583	20	0,033587	0,110613
1	0,763120	0,582352	19,04317	12	0,087556	0,280960
2	0,553915	0,306822	5,94644	6	0,429237	0,672718
3	0,171805	0,029517	0,44942	2	0,798750	0,970483

Рисунок 3.5 – Таблиця із результативними значеннями *The Chi-Square* індикаторів, канонічними коефіцієнтами детермінації R^2 та рівнями імовірності p станом на 2011 рік

Джерело: складено автором

Root Removed	Chi-Square Tests with Successive Roots Removed (Spreadsheet1)					
	Canonical R	Canonical R-sqr.	Chi-sqr.	df	p	Lambda Prime
0	0,824111	0,679159	32,72913	20	0,036191	0,112822
1	0,784354	0,615211	15,67700	12	0,206550	0,351645
2	0,247774	0,061392	1,35110	6	0,968762	0,913864
3	0,162365	0,026362	0,40074	2	0,818428	0,973638

Рисунок 3.6 – Таблиця із результативними значеннями *The Chi-Square* індикаторів, канонічними коефіцієнтами детермінації R^2 та рівнями імовірності p станом на 2021 рік

Джерело: складено автором

Проаналізувавши критерій значущості p ($p < 0,05$) із таблиць (рис. 3.5, 3.6), можна зробити висновок, що для подальшого аналізу результатів необхідно зупинитись на перших канонічних коренях для обох років дослідження. Оскільки перші канонічні корені (Root 0) в обох випадках пояснюють більше ніж 77% варіації досліджуваної взаємодії між показниками.

Наступним кроком канонічного аналізу є дослідження факторних навантажень в межах канонічних коренів для наборів U (*left set*) and V (*right set*) для 2011 та 2021 років (рис. 3.7-3.10).

Variable	Factor Structure, left set (Spreadsheet1)		
	Root 1	Root 2	Root 3
X2	0,461545	0,521768	-0,028760
X5	-0,535199	0,318791	-0,062564
X6	-0,531644	-0,053057	-0,388096
X10	0,916829	-0,277707	-0,208376
X13	-0,630704	0,274258	-0,099023

Рисунок 3.7 – Структура факторних навантажень в межах канонічних коренів для групи показників інноваційного розвитку у 2011 році

Джерело: складено автором

Variable	Factor Structure, right set (Spreadsheet1)		
	Root 1	Root 2	Root 3
Y1	0,620096	-0,612945	-0,385648
Y2	-0,829755	-0,510058	-0,206676
Y3	0,318988	0,009395	-0,813478

Рисунок 3.8 – Структура факторних навантажень в межах канонічних коренів для групи макроекономічних показників у 2011 році

Джерело: складено автором

Variable	Factor Structure, left set (Spreadsheet1)		
	Root 1	Root 2	Root 3
X2	0,560134	-0,481034	-0,441014
X5	-0,453972	-0,425062	0,215629
X6	-0,076535	-0,256290	0,711753
X10	0,886651	0,384144	0,013145
X13	-0,742070	0,498483	-0,248587

Рисунок 3.9 – Структура факторних навантажень в межах канонічних коренів для групи показників інноваційного розвитку у 2021 році

Джерело: складено автором

Variable	Factor Structure, right set (Spreadsheet1)		
	Root 1	Root 2	Root 3
Y1	0,624000	0,451501	0,633014
Y2	-0,108939	0,767700	0,032101
Y3	0,118836	0,610481	0,380256

Рисунок 3.10 – Структура факторних навантажень в межах канонічних коренів для групи макроекономічних показників у 2021 році

Джерело: складено автором

Отримані факторні навантаження досліджуваних показників в межах першого канонічного кореня дозволяють визначити:

– у 2011 та 2021 роках найбільший кореляційний зв'язок із рівнем інноваційного розвитку мають *X10* (факторне навантаження – 0,917 і 0,887 відповідно) та *X13* (факторне навантаження – -0,631 і -0,742 відповідно);

– у 2011 найбільший кореляційний зв'язок із рівнем макроекономічного розвитку мають Y_2 (факторне навантаження – $-0,829$), у 2021 – Y_1 (факторне навантаження – $0,624$).

Для визначення коефіцієнтів канонічних регресійних рівнянь необхідно визначити канонічні ваги (вклад кожного показника у формування канонічних змінних (коренів)). Канонічні ваги для обох вибірок станом на 2011 та 2021 роки представлені на рисунках 3.11-3.14.

Variable	Canonical Weights, left set (Spreadsheet)		
	Root 1	Root 2	Root 3
X2	0,230850	0,979705	-0,148160
X5	0,249495	1,008533	0,004020
X6	-0,511445	-0,596695	-1,144100
X10	0,837100	0,295886	-1,806280
X13	0,019097	0,794222	-1,773140

Рисунок 3.11 – Канонічні ваги показників інноваційного розвитку в межах канонічних коренів у 2011 році

Джерело: складено автором

Variable	Canonical Weights, right set (Spreadsheet)		
	Root 1	Root 2	Root 3
Y1	0,069000	-0,336922	1,170830
Y2	0,319923	0,845581	-0,325860
Y3	-0,639189	0,580750	0,390470

Рисунок 3.12 – Канонічні ваги макроекономічних показників в межах канонічних коренів у 2011 році

Джерело: складено автором

Variable	Canonical Weights, left set (Spreadsheet)		
	Root 1	Root 2	Root 3
X2	0,034940	-0,527808	-0,834490
X5	-0,312476	-0,019096	-1,101910
X6	-0,105705	-0,085000	0,959720
X10	0,423360	0,923320	-0,609020
X13	-0,613300	0,725261	-0,782440

Рисунок 3.13 – Канонічні ваги показників інноваційного розвитку в межах канонічних коренів у 2021 році

Джерело: складено автором

Variable	Canonical Weights, right set (Spreadsheet)		
	Root 1	Root 2	Root 3
Y1	-0,929998	-0,336922	1,170830
Y2	0,717820	0,845581	-0,325860
Y3	-0,214388	0,580750	0,390470

Рисунок 3.14 – Канонічні ваги макроекономічних показників в межах канонічних коренів у 2021 році

Джерело: складено автором

Канонічні регресійні рівняння, побудовані на основі отриманих канонічних вагів із першого канонічного кореня Root 1, мають наступний вигляд (9-12).

$$U_{2011} = 0,231X2 + 0,249X5 - 0,511X6 + 0,834X10 + +0,019X13 \quad (9)$$

$$V_{2011} = 0,069Y1 + 0,320Y2 - 0,639Y3 \quad (10)$$

$$U_{2021} = 0,035X2 - 0,312X5 - 0,106X6 + 0,423X10 - 0,613X13 \quad (11)$$

$$V_{2021} = -0,929Y1 + 0,718Y2 - 0,214Y3 \quad (12)$$

Отримані канонічні ваги дозволяють виявити наступні функціональні залежності:

– у 2011 році найбільший вплив на інноваційний розвиток країни здійснювали показники X6 (експорт інформаційно-комунікаційних товарів) – зі збільшенням X6 на одиницю рівень інноваційного розвитку зменшиться на 0,511 одиниць, X10 (особи, що використовують Інтернет) – зі збільшенням X10 на одиницю рівень інноваційного розвитку зросте на 0,834 одиниці;

– у 2021 році найбільший вплив на інноваційний розвиток країни здійснювали показники X10 (особи, що використовують Інтернет) – зі збільшенням X10 на одиницю рівень інноваційного розвитку зросте на 0,423 одиниці, X13 (Глобальний інноваційний індекс) – зі збільшенням X13 на одиницю рівень інноваційного розвитку зменшиться на 0,613 одиниць;

– у 2011 році найбільший вплив на макроекономічну ситуацію країни здійснював показник Y3 (Індекс інфляції) – зі збільшенням Y3 на одиницю макроекономічна ситуація країн погіршиться на 0,639 одиниць;

– у 2021 році найбільший вплив на макроекономічну ситуацію країни здійснювали три показники Y2 (валовий національний дохід на душу населення). Зі збільшенням Y2 на одиницю макроекономічна ситуація країн покращиться на 0,718 одиниць.

Заключним етапом канонічного аналізу є побудова діаграми розсіювання для перших канонічних коренів обох груп показників дослідження у 2011 та 2021 роках (рис. 3.15).

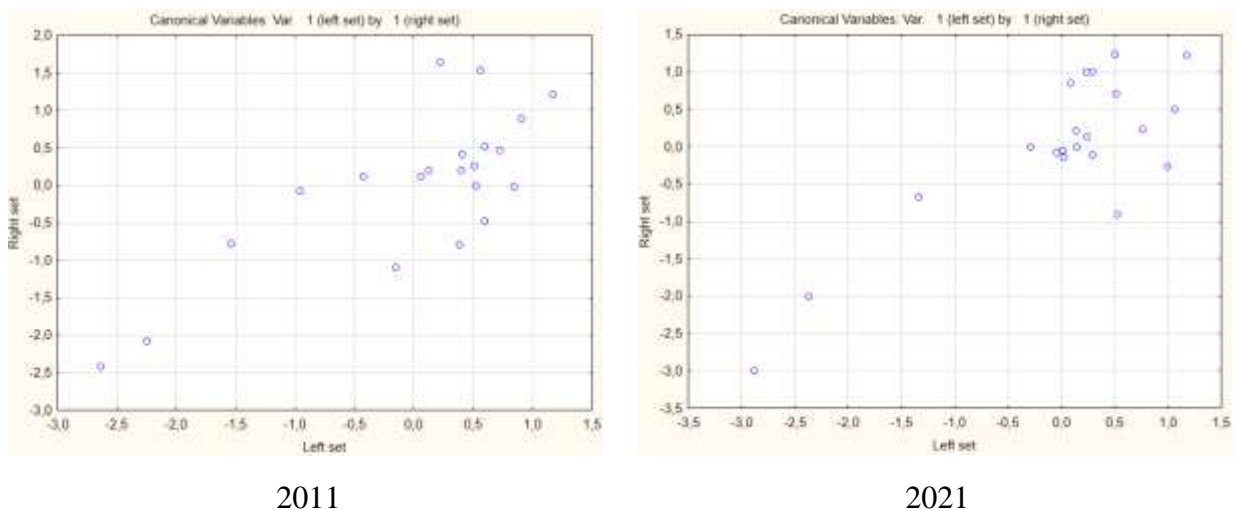


Рисунок 3.15 – Діаграма розсіювання показників інноваційного розвитку (Left set) та показників макроекономічної стабільності (Right set) у 2011 та 2021 роках

Джерело: складено автором

Як видно із представлених діаграм розсіювання, скупчення значень обох груп показників у 2011 та 2021 роках дослідження візуально нагадують лінійний характер залежності із незначними викидами, що також підтверджує присутність тісного функціонального зв'язку між показниками інноваційного розвитку та макроекономічної стабільності.

3.2 Моделювання регресійних рівнянь для ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах

Регресійне моделювання для панельних даних починається із визначення типу моделі із фіксованими чи випадковими ефектами. Для цього необхідно використати тест Хаусмана. Якщо рівень p для розрахованого значення тесту Хаусмана буде меншим ніж 0,05, то варто будувати модель із фіксованими ефектами, у протилежному випадку – із випадковими.

На основі результатів канонічного аналізу (макроекономічний стан більшою мірою залежить від інноваційного розвитку країни) та мети даного дослідження побудуємо чотири панельні регресійні моделі. В якості залежної змінної Y виступатимуть по черзі макроекономічні показники $Y1$ - $Y3$ та показник технологічного розвитку країн – $X14$. В ролі незалежних змінних для перших трьох регресійних моделей будуть п'ять показників інноваційного розвитку ($X2$, $X5$, $X6$, $X10$, $X13$), відібрані на етапі кореляційного аналізу в межах канонічного аналізу, для четвертої моделі найбільш значимі показники інноваційного розвитку та макроекономічної стабільності.

Побудова панельних регресійних рівнянь відбуватиметься засобами програмного інструменту Stata 18. Перш ніж починати будь-які обчислення в програмі, необхідно регламентувати, що всі подальші розрахунки відбуватимуться для панельних даних. Для цього у відповідних налаштуваннях програми (*Statistics* → *Longitudinal/panel data* → *Setup and utilities* → *Declare dataset to be panel data*).

Результати тесту Хаусмана для першої регресійної моделі із залежною змінною $Y3$ представлені на наступному рисунку (рис. 3.16).

```
. hausman fixed random
```

	Coefficients		(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) Std. err.
	(b) fixed	(B) random		
X 2	-.004488	-.0105926	.0061046	.0196195
X 5	-.0017803	.0008349	-.0026152	.0046443
X 6	-.1560314	.0045639	-.1605953	.0958126
X 10	.0581325	.037092	.0210405	.0183784
X 13	.0508216	.0690207	-.0181991	.0339193

b = Consistent under H0 and Ha; obtained from xtreg.
B = Inconsistent under Ha, efficient under H0; obtained from xtreg.

Test of H0: Difference in coefficients not systematic

```
chi2(5) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
          = 5.96
Prob > chi2 = 0.3104
```

Рисунок 3.16 – Результати тесту Хаусмана для першої регресійної моделі із залежною змінною Y_3

Джерело: складено автором

Як бачимо, значення p для отриманого тесту Хаусмана дорівнює 0,3104, що значно перевищує 0,05 і свідчить про те, що для опису функціональних взаємозв'язків між залежною змінною Y_3 та п'ятьма показниками інноваційного розвитку необхідно будувати панельну регресійну модель із випадковими ефектами.

Програмні результати побудови багатофакторної регресійної моделі представлені на наступному рисунку (рис. 3.17).

З огляду на отримані результати параметрів регресійного моделювання побудуємо відповідне регресійне рівняння (13).

$$Y_3 = -1,722 - 0,01X_2 + 0,0008X_5 + 0,004X_6 + +0,037X_{10} + 0,069X_{13} \quad (13)$$

Random-effects GLS regression	Number of obs =	252
Group variable: id	Number of groups =	21
R-squared:	Obs per group:	
Within = 0.0306	min =	12
Between = 0.4707	avg =	12.0
Overall = 0.1225	max =	12
-----(u_i, X) = 0 (assumed)	Wald chi2(5) =	22.54
	Prob > chi2 =	0.0004

Y3	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]
X2	-.0105926	.0119685	-0.89	0.376	-.0340505 .0128652
X5	.0008349	.001485	0.56	0.574	-.0020757 .0037455
X6	-.0045639	.024473	0.19	0.852	-.0434023 .0525302
X10	.037092	.0162163	2.29	0.022	.0053087 .0688753
X13	.0690207	.0163884	4.21	0.000	.0369 .1011414
_cons	-1.7224	1.635058	-1.05	0.292	-4.927056 1.482255
sigma_u	.50670096				
sigma_e	1.8418159				
rho	.07036	(fraction of variance due to u_i)			

Рисунок 3.17 – Результати побудови першої регресійної моделі з випадковими ефектами

Джерело: складено автором

Значення p для критерію Вальда дорівнює 0,0004, що є меншим ніж 0,05 і свідчить про статистичну значущість моделі в цілому. Проте, проаналізувавши імовірність p для відповідних критеріїв z в результативній таблиці регресійних параметрів, лише два отримані значення регресійних параметрів свідчать про статистично значущий вплив на залежну змінну – це параметри змінних $X10$ та $X13$. Тому інтерпретуємо результати саме для цих двох показників:

- зі збільшенням $X10$ (користувачі мережі Інтернет) на 1% $Y3$ (індекс інфляції) збільшиться на 0,037%;
- зі збільшенням $X13$ (ГП) на одиницю $Y3$ (індекс інфляції) збільшиться на 0,069%.

У другій регресійній моделі роль залежної змінної виконує змінна $Y2$. Аналогічно до попередньої регресійної моделі спочатку необхідно визначити її тип за допомогою тесту Хаусмана. Результати даного тесту для другої моделі представлені на рисунку 3.18.

```

. hausman fixed random

      _____ Coefficients _____
      (b)          (B)          (b-B)          sqrt(diag(V_b-V_B))
      fixed       random       Difference       Std. err.
-----+-----+-----+-----+-----
X 2      .2996368    -.0049411     .3045779     .3636926
X 5     -.0052336    -.0127669     .0075333     .0819534
X 6     -.144864     .2220748    -.3669389     1.682938
X 10    -.1942972     .1198374    -.3141346     .3442658
X 13    -.1579914    -.0450152    -.1129762     .6084049
-----+-----+-----+-----+-----

      b = Consistent under H0 and Ha; obtained from xtreg.
      B = Inconsistent under Ha, efficient under H0; obtained from xtreg.

Test of H0: Difference in coefficients not systematic

      chi2(5) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
              = 1.32
      Prob > chi2 = 0.9327

```

Рисунок 3.18 – Результати тесту Хаусмана для другої регресійної моделі із залежною змінною Y_2

Джерело: складено автором

Як бачимо, значення p для отриманого тесту Хаусмана дорівнює 0,9327, що значно перевищує 0,05 і свідчить про те, що для опису функціональних взаємозв'язків між залежною змінною Y_2 та п'ятьма показниками інноваційного розвитку необхідно будувати панельну регресійну модель із випадковими ефектами.

Програмні результати побудови багатофакторної регресійної моделі представлені на наступному рисунку (рис. 3.19).

З огляду на отримані результати параметрів регресійного моделювання побудуємо відповідне регресійне рівняння (14).

$$Y_2 = -4,038 - 0,005X_2 - 0,013X_5 + 0,222X_6 + +0,119X_{10} - 0,045X_{13} \quad (14)$$

```

. xtreg econ5 tech2 tech5 tech6 tech10 tech13,re

Random-effects GLS regression           Number of obs   =       252
Group variable: id                     Number of groups =       21

R-squared:                               Obs per group:
  Within = 0.0001                        min =          12
  Between = 0.1369                       avg =         12.0
  Overall = 0.0080                       max =          12

Wald chi2(5) =          1.98
corr(u_i, X) = 0 (assumed)              Prob > chi2     =       0.8515

```

Y2	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
X2	-.0049411	.1611285	-0.03	0.976	-.3207472	.310865
X5	-.0127669	.0201615	-0.63	0.527	-.0522828	.026749
X6	.2220748	.3121247	0.71	0.477	-.3896783	.8338279
X10	.1198374	.2479024	0.48	0.629	-.3660423	.6057172
X13	-.0450152	.2345082	-0.19	0.848	-.5046429	.4146124
_cons	-4.038361	25.77502	-0.16	0.875	-54.55648	46.47976
sigma_u	0					
sigma_e	31.879478					
rho	0	(fraction of variance due to u_i)				

Рисунок 3.19 – Результати побудови другої регресійної моделі з випадковими ефектами

Джерело: складено автором

Значення p для критерію Вальда для даної моделі дорівнює 0,8515, що є більше ніж 0,05 і свідчить про статистичну незначущість моделі в цілому. Тому інтерпретувати отримані результати регресійного рівняння немає потреби.

У третій регресійній моделі роль залежної змінної виконує змінна $Y1$. Аналогічно до попередньої регресійної моделі спочатку необхідно визначити її тип за допомогою тесту Хаусмана. Результати даного тесту для третьої моделі представлені на рисунку 3.20.

```

. hausman fixed random

      _____ Coefficients _____
      (b)      (B)      (b-B)      sqrt(diag(V_b-V_B))
      fixed    random    Difference    Std. err.
-----+-----+-----+-----+-----
      X2      -.0110214   -.0117693    .0007478          .
      X5       .0032102    .0003526    .0028576    .0006039
      X6       .0819631    .0381954    .0437677    .0132562
      X10      .0329082    .0415231   -.0086149    .0010785
      X13      .0503819    .0314594    .0189225    .002595
-----+-----+-----+-----+-----

      b = Consistent under H0 and Ha; obtained from xtreg.
      B = Inconsistent under Ha, efficient under H0; obtained from xtreg.

Test of H0: Difference in coefficients not systematic

      chi2(5) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
              = 24.79
Prob > chi2 = 0.0002
(V_b-V_B is not positive definite)

```

Рисунок 3.20 – Результати тесту Хаусмана для третьої регресійної моделі із залежною змінною $Y1$

Джерело: складено автором

Як бачимо, значення p для отриманого тесту Хаусмана дорівнює 0,0002, що значно менше ніж 0,05 і свідчить про те, що для опису функціональних взаємозв'язків між залежною змінною $Y1$ та п'ятьма показниками інноваційного розвитку необхідно будувати панельну регресійну модель із фіксованими ефектами.

Програмні результати побудови багатофакторної регресійної моделі представлені на наступному рисунку (рис. 3.21).

З огляду на отримані результати параметрів регресійного моделювання побудуємо відповідне регресійне рівняння (15).

$$Y1 = 1,109 - 0,011X2 + 0,003X5 + 0,082X6 + +0,033X10 + 0,050X13 \quad (15)$$

Fixed-effects (within) regression
Group variable: id

Number of obs = 252
Number of groups = 21

R-squared:
Within = 0.2125
Between = 0.2385
Overall = 0.1848

Obs per group:
min = 12
avg = 12.0
max = 12

corr(u_i, Xb) = -0.7058

F(5, 226) = 12.20
Prob > F = 0.0000

γ_1	Coefficient	Std. err.	t	P> t	[95% conf. interval]	
X2	-.0110214	.0067667	-1.63	0.105	-.0243553	.0023124
X5	.0032102	.0014357	2.24	0.026	.0003812	.0060392
X6	.0819631	.0291163	2.82	0.005	.0245889	.1393373
X10	.0329082	.0072166	4.56	0.000	.0186879	.0471286
X13	.0503819	.0110917	4.54	0.000	.0285256	.0722382
_cons	1.109411	.5585256	1.99	0.048	.0088275	2.209995
sigma_u	3.0157373					
sigma_e	.54229555					
rho	.96867695	(fraction of variance due to u_i)				

F test that all u_i=0: F(20, 226) = 119.52 Prob > F = 0.0000

Рисунок 3.21 – Результати побудови третьої регресійної моделі з фіксованими ефектами

Джерело: складено автором

Значення p для критерію Вальда дорівнює 0,0000, що є меншим ніж 0,05 і свідчить про статистичну значущість моделі в цілому. Проаналізувавши імовірність p для відповідних критеріїв z в результативній таблиці регресійних параметрів, всі значення регресійних параметрів, окрім першого $X1$, свідчать про статистично значущий вплив на залежну змінну. Тому інтерпретуємо результати отриманих параметрів:

- зі збільшенням $X5$ (експорт високотехнологічних товарів та послуг) на 1 дол. $Y1$ (ВВП) збільшиться на 0,003 дол.;
- зі збільшенням $X6$ (експорт ІКТ) на 1% $Y1$ (ВВП) збільшиться на 0,082 дол.;
- зі збільшенням $X10$ (користувачі мережі Інтернет) на 1% $Y1$ (ВВП) збільшиться на 0,033 дол.;
- зі збільшенням $X13$ (ГП) на одиницю $Y1$ (ВВП) збільшиться на 0,050 дол.

У четвертій регресійній моделі роль залежної змінної виконуватиме $X14$, а роль незалежних п'ять показників інноваційного розвитку ($X2$, $X5$, $X6$, $X10$, $X13$) та три макроекономічні показники ($Y3$, $Y2$, $Y1$).

За допомогою тесту Хаусмана визначимо тип панельної регресійної моделі. Результати перевірки представлені на наступному рисунку 3.22.

```
. hausman fixed random
```

	Coefficients		(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) Std. err.
	(b) fixed	(B) random		
Y 3	.0488435	.0473482	.0014953	.0007225
Y 2	.0002882	.0002617	.0000265	.
Y 1	-.0111402	-.0077002	-.00344	.0097768
X 2	.007246	.0071577	.0000884	.0003045
X 5	.0010593	.0006992	.0003601	.0002537
X 6	.0502239	.0407068	.0095171	.005638
X 10	.0050236	.0062666	-.001243	.000511
X 13	-.0159468	-.0180082	.0020614	.0015776

b = Consistent under H0 and Ha; obtained from xtreg.
B = Inconsistent under Ha, efficient under H0; obtained from xtreg.

Test of H0: Difference in coefficients not systematic

$$\text{chi2}(8) = (b-B)'[(V_b-V_B)^{-1}](b-B) = 14.54$$

Prob > chi2 = 0.0688
(V_b-V_B is not positive definite)

Рисунок 3.22 – Результати тесту Хаусмана для четвертої регресійної моделі із залежною змінною $X14$

Джерело: складено автором

Як бачимо, значення p для отриманого тесту Хаусмана є більшим ніж 0,05 і свідчить про те, що для опису функціональних взаємозв'язків між залежною змінною $X14$ та показниками інноваційного розвитку та макроекономічними індикаторами необхідно будувати панельну регресійну модель із випадковими ефектами.

Програмні результати побудови багатofакторної регресійної моделі представлені на наступному рисунку (рис. 3.23).

Random-effects GLS regression	Number of obs =	252
Group variable: id	Number of groups =	21
R-squared:	Obs per group:	
Within = 0.3987	min =	12
Between = 0.2379	avg =	12.0
Overall = 0.2480	max =	12
corr(u_i, X) = 0 (assumed)	Wald chi2(8) =	152.52
	Prob > chi2 =	0.0000

X 14	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
Y 3	.0473482	.0075763	6.25	0.000	.0324989	.0621975
Y 2	.0002617	.0004241	0.62	0.537	-.0005696	.001093
Y 1	-.0077002	.0238847	-0.32	0.747	-.0545133	.039113
X 2	.0071577	.0024792	2.89	0.004	.0022986	.0120168
X 5	.0006992	.0004695	1.49	0.136	-.0002209	.0016193
X 6	.0407068	.0094642	4.30	0.000	.0221573	.0592562
X 10	.0062666	.0027228	2.30	0.021	.0009301	.0116032
X 13	-.0180082	.0039451	-4.56	0.000	-.0257405	-.0102759
_cons	1.290995	.2645495	4.88	0.000	.7724871	1.809502
sigma_u	.73604341					
sigma_e	.19881279					
rho	.93200164	(fraction of variance due to u_i)				

Рисунок 3.23 – Результати побудови четвертої регресійної моделі з фіксованими ефектами

Джерело: складено автором

З огляду на отримані результати параметрів регресійного моделювання побудуємо відповідне регресійне рівняння (16).

$$X_{14} = 1,290 + 0,0472Y_3 + 0,0003Y_2 - 0,008Y_1 + 0,007X_2 + 0,0007X_5 + 0,04X_6 + 0,006X_{10} - -0,018X_{13} \quad (16)$$

Значення p для критерію Вальда дорівнює 0,0000, що є меншим ніж 0,05 і свідчить про статистичну значущість моделі в цілому. Проаналізувавши імовірність p для відповідних критеріїв z в результативній таблиці регресійних параметрів, багато значень регресійних параметрів, окрім Y_2 , Y_1 та X_5 , свідчать про статистично значущий вплив на залежну змінну. Тому інтерпретуємо результати отриманих параметрів:

– зі збільшенням Y_3 (індекс інфляції) на 1% X_{14} (обсяг витрат спрямованих на дослідження і розвиток) збільшиться на 0,0003 %;

- зі збільшенням X_2 (імпорт товарів та послуг інноваційного напрямку) на 1% X_{14} (обсяг витрат спрямованих на дослідження і розвиток) збільшиться на 0,007 %;
- зі збільшенням X_6 (експорт ІКТ) на 1% X_{14} (обсяг витрат спрямованих на дослідження і розвиток) збільшиться на 0,04%;
- зі збільшенням X_{10} (користувачі мережі Інтернет) на 1% X_{14} (обсяг витрат спрямованих на дослідження і розвиток) збільшиться на 0,006%;
- зі збільшенням X_{13} (ГП) на одиницю X_{14} (обсяг витрат спрямованих на дослідження і розвиток) зменшиться на 0,018%.

3.3 Розробка рекомендацій за результатами проведених розрахунків

Технологічний розвиток є одним з важливих та впливових факторів економічного росту і включає застосування комплексу виробничих методів і наукових підходів, а технологія визначається як характер і якість технічних засобів, що залежать від використання певного відсотка робочої сили. В умовах сучасного прогресу вивчення та моделювання взаємодії макроекономічних та інноваційних процесів стає стратегічно важливим завданням для економічно розвинених країн, оскільки це дозволяє не лише пристосовуватися до змін у сучасному світі, але й активно впливати на напрями та темпи технологічного розвитку.

У процесі аналізу ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах виявлено ряд важливих висновків, що визначають сучасну динаміку технологічного прогресу та його вплив на економічні показники. Такі макроекономічні показники держави, як ВВП на душу населення, витрати на інноваційні дослідження та розробки та їх обсяг інвестицій, конкурентоспроможність країни на глобальному ринку відіграють величезну роль у формування та розвитку стійкої економічної бази для технологічного прогресу. Ефективне управління цими макроекономічними показниками забезпечує стале

зростання інноваційних секторів та відкриває нові перспективи для економічно розвинених країн.

Результати проведеного моделювання вказують на значущі зміни у технічному розвитку економічно розвинених країн у період з 2011 по 2022 роки. Серед цих країн особливо виділяється США, де спостерігаються найвищі темпи росту та абсолютний приріст за показниками технічного розвитку. Такий результат свідчить про високий рівень інноваційної активності та успішну імплементацію технологічних нововведень. У порівнянні із іншими економічно розвиненими країнами у нашому дослідженні, Великобританія демонструє найменші темпи та абсолютний приріст у технічному розвитку. Це вказує на необхідність уважної оптимізації стратегій розвитку, адаптованих до сучасних глобальних реалій. Отримані результати свідчать про те, що країні, яка відзначається низькими темпами росту, необхідно активно працювати над вдосконаленням стратегій економічного та науково-технічного розвитку, важливо розробити та впровадити нові рекомендації, спрямовані на вдосконалення внутрішніх процесів країни.

ВИСНОВКИ

В межах представленої теми дослідження було сформульовану мету, яка полягала в розробці підходу щодо моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах. Для її досягнення було сформульовано дев'ять задач, кожна з яких була успішно досягнута.

Під час аналізу поняття технологічного розвитку країни та макроекономічних показників економічно розвинених країн було визначено, що технологічний розвиток країни представляє собою процес впровадження та розвитку нових технологій, методів виробництва, інновацій та наукових досягнень в різних сферах економіки та суспільства.

Систематизація існуючих теоретичних підходів щодо дослідження у галузі технологічного розвитку та економіки дозволила виявити позитивну тенденцію в динаміці кількості опублікованих матеріалів конференцій та статей за ключовими словами «technical development» та «economics» в міжнародній базі Scopus протягом 2000-2023 років.

У межах сформульованих задач моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах в якості масиву вхідних змінних виступали чотирнадцять показників інноваційного розвитку та три макроекономічні показники для 11 країн з розвинутою економікою.

Запропонований методологічний підхід моделювання включає комплексне поєднання наступних методів: метод головних компонент – для відбору показників, які здійснюють найбільш значимий вплив серед всієї сукупності вхідних змінних; канонічний аналіз – для ідентифікації взаємозв'язку між групами змінних; панельний багатofакторний регресійний аналіз – для ідентифікації функціональних взаємозв'язків між досліджуваними змінними.

За допомогою методу головних компонент було відібрано вісім найбільш релевантних показників інноваційного розвитку, які були включені в наступні два

етапи моделювання. Під час канонічного аналізу виявлено, що 32,503% та 37,557% варіації досліджуваних показників інноваційного розвитку у 2011 та 2021 роках обумовлюється зміною досліджуваних макроекономічних показників. З іншої сторони зміна показників макроекономічної стабільності країн на 46,497% (2011 рік) та 38,739% (2021 рік) обумовлюється варіацією показників інноваційного розвитку.

На основі проведеного панельного регресійного моделювання виявлено, що технологічний розвиток економічного розвинених країн обумовлюється більшою мірою її інноваційного діяльністю, а не економічним зростанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Adeola, O. O., & Aziakpono, M. (2022). Unlocking the relationship between capital flows and economic growth in a small open economy of Kenya: An empirical investigation. *Cogent Economics & Finance*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2022.2085608>.
2. Afzal, Ayesha, and Anusheh Ali Gauhar. The Dark Side of Financial Innovation: Deterrent for Economic Growth. *Academy of Accounting and Financial Studies Journal*. 2020. 24: 1–11. URL: <https://ssrn.com/abstract=3878148> (дата звернення: 15.11.2023).
3. Alexander, T., Dziobek, C., & Galeza, T. (2018). Sustainable Development Goals (SDGs) and GDP: What national accounts bring to the table. *IMF Working Paper*, 18(41), 1. <https://doi.org/10.5089/9781484345894.001>.
4. Arif, Umaima, and Eatzaz Ahmad. A framework for analyzing the impact of fiscal decentralization on macroeconomic performance, governance and economic growth. *Singapore Economic Review*. 2020. 65: 3–39.
5. Ascani, Andrea, Pierre-Alexandre Balland, and Andrea Morrison. Heterogeneous Foreign Direct Investment and Local Innovation in Italian Provinces. *Structural Change and Economic Dynamics*. 2020. 53: 388–401.
6. Berggren, Caroline, and Anders Olofsson. A societal perspective on self-employment—Sweden as an example. *Studies in Higher Education (Dorchester-on-Thames)*. 2021. 46: 1436–48.
7. Burke, Andrew, Serhiy Lyalkov, Ana Millan, José María Millan, and André Stel. How Do Country R&D Change the Allocation of Self-Employment Across Different Types? *Small Business Economics*. 2019. 56: 695–721.
8. Carvalho, Luciana, and Ana Paula Macedo Avellar. Innovation and productivity: Empirical evidence for Brazilian industrial enterprises. *Revista de Administração*. 2017. 52: 134–47.

9. Cedano, K. G., & Hernández-Granados, A. (2021). Defining strategies to improve success of technology transfer efforts: An integrated tool for risk assessment. *Technology in Society*, 64, 101517. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101517>.
10. Chen, S., & Dauchy, E. (2018). International Technology Sourcing and Knowledge Spillovers: Evidence from OECD Countries. IMF Working Paper, 18(51), 1. <https://doi.org/10.5089/9781484345429.001>.
11. Cirera, Xavier, Jaime Frias, Justin Hill, and Yanchao Li. A Practitioner's Guide to Innovation Policy. Instruments to Build Firm Capabilities and Accelerate Technological Catch-Up in Developing Countries. World Bank Group. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/158861581492462334/pdf/A-Practitioner-s-Guide-to-Innovation-Policy-Instruments-to-Build-Firm-Capabilities-and-Accelerate-Technological-Catch-Up-in-Developing-Countries.pdf> (дата звернення: 15.11.2023).
12. Coad, Alex, Paul Nightingale, Jack Stilgoe, and Antonio Vezzani. Editorial: The dark side of innovation. *Industry and Innovation*. 2021. 28: 102–12.
13. Çolak, M., Güney, İ. E., & Hacıhasanoğlu, Y. S. (2020). The Relationship between Economic Uncertainty and Firms' Balance Sheet Strength. In IntechOpen eBooks. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91860>.
14. Contreras, Dante, Roberto Gillmore, and Esteban Puentes. Self-Employment and Queues for Wage Work: Evidence from Chile. *Journal of International Development*. 2017. 29: 473–99.
15. Countries and Economies. World Bank. URL: <https://data.worldbank.org/country>.
16. Deineha, O., Chymosh, K., Kobylynska, T. V., Nazarov, O., Liapa, M., & Sapotnitska, N. (2021). Adaptive management of transport logistics in agricultural enterprises. *Journal of Agriculture and Crops*, 81, 20–26. <https://doi.org/10.32861/jac.81.20.26>.
17. Dempere, Juan, and Alexandrina M. Pauceanu. The Impact of Economic-Related Freedoms on the National Entrepreneurial Activity. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 2022. 11: 1–20.

18. Didenko, I., Valaskova, K., Artyukhov, A., Lyeonov, S., & Vasa, L. QUALITY OF SCIENTIFIC ACTIVITY AS A DETERMINANT OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT. *Economics and Sociology*. 2022. 15(3), 301-318. doi:10.14254/2071-789X.2022/15-3/17.
19. Dima, Alina, Liviu Begu, Maria Vasilescu, and Maria Maassen. 2018. The Relationship between the Knowledge Economy and Global Competitiveness in the European Union. *Sustainability*. 2018. 10: 1706.
20. Dirir, S. A. (2023). THE POTENTIAL OF MACROECONOMIC FACTORS IN SHAPING THE LANDSCAPE OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT: a TESTIMONIAL FROM UPPER-MIDDLE-INCOME COUNTRIES. *Business, Management and Economics Engineering*, 21(01), 84–105. <https://doi.org/10.3846/bmee.2023.18360>
21. Doronina, O. & Karpenko, A. Human potential and innovation as drivers of competitiveness in the new economy. *Roczniki Ekonomiczne Kujawsko-Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy*. 2019. 12, 71-81. URL: <http://bazekon.icm.edu.pl/bazekon/element/bwmeta1.element.ekon-element-000171589569> (дата звернення: 15.11.2023).
22. Durmaz, A., & Yıldız, Ü. C. (2020). YÜKSEK TEKNOLOJİ İHRACATI SÜRECİNDE İNOVASYONUN ETKİSİ: BRICS ÜLKE-LERİ ÜZERİNE BİR ANALİZ. *Uluslararası İktisadi Ve İdari İncelemeler Dergisi*, 28, 193–202. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.734893>.
23. Eliakis, S., Kotsopoulos, D., Karagiannaki, A., & Pramadari, K. (2020). Survival and Growth in Innovative Technology Entrepreneurship: A Mixed-Methods Investigation. *Administrative Sciences*, 10(3), 39. <https://doi.org/10.3390/admsci10030039>.
24. F.W. Geels, Co-evolutionary and multi-level dynamics in transitions: The transformation of aviation systems and the shift from propeller to turbojet (1930–1970), *Technovation*, Volume 26, Issue 9, 2006, Pages 999-1016, ISSN 0166-4972, <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2005.08.010>.
25. General Assembly. International Year of Creative Economy for Sustainable Development. 2021. Seventy-fourth session. Second Committee. Agenda item 17.

Macroeconomic policy questions. URL: <https://undocs.org/en/A/C.2/74/L.16/Rev.1> (дата звернення: 15.11.2023).

26. Geng, L., Hui, H., Liang, X., Yan, S., & Xue, Y. (2023). Factors affecting intention toward ICT adoption in rural entrepreneurship: Understanding the differences between business types of organizations and previous experience of entrepreneurs. *SAGE Open*, 13(3). <https://doi.org/10.1177/21582440231197112>.

27. Global Creativity Report. Report by Cannes Lions. URL: <https://www.canneslions.com/2019-global-creativity-report> (дата звернення: 15.11.2023).

28. Global Innovation Index. Report 2019. URL: https://www.globalinnovationindex.org/userfiles/file/reportpdf/gi_i-full-report-2019.pdf (дата звернення: 15.11.2023).

29. Hameed, K., Arshed, N., Yazdani, N., & Munir, M. (2021). Motivating business towards innovation: A panel data study using dynamic capability framework. *Technology in Society*, 65, 101581. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101581>.

30. Harris, W. L., & Wonglimpiyarat, J. (2020). R&D Investments and Strategic Use of Financial Models. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 17(04). <https://doi.org/10.1142/s0219877020500303>.

31. Human Development Report. Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in Human Development in the 21st Century. URL: <http://report2019.archive.s3-website-us-east-1.amazonaws.com/> (дата звернення: 15.11.2023)..

32. Kalenyuk, I., Grishnova, O., Tsymbal, L., Djakona, A., Panchenko, E. Formation of intellectual corporate capital: methods and modern trends. *Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. 2020. 1, 182-191.

33. Karpenko, A.V. Development of intellectual assets of human potential: theory and practice. 2018. FOP V.V. Mokshanov, Zaporozhye.

34. Karpenko, A., & Basenko, K. Highly Effective Corporate Culture as an Instrument of Talents' Attracting and Retaining. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2017. 3(4), 101-106.

35. Khayyat, N. T., & Lee, J. (2015). A measure of technological capabilities for developing countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 92, 210–223. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.09.003>.
36. Knowledge, Technology and Complexity in Economic Growth. Harvard University: веб-сайт. URL: [https://rcc.harvard.edu/knowledge-technology-and-complexity-economic-growth#:~:text=In%20economics%2C%20it%20is%20widely,is%20what%20prosperity%20depends%20on](https://rcc.harvard.edu/knowledge-technology-and-complexity-economic-growth#:~:text=In%20economics%2C%20it%20is%20widely,is%20what%20prosperity%20depends%20on.). (дата звернення: 15.11.2023).
37. Li, B., Zhang, Y., Li, X., Eskandari, Z., & He, Q. (2023). Bifurcation analysis and complex dynamics of a Kopel triopoly model. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 426, 115089. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2023.115089>.
38. Masoud, R., & Basahel, S. (2023). The effects of digital transformation on firm performance: the role of customer experience and IT innovation. *Digital*, 3(2), 109–126. <https://doi.org/10.3390/digital3020008>.
39. Melnyk, O., & Злотнік, М. (2020). The essence and basic models of strategic enterprise management. *Economics, Entrepreneurship, Management*, 7(1), 48–62. <https://doi.org/10.23939/eem2020.01.048>.
40. Mian, A., & Sufi, A. (2018). Finance and Business Cycles: The Credit-Driven Household Demand Channel. *Journal of Economic Perspectives*, 32(3), 31–58. <https://doi.org/10.1257/jep.32.3.31>.
41. Mohamed, M.M.A.; Liu, P.; Nie, G. Causality between Technological Innovation and Economic Growth: Evidence from the Economies of Developing Countries. *Sustainability* 2022, 14, 3586. <https://doi.org/10.3390/su14063586>. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/6/3586>.
42. Munir Ahmad, Elma Satrovic, Role of economic complexity and government intervention in environmental sustainability: Is decentralization critical?, *Journal of Cleaner Production*, Volume 418, 2023, 138000, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138000>.

43. Ning, Y., & Zhang, Y. (2023). Does digital finance improve corporate ESG performance? an intermediary role based on financing constraints. *Sustainability*, 15(13), 10685. <https://doi.org/10.3390/su151310685>.
44. Pang, S., Hua, G. K. H., & Liu, H. (2023). How do R&D capital market distortions affect innovation efficiency in China? Some evidence about spatial interaction and spillover effects. *Socio-Economic Planning Sciences*, 90, 101739. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101739>.
45. Petryk, O., Semenov, A., Hnatenko, I., Samiilenko, A., Rubezhanska, V., & Patsarniuk, O. (2020). Conceptual model for assessing the investment attractiveness of innovative projects of industrial enterprises. *Accounting*, 1345–1350. <https://doi.org/10.5267/j.ac.2020.8.015>.
46. Shaulska, L., Doronina, O., Naumova, M., Honcharuk, N., Bondarevska, K., & Tomchuk, O. Cross-country clustering of labor and education markets in the system of strategic economic management. *Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas (REICE)*. 2020. 18(16).
47. Shaulska, L., Yakymova, N., & Krymova, M. Innovative employment in the structure of the modern labor market. *EJTS European Journal of Transformation Studies*. 2020. 8(1), 79-92.
48. Stasiak-Betlejewska, R., Pârv, L., & Gliń, W. (2018). The influence of industry 4.0 on the enterprise competitiveness. *Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, 1(1), 641–648. <https://doi.org/10.2478/mape-2018-0081>.
49. Szarowská, I. (2017). Does public R&D expenditure matter for economic growth? *Journal of International Studies*, 10(2), 90–103. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2017/10-2/6>.
50. Tangen, S. (2004). Performance measurement: from philosophy to practice. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 53(8), 726–737. <https://doi.org/10.1108/17410400410569134>.
51. Technological Innovation and Economic Growth. *Scholarly Community Encyclopedia: веб-сайт*. URL: <https://encyclopedia.pub/entry/21673> (дата звернення: 14.11.2023).

52. The Digital Economy and Society Index. (2020). DESI. Available at: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi> (дата звернення: 15.11.2023).
53. The Global Competitiveness Report. (2019). World Economic Forum. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf (дата звернення: 15.11.2023).
54. Tvaronaviciene, M., Jurgelevicius, A. The new concept of human capital and its impact on economy in European countries. *Polish Journal of Management Studies*. 2020.
55. Vogiantzi, C., & Τσερπές, Κ. (2023). On the Definition, Assessment, and Enhancement of Circular Economy across Various Industrial Sectors: A Literature Review and Recent Findings. *Sustainability*, 15(23), 16532. <https://doi.org/10.3390/su152316532>.
56. Wikhamn, B. R., & Wikhamn, W. (2013). Structuring of the open innovation field. *Journal of Technology Management & Innovation*, 8(3), 31–32. <https://doi.org/10.4067/s0718-27242013000400016>.
57. World Development Indicators, World Bank. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (дата звернення 05.11.2023).
58. World Economic Forum. International Organization for Public-Private Cooperation. URL: <https://www.weforum.org/> (дата звернення: 15.11.2023).
59. World Intellectual Property Organization. URL: <https://www.wipo.int/portal/en/index.html> (дата звернення 05.11.2023).
60. Yang, L., Ma, Z., & Xu, Y. (2023). How does the digital economy affect ecological well-being performance? Evidence from three major urban agglomerations in China. *Ecological Indicators*, 157, 111261. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111261>.
61. Yusuf, R. A., & Nguyen, L. T. Q. (2023). Shadow economy and FDI: the role of corruption and land resource. *Journal of Economics and Development*, 25(2), 171–182. <https://doi.org/10.1108/jed-10-2022-0214>.
62. Zhan, J., & Santos-Paulino, A. U. (2021). Investing in the Sustainable Development Goals: Mobilization, channeling, and impact. *Journal of International Business Policy*, 4(1), 166–183. <https://doi.org/10.1057/s42214-020-00093-3>.

63. База даних Scopus. URL: <https://www.scopus.com> (дата звернення 05.11.2023).
64. Бурковська, А. В., & Koval, P. (2023). Innovative technologies in the banking sector of Ukraine in the period of digitalization. *Visnik Agrarnoi Nauki Pričornomor'â*, 27(1). <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/1.2023.51>.
65. Інноваційна діяльність як один з головних факторів економічного розвитку підприємств: веб-сайт. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/187298274.pdf> (дата звернення: 15.11.2023).
66. Казакова Л. О., Шпонтак В. С. Інновації як засіб економічного розвитку держави та їхній вплив на формування світового господарства. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2021. № 40. С. 42–47. DOI: : 10.32782/2413-9971/2021-40-8. http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/40_2021ua/10.pdf.
67. Краус Н. М. К 78 Інноваційна економіка в глобалізованому світі: інституціональний базис формування та траєкторія розвитку: монографія. – Київ: Аграр Медіа Груп, 2019. – 492 с. <https://core.ac.uk/download/pdf/187133941.pdf>.
68. Лазутін, Г. Сучасні тенденції розвитку інноваційної діяльності. *Економіка і прогнозування*. 2003. №2. С.99-114. http://eip.org.ua/docs/EP_03_2_99_uk.pdf.
69. Нагорняк Г. Роль державної інноваційної політики у забезпеченні розвитку економіки України. *Соціально-економічні проблеми і держава*. 2012. Вип. 1 (6). С. 202-209. <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2012/12ngsreu.pdf>.
70. Черваньов Д. М., Жилінська О. І. Науково-технічна конкурентоспроможність країни: підходи до визначення. *Наука та наукознавство*. 2006. № 1. С. 15-27. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/49547/02-Chervanev.pdf?sequence=1>.

ДОДАТКИ
ДОДАТОК А

SUMMARY

Babenko V. Modeling of Critical Macroeconomic and Innovative Prerequisites for Technological Development in Economically Developed Countries. – Masters-level Qualification Thesis. Sumy State University, Sumy, 2023

The master's thesis analyzes the essence of the concept of technological development of the country and the analysis of macroeconomic indicators of economically developed countries; existing theoretical approaches were systematized; the requirements for methodological support of modeling assessment of key macroeconomic and innovative prerequisites of technological development are formulated.

Keywords: macroeconomic indicators, innovations, innovative development, technological development.

АНОТАЦІЯ

Бабенко В.С. Моделювання ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку в економічно розвинених країнах. – Кваліфікаційна магістерська робота. Сумський державний університет, Суми, 2023 р.

У роботі проаналізовано сутність поняття технологічного розвитку країни та аналіз макроекономічних показників економічно розвинених країн; проведено систематизацію існуючих теоретичні підходів; сформульовано вимоги до методологічного забезпечення моделювання оцінки ключових макроекономічних та інноваційних передумов технологічного розвитку.

Ключові слова: макроекономічні показники, інновації, інноваційний розвиток, технологічний розвиток.

ДОДАТОК Б

Країна	Рік	Витрати на дослідження та розробки	Абсолютний приріст	Темп росту	ВВП на душу населення	Абсолютний приріст	Темп росту	Прямі іноземні інвестиції, чисті надходження (% від ВВП)	Абсолютний приріст	Темп росту
Великобританія	2011	1,63999			4,21507			1,013052		
Великобританія	2012	1,56888	-0,07111	0,95664	4,248559	0,033489	1,007945	1,727454	0,714402	1,705197
Великобританія	2013	1,6102999	0,04142	1,026401	4,344909	0,096351	1,022678	1,955026	0,227572	1,131738
Великобританія	2014	1,63097	0,02067	1,012836	4,744759	0,39985	1,092027	1,921245	-0,03378	0,982721
Великобританія	2015	1,63424	0,00327	1,002005	4,507107	-0,23765	0,949913	1,544657	-0,37659	0,803987
Великобританія	2016	1,64281	0,00857	1,005244	4,114608	-0,3925	0,912915	12,03164	10,48698	7,789197
Великобританія	2017	1,6598099	0,017	1,010348	4,062269	-0,05234	0,98728	4,671487	-7,36015	0,388267
Великобританія	2018	1,70494	0,04513	1,02719	4,330631	0,268362	1,066062	-0,87054	-5,54203	-0,18635
Великобританія	2019	1,7079901	0,00305	1,001789	4,274708	-0,05592	0,987087	0,692697	1,563236	-0,79571
Великобританія	2020	1,7110401	0,00305	1,001786	4,031842	-0,24287	0,943185	4,898158	4,205461	7,071138
Великобританія	2021	1,7140902	0,00305	1,001783	4,65859	0,626748	1,15545	0,189665	-4,70849	0,038722
Великобританія	2022	1,7171403	0,00305	1,001779	4,585043	-0,07355	0,984213	1,437046	1,247381	7,576758
США	2011	2,76525			5,006597			1,689113		
США	2012	2,6816599	-0,08359	0,969771	5,178442	0,171845	1,034324	1,540208	-0,1489	0,911844
США	2013	2,71154	0,02988	1,011142	5,329113	0,150671	1,029096	1,710668	0,170459	1,110673
США	2014	2,7215099	0,00997	1,003677	5,512385	0,183272	1,034391	1,435021	-0,27565	0,838866
США	2015	2,7820599	0,06055	1,022249	5,676273	0,163888	1,029731	2,809148	1,374126	1,957565
США	2016	2,84585	0,06379	1,022929	5,786674	0,110402	1,01945	2,537498	-0,27165	0,903298
США	2017	2,89572	0,04987	1,017524	5,990775	0,204101	1,035271	1,955211	-0,58229	0,770527
США	2018	3,0008199	0,1051	1,036295	6,282331	0,291556	1,048667	1,045704	-0,90951	0,534829
США	2019	3,16609	0,16527	1,055075	6,512039	0,229709	1,036564	1,477875	0,432171	1,413282
США	2020	3,4501801	0,28409	1,089729	6,352863	-0,15918	0,975557	0,65698	-0,8209	0,444544
США	2021	3,7342701	0,28409	1,082341	7,021947	0,669084	1,10532	2,114876	1,457896	3,219089
США	2022	4,0183601	0,28409	1,076076	7,639859	0,617912	1,087997	1,524104	-0,59077	0,720659
Китай	2011	1,78034			0,561439			3,708807		
Китай	2012	1,91214	0,1318	1,074031	0,630058	0,06862	1,122221	2,827105	-0,8817	0,762268
Китай	2013	1,99786	0,08572	1,044829	0,702039	0,07198	1,114244	3,039855	0,21275	1,075254
Китай	2014	2,0224299	0,02457	1,012298	0,763607	0,061569	1,0877	2,559248	-0,48061	0,841898
Китай	2015	2,0570099	0,03458	1,017098	0,801645	0,038037	1,049812	2,192178	-0,36707	0,856571
Китай	2016	2,1003301	0,04332	1,02106	0,809439	0,007794	1,009723	1,555637	-0,63654	0,709631
Китай	2017	2,11603	0,0157	1,007475	0,881705	0,072266	1,089279	1,349124	-0,20651	0,867248
Китай	2018	2,1405799	0,02455	1,011602	0,990541	0,108836	1,123438	1,693894	0,344771	1,255552
Китай	2019	2,2446301	0,10405	1,048608	1,014386	0,023845	1,024073	1,310716	-0,38318	0,773788
Китай	2020	2,4009299	0,1563	1,069633	1,040872	0,026486	1,02611	1,723176	0,41246	1,314683
Китай	2021	2,5572298	0,1563	1,0651	1,26175	0,220879	1,212205	1,930786	0,207611	1,120481
Китай	2022	2,7135296	0,1563	1,061121	1,272022	0,010271	1,00814	1,002979	-0,92781	0,519467

Рисунок Б1 – Результати визначення показників динаміки