

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Навчально-науковий інститут бізнесу, економіки та менеджменту
(повна назва інституту/факультету)
Кафедра економічної кібернетики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталія КОЙБІЧУК

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 051 , Економіка

(код та назва)

освітньо-професійної програми Економічна кібернетика та бізнес аналітика

(освітньо-професійної / освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Економіко-математичне моделювання взаємозв'язку розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України

Здобувача (ки) групи ЕК-01а Чепель Катерина Олександрівна

(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)

Катерина Чепель

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник асистент кафедри економічної кібернетики Сумського державного

університету, доктор філософії, Тетяна ДОЦЕНКО

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


(підпис)

Консультант¹⁾

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

(підпис)

Суми – 2024

Примітки:

1) Зазначається за наявності

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
_____ Віталія КОЙБІЧУК
“26” березня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ НА
ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
(спеціальність 051 Економіка «Економічна кібернетика та бізнес аналітика»)
студенту 4 курсу, групи ЕК-01а
Чепель Катерина Олександрівна

1. Тема роботи «Економіко-математичне моделювання взаємозв'язку розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України. Economic and mathematical modelling of the relationship between the development of the computer programming industry and the digital transformation of Ukrainian regions» затверджена наказом по університету від 08 травня 2024 року №0486-VI.
2. Термін подання студентом закінченої роботи «24» травня 2024 року
3. Мета кваліфікаційної роботи: розробка структурно-логічної моделі взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.
4. Об'єкт дослідження: взаємозв'язки розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.
5. Предмет дослідження: математичні методи та моделі оцінювання взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.
6. Кваліфікаційна робота виконується на матеріалах законодавчих та нормативних акти, статистичних даних сайту Міністерства цифрової трансформації України та Державної служби статистики України, навчальних посібників, наукових публікацій іноземних та вітчизняних дослідників
7. Орієнтовний план кваліфікаційної роботи, терміни подання розділів керівникові та зміст завдань для виконання поставленої мети
Розділ 1. Загальна характеристика об'єкта дослідження та побудова математичної моделі
У розділі 1.
 - 1.1 Аналіз предметної галузі та виявлення найбільш вагомих параметрів об'єкта дослідження.
 - 1.2 Огляд сучасного стану моделювання об'єкта дослідження.
 - 1.3 Постановка задачі моделювання та формування вимог до моделі.
 - 1.4 Розробка математичної моделі.

Розділ 2. Перевірка адекватності моделі та пропозиції по її використанню
У розділі 2.

2.1 Перевірка адекватності побудованої математичної моделі.

2.2 Побудова методики проектувальних розрахунків.

2.3 Розробка програмного застосунку для автоматизації методики розрахунків.

8. Консультації з роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Доценко Т.В., асистент кафедри Економічної кібернетики	01/04/2024	01/04/2024
2	Доценко Т.В., асистент кафедри Економічної кібернетики	05/04/2024	05/04/2024
3			

9. Дата видачі завдання: «01» квітня 2024 року

Керівник кваліфікаційної роботи

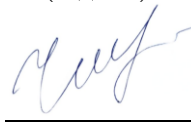


(підпис)

Т.В. Доценко

(ініціали, прізвище)

Завдання до виконання одержав



(підпис)

К.О. Чепель

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

кваліфікаційної роботи бакалавра на тему
«ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ
РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ТА ЦИФРОВОЇ
ТРАНСФОРМАЦІЇ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»
Студента Чепель Катерина Олександрівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

Зміст кваліфікаційної роботи викладено на 60 сторінках. Список використаних джерел із 45 найменувань, розміщений на 5 сторінках. Робота містить 11 таблиць, 22 рисунків, а також 2 додатки, розміщених на 5 сторінках.

Актуальність теми дослідження. У сучасному світі, де інформаційні технології стрімко розвиваються, галузь комп'ютерного програмування відіграє ключову роль у забезпеченні цифрової трансформації різних секторів економіки. Цифрова трансформація, в свою чергу, стає визначальним фактором економічного зростання та конкурентоспроможності регіонів. Тому дослідження взаємозв'язку між розвитком галузі комп'ютерного програмування та цифровою трансформацією регіонів України є актуальним та необхідним для розуміння тенденцій і перспектив розвитку цих процесів.

Галузь комп'ютерного програмування є однією з найбільш динамічних і перспективних галузей в Україні. Вона забезпечує створення програмного забезпечення, яке є основою для функціонування цифрових технологій та їх впровадження в різні сфери економіки. Розвиток цієї галузі безпосередньо впливає на темпи цифрової трансформації регіонів, оскільки забезпечує їх необхідними інструментами та рішеннями.

Цифрова трансформація регіонів, в свою чергу, передбачає комплексну модернізацію різних сфер економіки та суспільного життя за допомогою цифрових технологій. Це включає впровадження інформаційно-комунікаційних технологій, розвиток електронних послуг, цифровізацію промисловості, сільського господарства, освіти та інших галузей. Успішна цифрова трансформація дозволяє підвищити

ефективність і конкурентоспроможність регіональної економіки, покращити якість життя населення та забезпечити сталий розвиток регіонів.

Мета роботи – розробка структурно-логічної моделі взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.

Об'єктом дослідження є взаємозв'язки розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.

Предметом дослідження виступають математичні методи та моделі оцінювання взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.

Методи дослідження: аналіз літературних джерел (з метою поглибленого вивчення теоретичних аспектів обраного напрямку дослідження); бібліометричний аналіз на основі наукометричної бази Scopus із використанням інструментарію VOSViewerv.1.6.15 (з метою дослідження ключових понять аналізу); статистичний пакет Statistica (з метою побудови моделі); карта регіонів (для аналізу досліджуваних взаємозв'язків); канонічний аналіз на основі канонічних кореляцій (для доведення наявності і характеру взаємозв'язків між групами показників); факторний аналіз (для аналізу та побудови інтегральних показників); регресійний аналіз.

Інформаційна база. Кваліфікаційна робота виконується на статистичних даних сайту Міністерства цифрової трансформації України та Державної служби статистики України за період 2020-2022 рр., навчальних посібників, наукових публікацій іноземних та вітчизняних дослідників. Ресурсна база інформаційної платформи Scopus – для бібліометричного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці структурно-логічної економіко-математичної моделі взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України. Для вирішення поставлених завдань використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження.

Рекомендації щодо використання результатів дослідження. Результати цього дослідження можна використати для формування стратегій регіонального розвитку та цифрової трансформації регіонів України. Економіко-математичні моделі

допоможуть визначити ключові чинники, що впливають на розвиток галузі комп'ютерного програмування та цифровізацію регіонів, а також кількісно оцінити взаємозв'язки між цими процесами. Це дозволить приймати більш обґрунтовані рішення щодо розподілу ресурсів, стимулювання розвитку перспективних напрямків ІТ-галузі та прискорення цифрової трансформації регіонів. Результати можуть бути використані для розробки освітніх програм, спрямованих на підготовку кваліфікованих кадрів для ІТ-індустрії та цифрової економіки.

Апробація результатів дослідження. Тези: Чепель К.О., Доценко Т. В. (2024). Взаємозв'язок комп'ютерного програмування та цифрової трансформації: теоретичний аналіз. Цифрові навички: виклики та можливості: наукова онлайн-конференція, Суми, 5 червня 2024 року. Сумський державний університет, 2024.

Ключові слова: інтегральні показники, канонічні кореляції, канонічний аналіз, карта регіонів, комп'ютерне програмування, факторний аналіз, цифрова трансформація.

Рік виконання кваліфікаційної роботи – 2024 рік.

Рік захисту роботи – 2024 рік.

Зміст

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ	11
1.1 Аналіз предметної галузі та виявлення найбільш вагомих параметрів об’єкта дослідження	11
1.2. Огляд сучасного стану моделювання об’єкта дослідження	19
1.3. Постановка задачі моделювання та формування вимог до моделі	23
1.4. Розробка математичної моделі	24
РОЗДІЛ 2. ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ПО ЇЇ ВИКОРИСТАННЮ	31
2.1 Перевірка адекватності побудованої математичної моделі.....	31
2.2 Побудова методики проектувальних розрахунків.....	33
2.3 Розробка програмного застосунку для автоматизації методики розрахунків ...	45
ВИСНОВОК.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	51
ДОДАТКИ.....	56

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасному світі, де інформаційні технології стрімко розвиваються, галузь комп'ютерного програмування відіграє ключову роль у забезпеченні цифрової трансформації різних секторів економіки. Цифрова трансформація, в свою чергу, стає визначальним фактором економічного зростання та конкурентоспроможності регіонів. Тому дослідження взаємозв'язку між розвитком галузі комп'ютерного програмування та цифровою трансформацією регіонів України є актуальним та необхідним для розуміння тенденцій і перспектив розвитку цих процесів.

Галузь комп'ютерного програмування є однією з найбільш динамічних і перспективних галузей в Україні. Вона забезпечує створення програмного забезпечення, яке є основою для функціонування цифрових технологій та їх впровадження в різні сфери економіки. Розвиток цієї галузі безпосередньо впливає на темпи цифрової трансформації регіонів, оскільки забезпечує їх необхідними інструментами та рішеннями.

Цифрова трансформація регіонів, в свою чергу, передбачає комплексну модернізацію різних сфер економіки та суспільного життя за допомогою цифрових технологій. Це включає впровадження інформаційно-комунікаційних технологій, розвиток електронних послуг, цифровізацію промисловості, сільського господарства, освіти та інших галузей. Успішна цифрова трансформація дозволяє підвищити ефективність і конкурентоспроможність регіональної економіки, покращити якість життя населення та забезпечити сталий розвиток регіонів.

Предметом дослідження виступають математичні методи та моделі оцінювання взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.

Об'єктом дослідження є взаємозв'язки розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.

Мета роботи – розробка структурно-логічної моделі взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.

Завданнями роботи є: охарактеризувати предметну галузь та виявити найбільш вагомні параметри об'єкта дослідження; проаналізувати сучасний стан моделювання об'єкта дослідження; сформулювати постановку задачі моделювання та вимог до моделі; розробити математичну модель; перевірити адекватність побудованої математичної моделі; побудувати методику проектувальних розрахунків; розробити програмний застосунок для автоматизації методики розрахунків.

Методи дослідження: аналіз літературних джерел (з метою поглибленого вивчення теоретичних аспектів обраного напрямку дослідження); бібліометричний аналіз на основі наукометричної бази Scopus із використанням інструментарію VOSViewerv.1.6.15 (з метою дослідження ключових понять аналізу); статистичний пакет Statistica (з метою побудови моделі); карта регіонів (для аналізу досліджуваних взаємозв'язків); канонічний аналіз на основі канонічних кореляцій (для доведення наявності і характеру взаємозв'язків між групами показників); факторний аналіз (для аналізу та побудови інтегральних показників); регресійний аналіз.

Інформаційна база. Кваліфікаційна робота виконується на статистичних даних сайту Міністерства цифрової трансформації України та Державної служби статистики України за період 2020-2022 рр., навчальних посібників, наукових публікацій іноземних та вітчизняних дослідників. Ресурсна база інформаційної платформи Scopus – для бібліометричного аналізу.

Основний науковий результат кваліфікаційної роботи. Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці структурно-логічної економіко-математичної моделі взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України. Для вирішення поставлених завдань використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження.

Апробація результатів дослідження. Тези: Чепель К.О., Доценко Т. В. (2024). Взаємозв'язок комп'ютерного програмування та цифрової трансформації: теоретичний аналіз. Цифрові навички: виклики та можливості: наукова онлайн-конференція, Суми, 5 червня 2024 року. Сумський державний університет, 2024.

Рекомендації щодо використання результатів дослідження. Результати цього дослідження можна використати для формування стратегій регіонального розвитку та цифрової трансформації регіонів України. Економіко-математичні моделі допоможуть визначити ключові чинники, що впливають на розвиток галузі комп'ютерного програмування та цифровізацію регіонів, а також кількісно оцінити взаємозв'язки між цими процесами. Це дозволить приймати більш обґрунтовані рішення щодо розподілу ресурсів, стимулювання розвитку перспективних напрямків ІТ-галузі та прискорення цифрової трансформації регіонів. Результати можуть бути використані для розробки освітніх програм, спрямованих на підготовку кваліфікованих кадрів для ІТ-індустрії та цифрової економіки.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

1.1 Аналіз предметної галузі та виявлення найбільш вагомих параметрів об'єкта дослідження

Сучасні цифрові технології є ключовими засобами отримання, обробки, накопичення та використання інформації на рівні країни. Цифровізація різних сфер життя суспільства певною мірою сприяє оптимізації або трансформації державних і суспільних процесів, формуванню конкурентних переваг та підвищенню оперативності реагування на потреби громадян.

Особливості провадження цифрової трансформації були досліджені у наукових працях Воропай Н.Л. [2], Гавронський А.О. [3], Піжук О.І. [7], Тогобицька Т.Д. [10], Чубарь О.Л. [11]

Цифрова трансформація (цифровізація) – це кардинальний процес переходу, зумовлений інноваційним використанням цифрових технологій. Він передбачає стратегічне залучення ключових ресурсів та можливостей. Метою цифровізації є докорінне вдосконалення стану суб'єкта господарювання та переосмислення його значущості для зацікавлених сторін завдяки впровадженню новітніх цифрових рішень. Іншими словами, це базова трансформація, яка відбувається внаслідок застосування передових цифрових технологій, дозволяючи по-новому оцінити цінність організації для всіх залучених сторін та радикально покращити її позиції [9].

Прискорити цифрову трансформацію економіки України може допомогти цифровізація регіонів. В Україні над цим завданням працює Міністерство цифрової трансформації. Для ефективного управління процесами цифровізації на регіональному рівні була розроблена Стратегія цифровізації та введена нова посада – Керівник цифрової трансформації (Chief Digital Transformation Officer, CDTO). Це заступники керівників обласних державних адміністрацій, об'єднаних територіальних громад, які відповідають за питання цифровізації [8].

Їхня мета – координувати та забезпечувати успішну реалізацію цифрових перетворень у регіонах, що в результаті має пришвидшити загальну цифрову трансформацію економіки держави [12].

Міністерство цифрової трансформації активно просуває процеси цифровізації регіонів, одна з головних цілей яких – допомогти кожній громаді з упровадженням актуальних електронних сервісів [5].

Рисунок 1.1 ілюструє основні напрями цифрової трансформації, які допоможуть організаціям успішно адаптуватися до цифрової ери та отримати конкурентні переваги. Кожен напрям відіграє важливу роль у створенні цілісної стратегії цифрової трансформації та забезпеченні ефективного переходу до цифрових операцій, продуктів та бізнес-моделей [4].



Рисунок 1.1 – Ключові напрями цифрової трансформації

Джерело: сформовано автором

Індекс цифрової трансформації регіонів є одним із інструментів оцінювання процесів інформатизації та цифровізації в різних регіонах. Загалом цей індекс складається з 8 субіндексів, в яких узагальнюються 31 індикатор та 76 конкретних показників: інституційна спроможність; розвиток інтернету; розвиток ЦНАП; режим «без паперів»; цифрова освіта; візитівка області; проникнення базових послуг; галузева цифрова трансформація [1].

Усі ці субіндекси враховуються при розрахунку Індексу цифрової трансформації регіонів, що дозволяє комплексно оцінити поточний стан і прогрес цифровізації в кожному окремому регіоні України. Результати цього індексу допомагають виявити сильні та слабкі сторони, визначити пріоритетні напрямки для подальшого розвитку та ефективно спланувати заходи з цифрової трансформації на регіональному рівні [3].

Комп'ютерне програмування є однією з ключових галузей сучасної економіки та технологічного прогресу. Ця галузь відіграє важливу роль у цифровій трансформації регіонів України, забезпечуючи розробку та впровадження інноваційних рішень в різних сферах життя.

Програмування у вузькому сенсі означає написання інструкцій на конкретній мові програмування. Люди, які цим займаються, називаються програмістами. Ті, хто розробляє алгоритми, називаються алгоритмістами, фахівцями предметної області або математиками [16].

У більш широкому значенні, програмування охоплює весь спектр діяльності, пов'язаної зі створенням і підтримкою в робочому стані програмного забезпечення комп'ютерів. Цей процес включає аналіз та постановку задачі, проектування програми, побудову алгоритмів, розробку структур даних, написання вихідного коду програми, налагодження та тестування програми, документування, налаштування, доопрацювання та супровід програми [22].

Процес програмування складається з кількох ключових стадій, які забезпечують системний та послідовний підхід до розробки програмного забезпечення. Рисунок 1.2 ілюструє основні етапи, через які проходить програміст при створенні комп'ютерних програм. Таким чином, програмування у широкому розумінні охоплює весь життєвий цикл створення та підтримки програмного забезпечення.

У межах цього дослідження проведено аналіз взаємозв'язків між ключовими словами "computer programming", "digital transformation" та іншими науковими категоріями у відібраних наукових публікаціях за допомогою програмного

забезпечення VOSviewer. VOSviewer – це програмний інструмент для побудови та візуалізації бібліометричних мереж [15].



Рисунок 1.2 – Основні стадії життєвого циклу розробки програмного забезпечення

Джерело: сформовано автором

За результатами аналізу, було сформовано сім кластерів ключових слів, що найчастіше зустрічаються у наукових працях за період 2017-2023 років (рисунок 1.3).

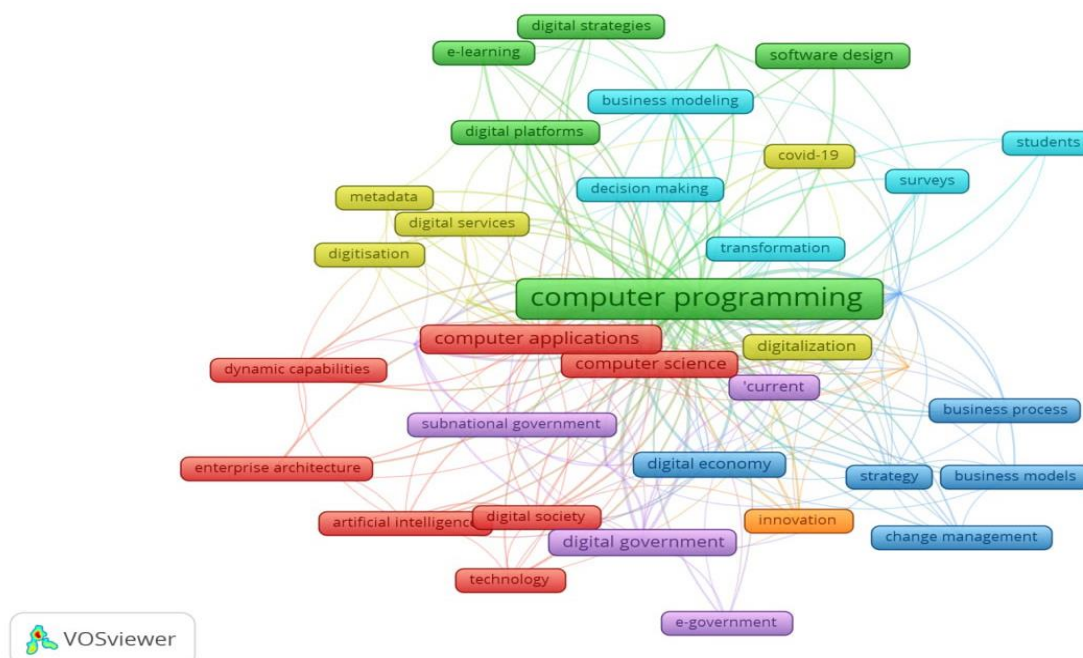


Рисунок 1.3 – Результати бібліометричного аналізу ключових слів, які одночасно зустрічаються в публікаціях, індексованих у наукометричній базі Scopus, за запитом "computer programming", "digital transformation".

Джерело: сформовано автором

Найбільший кластер (зелений) містить 7 ключових слів, серед яких "artificial intelligence", "computer applications", "computer science", "digital society". Цей кластер охоплює загальні концепції та технології, пов'язані з розвитком цифрових систем, інформаційних технологій та їх впливом на суспільство.

Другий за обсягом червоний кластер складається з 7 ключових слів. Він фокусується на практичних аспектах застосування цифрових технологій, зокрема в освіті, ІТ-сфері та державному управлінні. До нього входять такі поняття, як "computer programming", "digital platforms", "digital strategies", "digital transformation" та інші.

Третій синій кластер складається з 6 слів. Цей кластер розглядає вплив цифровізації та нових технологій на бізнес-процеси, моделі та стратегії організацій. Ключові слова тут – "business models", "business process", "change management", "digital economy", "digital technologies".

Четвертий жовтий кластер складається з 6 слів і охоплює теми, пов'язані з впровадженням цифрових технологій у суспільство, державний сектор та місцеві органи влади. До нього входять такі поняття, як "covid-19", "digital services", "digitalization", "local government".

Інші три кластери (3, 6 і 7) об'єднують теми, що розкривають вплив цифровізації на ключові економічні системи та процеси.

Згідно з рисунком 1.4, еволюція наукових публікацій із досліджуваної проблематики протягом 2017-2023 років, представлена в наукометричній базі Scopus, свідчить про наступні тенденції. До 2017 року основна увага в наукових роботах приділялася питанням комп'ютерних програм та штучного інтелекту. Починаючи приблизно з 2020 року, дослідження продовжили фокусуватися на комп'ютерних програмах, при цьому сюди додалися питання інновацій та цифрових послуг. На поточному етапі (2023 рік) найбільш актуальними темами для науковців стали цифрова економіка, бізнес-моделі та цифровізація.

Таким чином, можна спостерігати поступове розширення кола досліджуваних питань, що охоплюють як традиційні сфери, так і нові виклики, спричинені технологічним та цифровим прогресом в економіці.

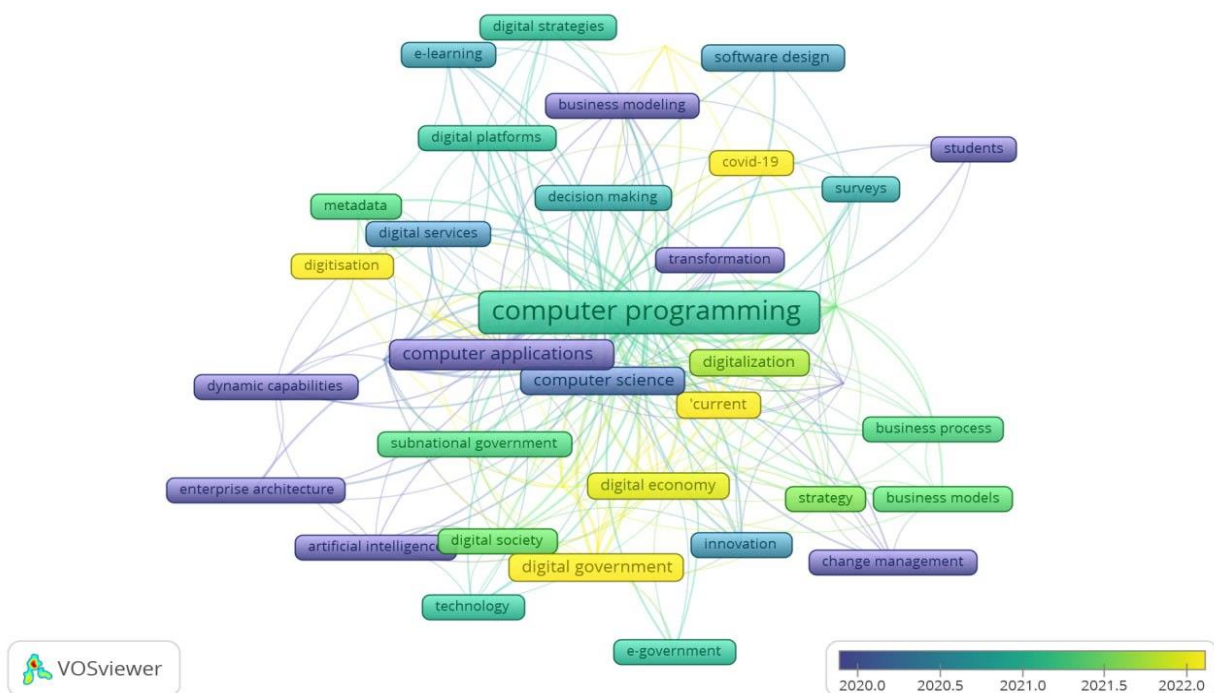


Рисунок 1.4 – Результати бібліометричного аналізу ключових слів, що одночасно зустрічаються в публікаціях, індексованих у наукометричній базі Scopus, за запитами «computer programming», «digital transformation».

Джерело: сформовано автором

Проведений бібліометричний аналіз наукових публікацій підтвердив актуальність обраного напрямку дослідження, а також необхідність більш детального аналізу взаємозв'язків між такими елементами, як комп'ютерне програмування та цифрова трансформація.

Бібліометричний аналіз публікацій підтверджує важливість обраної тематики та визначає необхідні подальші кроки щодо комплексного вивчення взаємодії цифровізації, комп'ютерного програмування та інформаційних технологій.

Наступна схема ілюструє тісний взаємозв'язок між комп'ютерним програмуванням та цифровою трансформацією регіонів України, демонструючи ключові напрямки, в яких програмування відіграє визначальну роль (рисунок 1.5). Комп'ютерне програмування відіграє ключову роль у забезпеченні успішної цифрової трансформації регіонів України. Воно забезпечує фундамент для створення цифрової інфраструктури в регіонах. Розробляються програмні рішення для автоматизації робочих процесів в органах державної влади та місцевого самоврядування,

впроваджуються системи електронного документообігу, електронні реєстри та бази даних. Це дозволяє перевести значну частину адміністративних послуг в онлайн-режим, спростити взаємодію громадян з владою та підвищити прозорість, підзвітність органів управління [26].



Рисунок 1.5 – Взаємозв'язок галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України

Джерело: сформовано автором

Програмування є невід'ємною частиною процесу цифровізації сфери освіти в регіонах. Створюються електронні навчальні платформи, віртуальні класи, мобільні додатки для дистанційного навчання. Це розширює доступ до якісної освіти та сприяє підвищенню цифрової грамотності населення. Галузь програмування забезпечує розвиток цифрових послуг у сфері охорони здоров'я. Розробляються медичні інформаційні системи, електронні картки пацієнтів, що поліпшує якість та доступність медичної допомоги [14].

Комп'ютерне програмування сприяє цифровій трансформації регіональної економіки шляхом розробки додатків та платформ для бізнесу, торгівлі, логістики, туризму тощо. Це відкриває нові можливості для розвитку підприємництва, залучення інвестицій та просування регіональної продукції. Отже, цифрова

трансформація регіонів України нерозривно пов'язана з галуззю комп'ютерного програмування, забезпечуючи технологічну основу для інновацій, ефективності послуг, розвитку економіки та підвищення конкурентоспроможності в цифрову еру [23].

Зв'язок між комп'ютерним програмуванням та цифровою трансформацією регіонів України є надзвичайно тісним та багатогранним. Фактично, цифрова трансформація регіонів була б неможливою без програмування та розробки відповідного програмного забезпечення [18].

На найнижчому технічному рівні програмісти створюють базове програмне забезпечення, операційні системи, драйвери пристроїв, мережеві протоколи та інші фундаментальні компоненти, які забезпечують функціонування комп'ютерних систем та цифрових пристроїв. Це IT-підґрунтя є необхідним для впровадження будь-яких цифрових рішень у регіонах.

На прикладному рівні програмісти розробляють спеціалізоване програмне забезпечення для різних сфер цифровізації регіонів. Це можуть бути системи електронного документообігу, електронні реєстри, бази даних, інформаційні портали для надання електронних послуг населенню, системи електронної демократії для залучення громадян до прийняття рішень на місцевому рівні [41].

У сфері освіти програмісти створюють електронні навчальні платформи, віртуальні класи, додатки для дистанційного і мобільного навчання. В охороні здоров'я – електронні медичні картки, системи телемедицини, інформаційні системи для управління медичними закладами [35].

В економічній сфері програмісти беруть участь у розробці цифрових платформ електронної комерції, маркетплейсів для просування регіональної продукції, додатків для логістики та транспорту, систем смарт-туризму тощо.

Крім того, роль програмістів полягає у забезпеченні безпеки та надійності цифрових систем, створенні резервних копій даних, захисті від кібератак та витоків інформації. Вони також відповідають за інтеграцію різних цифрових рішень в єдину екосистему, забезпечуючи їх сумісність та обмін даними [21].

Програмісти також залучені до процесів цифрової трансформації на рівні громад, працюючи над створенням "розумних міст" із використанням Інтернету речей, датчиків, аналітики великих даних для підвищення ефективності міської інфраструктури.

Таким чином, комп'ютерне програмування є серцевиною та рушійною силою цифрової трансформації регіонів України, охоплюючи всі її аспекти – від технічної інфраструктури до прикладного програмного забезпечення для різних галузей економіки, державного управління та соціальної сфери. [7].

1.2. Огляд сучасного стану моделювання об'єкта дослідження

Математичне моделювання – це процес створення та вивчення математичної моделі, яка відтворює логічну структуру, взаємозв'язки елементів та часову динаміку досліджуваного об'єкта або процесу з метою одержання нової інформації про нього [6].

Завдання математичного моделювання полягає в ретельному вивченні особливостей реального об'єкта або процесу, що досліджується, через його математичну модель. Аналіз математичної моделі дозволяє зробити важливі висновки, такі як визначити межі та обмеження застосування даного об'єкта або процесу, знайти оптимальні співвідношення між його параметрами та розмірами для забезпечення максимальної ефективності, виявити критичні фактори, що впливають на поведінку об'єкта або перебіг процесу, спрогнозувати можливі сценарії розвитку подій за різних початкових умов. При цьому, перш ніж створювати математичну модель, необхідно мати чітке уявлення про об'єкт або процес, що вивчається, включаючи його розміри, параметри та початкові характеристики, які задаються заздалегідь [5].

Модель – це спрощене уявлення про досліджуваний об'єкт або систему, що відображає лише ті її аспекти, які є суттєвими для задач, що розглядаються [42].

Економіко-математичні моделі класифікують за такими основними ознаками:

1. За цільовим призначенням: на теоретико-аналітичні, що вивчають загальні властивості економічних процесів, і прикладні, які використовуються для вирішення конкретних завдань.

2. За ступенем агрегування об'єктів: на макроекономічні (для економіки в цілому) і мікроекономічні (для підприємств, галузей).

3. За конкретним призначенням: балансові, трендові (прогнозування), оптимізаційні, імітаційні моделі.

4. За типом вхідної інформації: аналітичні (теоретичні) та ідентифіковані (емпіричні) моделі.

5. За врахуванням невизначеності: детерміновані (без випадковості) та стохастичні (з випадковими факторами).

6. За математичним апаратом: матричні, лінійного/нелінійного програмування, регресійні, теорії масового обслуговування, сіткового планування тощо.

7. За підходом до системи: дескриптивні та нормативні.

8. За структурою: одно- та багатофакторні, статичні та динамічні, прості та складної структури.

9. За часовим горизонтом: довгострокові, середньострокові та короткострокові моделі.

Якість моделі є ключовою вимогою для забезпечення її надійності, ефективності та корисності в процесі прийняття рішень або здійснення прогнозів. Існує низка факторів, які визначають якість моделі та повинні враховуватися під час її розробки та оцінювання. На рисунку 1.6 представлені основні фактори, що впливають на якість моделі [14].

Процес побудови моделі складається з чотирьох основних етапів:

1. Визначення системи економічних показників, які характеризують об'єкт моделювання.

2. Ретельне дослідження діяльності підприємства, яке моделюється.

3. Формування знань про об'єкт моделювання. Ці знання повинні бути скориговані з урахуванням особливостей діяльності досліджуваного об'єкта.

4. Практична перевірка знань, одержаних за допомогою побудованої моделі, та їх використання для безпосереднього управління об'єктом [10].

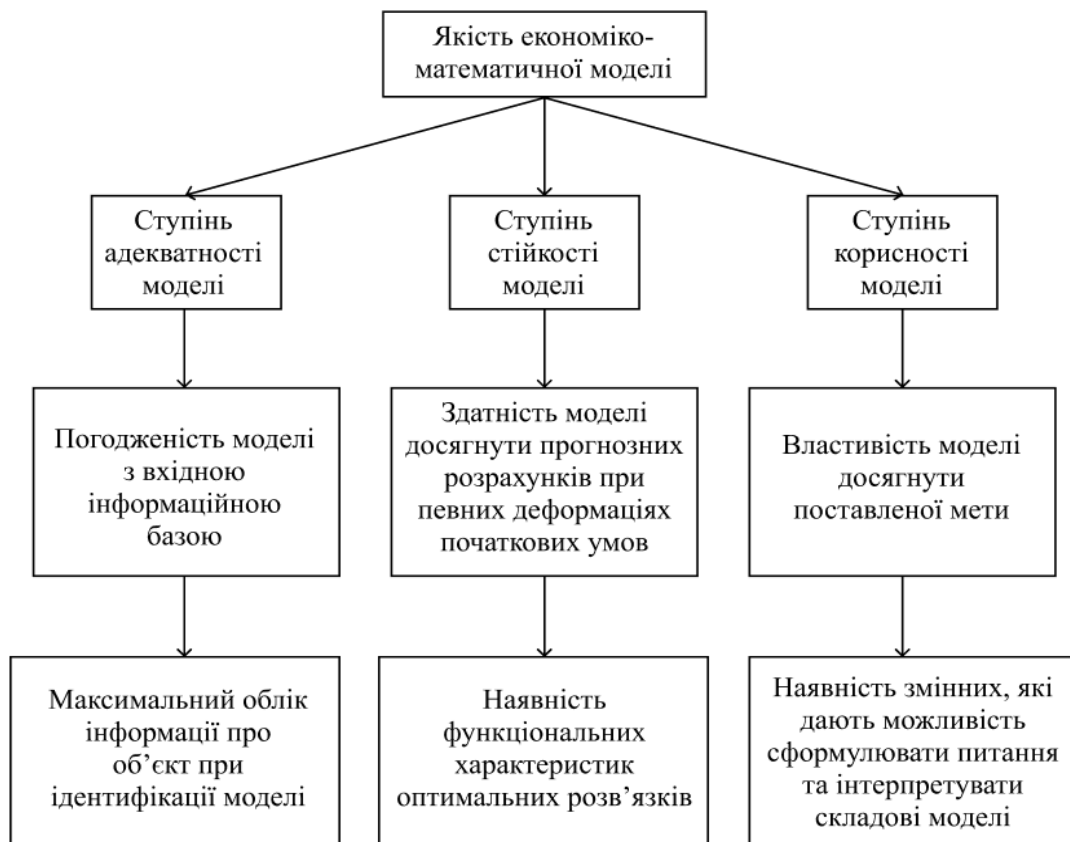


Рисунок 1.6 – Фактори якості моделі

Джерело: Зайцев [14]

Економіко-математичні моделі дозволяють формалізувати складні економічні процеси, взаємозв'язки між різними факторами за допомогою математичних рівнянь і залежностей. У контексті досліджуваної проблематики моделі можуть використовуватися для аналізу впливу розвитку галузі комп'ютерного програмування на показники цифрової трансформації [20].

Одна з можливих економіко-математичних моделей для дослідження взаємозв'язку між розвитком галузі комп'ютерного програмування та цифровою трансформацією регіонів України може базуватися на використанні виробничих функцій, зокрема функції Кобба-Дугласа (формула 1.1):

$$Q = A \times K^\alpha \times L^\beta \quad (1.1)$$

де Q - обсяг випуску продукції; K - обсяг капіталу; L - обсяг праці; A , α , β - параметри моделі, що підлягають оцінюванню.

У цій моделі передбачається, що обсяг випуску продукції (Q) залежить від двох виробничих факторів: капіталу (K) та праці (L). Параметри α та β відображають еластичність випуску за відповідними факторами виробництва. Параметр A характеризує загальну факторну продуктивність [4].

Для оцінювання параметрів моделі можна використовувати метод найменших квадратів або інші економетричні методи на основі статистичних даних про обсяги випуску продукції, інвестицій в ІТ-інфраструктуру та кількості зайнятих у галузі комп'ютерного програмування для різних регіонів країни [12].

Дана модель дозволяє проаналізувати вплив розвитку галузі комп'ютерного програмування (через показники зайнятості та інвестицій в ІТ) на економічне зростання регіонів (вимірюване показником ВРП). Результати оцінювання параметрів моделі можуть бути використані для виявлення найбільш важливих факторів розвитку ІТ-галузі та формування відповідних політик щодо стимулювання цифрової трансформації регіонів [16].

Друга можлива модель – модель міжгалузевого балансу, яка дозволяє проаналізувати взаємозв'язки між різними секторами економіки, включаючи ІТ-галузь та інші галузі, що зазнають цифрової трансформації. Ця модель може мати вигляд системи лінійних рівнянь (формула 1.2):

$$\begin{cases} X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + Y_1 \\ X_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n + Y_2 \\ \dots \\ X_n = a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n + Y_n \end{cases} \quad (1.2)$$

де X_i - обсяг випуску i -ї галузі; a_{ij} - коефіцієнти прямих витрат, що показують, скільки продукції i -ї галузі необхідно для випуску одиниці продукції j -ї галузі; Y_i - кінцевий попит на продукцію i -ї галузі.

Коефіцієнти прямих витрат a_{ij} формують матрицю прямих витрат, яка відображає технологічні зв'язки між галузями. Ця матриця показує, скільки продукції кожної галузі необхідно для випуску одиниці продукції в кожній іншій галузі [9].

Розв'язавши систему рівнянь, можна визначити обсяги випуску кожної галузі, необхідні для задоволення заданого кінцевого попиту. Це дозволяє проаналізувати, як зміни в кінцевому попиті на продукцію однієї галузі впливатимуть на обсяги випуску інших галузей через ланцюжки міжгалузевих зв'язків [15].

Застосування економіко-математичного моделювання у поєднанні з емпіричними даними допоможе глибше зрозуміти механізми впливу розвитку ІТ-галузі на цифрову трансформацію регіонів і сформувати ефективну політику стимулювання цифровізації на регіональному рівні [21].

1.3. Постановка задачі моделювання та формування вимог до моделі

Перед створенням математичної моделі та проведенням розрахунків необхідно сформулювати загальну концептуальну схему, яка відобразить механізм дослідження взаємозв'язків між цифровою трансформацією та комп'ютерним програмуванням. Моделювання цих взаємозв'язків буде проводитися на макрорівні з використанням обраних показників. Під час моделювання будуть відібрані найбільш вагомі характеристики об'єкта дослідження. Як часовий період дослідження буде використано проміжок з 2020 по 2022 роки.

Модель повинна відповідати таким критеріям:

1. Враховувати показники рівня цифровізації та розвитку ІТ-сектору.
2. Обчислювати реальні показники використання цифрових технологій, рівня комп'ютерного програмування та інших релевантних метрик.
3. Дозволяти співставляти вхідні дані з різних джерел.
4. Забезпечувати співставність показників інформаційної бази дослідження.
5. Враховувати пріоритетність впливу різних факторів.

6. Враховувати наявність та силу взаємозв'язків між обраними показниками.

7. Надавати узагальнюючу оцінку рівня взаємозв'язків між цифровою трансформацією та комп'ютерним програмуванням.

Модель повинна бути достовірною, оперативною та системною, тобто адекватно відображати взаємозв'язки між обраними показниками. Крім того, вона повинна відповідати потребам та рівню керівництва держав та компаній, щоб забезпечити її ефективне використання для прийняття важливих рішень у сфері цифрової трансформації та ІТ-індустрії.

1.4. Розробка математичної моделі

1 етап дослідження. Формування та моделювання вхідного масиву даних для статистичного дослідження за допомогою дескриптивного аналізу з використанням статистичних пакетів Statistica 10 та Statistica Portable.

Для встановлення зв'язку між цифровою трансформацією та стійкості галузі комп'ютерного програмування України планується розробити модель, яка ґрунтуватиметься на двох групах показників: індикаторах цифрової трансформації та показниках стійкості галузі комп'ютерного програмування. Інформаційну базу для дослідження сформовано з використанням статистичних даних сайту Міністерства цифрової трансформації України та Державної служби статистики України за 2020-2022 роки. Для кількісного моделювання було відібрано відповідний набір статистичних показників [20].

Цифрова трансформація (показники, що характеризують рівень цифровізації, поширеності та доступності цифрових технологій, а також внутрішні чинники, що впливають на процес цифрової трансформації):

Показники-стимулятори: DT1 – Інституційна спроможність, DT2 – Розвиток інтернету, DT3 – Розвиток ЦНАП, DT4 – Режим "без паперів", DT5 – Цифрова освіта,

DT6 – Візитівка області, DT7 – Проникнення базових е-послуг, DT8 – Галузева цифрова трансформація; DT – Індекс цифрової трансформації.

Отже, DT1 – Інституційна спроможність описує наявність та ефективність інституцій, відповідальних за цифрову трансформацію на регіональному рівні, їхню здатність розробляти та впроваджувати стратегії і плани дій, DT2 – Розвиток інтернету характеризує доступність широкопasmового інтернету для населення та підприємств у регіоні, DT3 – Розвиток ЦНАП відображає розвиток мережі центрів надання адміністративних послуг та їхню спроможність надавати послуги в електронному вигляді, DT4 – Режим "без паперів" описує впровадження безпаперового документообігу в органах державної влади та місцевого самоврядування регіону, DT5 – Цифрова освіта характеризує рівень цифрових навичок населення та доступність можливостей для їх покращення, DT6 – Візитівка області відображає присутність регіону в інтернет-просторі та якість його цифрового іміджу, DT7 – Проникнення базових е-послуг оцінює доступність та використання основних електронних послуг для населення та бізнесу, DT8 – Галузева цифрова трансформація описує рівень впровадження цифрових технологій в різних галузях економіки регіону, DT – Індекс цифрової трансформації є сукупним показником, що інтегрує всі вищезгадані компоненти та відображає загальний прогрес регіону на шляху цифрової трансформації.

Стійкість галузі комп'ютерного програмування (показники, що характеризують надійність, стабільність та перспективи галузі, враховуючи різні напрямки програмування, кваліфікацію програмістів та типи програмних продуктів).

Показники-стимулятори: CP1 – Кількість діючих суб'єктів господарювання, CP2 – Кількість зайнятих працівників у суб'єктів господарювання (осіб), CP3 – Кількість найманих працівників у суб'єктів господарювання (осіб), CP4 – Обсяг реалізованої продукції (тис. грн), CP5 – Обсяг виробленої продукції (тис. грн), CP6 – Додана вартість за витратами виробництва суб'єктів господарювання (тис. грн).

Для дослідження було відібрано всі регіони України: Вінницька, Волинська, Дніпропетровська, Донецька, Житомирська, Закарпатська, Запорізька, Івано-Франківська, Київська, Кіровоградська, Львівська, Миколаївська, Одеська,

Полтавська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Харківська, Херсонська, Хмельницька, Черкаська, Чернівецька, Чернігівська області.

2 етап дослідження. Відтворення картосхеми з просторовим розподілом індексів цифрової трансформації регіонів засобами візуалізації даних в Excel.

Картографування є важливим інструментом для візуального представлення та аналізу просторових даних. Карти дозволяють наочно відобразити географічний розподіл певних показників, явищ чи характеристик у розрізі територіальних одиниць [6].

Карта регіонів – це географічна карта, на якій виділені та позначені регіони певної території, наприклад країни, континенту чи всього світу [13].

Регіони зазвичай групуються за певними спільними ознаками, такими як географічне положення, політичні чи адміністративні кордони, економічні або культурні особливості, природні ландшафти та клімати. На регіональних картах регіони виділяються різними кольорами, штрихуваннями чи іншими позначками для їх візуального розрізнення. Такі карти часто використовуються в географії, політології, економіці, культурології для аналізу територіальних особливостей та порівнянь [23].

3 етап дослідження. Визначення статистичних залежностей між факторами шляхом застосування кореляційного аналізу.

У науковій та прикладній діяльності часто виникає необхідність встановлення зв'язків між різними факторами чи змінними величинами. Наявність та характер таких взаємозв'язків дозволяє краще зрозуміти досліджувані явища, процеси чи об'єкти, виявити причинно-наслідкові залежності та зробити обґрунтовані прогнози. Одним з потужних інструментів для визначення статистичного зв'язку між факторами є кореляційний аналіз [22].

Кореляційний аналіз – це сукупність статистичних методів, які дозволяють виявити наявність зв'язку між досліджуваними змінними величинами, а також оцінити ступінь цього зв'язку [9].

Формула для підрахунку коефіцієнта кореляції (формула 1.3):

$$r_{xy} = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \quad (1.3)$$

4 етап дослідження. Визначення взаємозалежностей між сукупностями факторів шляхом канонічного аналізу.

Канонічний аналіз є узагальненням кореляційного аналізу на ситуацію, коли змінні об'єднані в два різних набори. Його мета – знайти лінійні комбінації змінних у кожному наборі, які мали б максимальну кореляцію між собою [14].

Формула 1.4 виражає максимальну кореляцію між канонічними змінними S і N, утвореними з двох наборів вихідних даних.

$$\begin{cases} S = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_x y_x \\ N = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_y x_y \end{cases} \quad (1.4)$$

де $a_j, (j = \overline{1, x})$ – ваги коефіцієнтів для першого набору змінних; $b_j, (j = \overline{1, y})$ – ваги коефіцієнтів для другого набору змінних.

Канонічний коефіцієнт кореляції k (формула 1.5) оцінює ступінь залежності між двома наборами вихідних змінних. Він характеризує щільність лінійного зв'язку між канонічними змінними, побудованими на основі вагових коефіцієнтів a_i і b_j .

$$k = \frac{cov(S, N)}{\sqrt{var(S)var(N)}} \quad (1.5)$$

5 етап дослідження. Побудова генерального інтегрального показника рівня розвитку галузі комп'ютерного програмування під впливом цифрової трансформації.

Генеральний інтегральний показник – це узагальнюючий показник, що формується на основі інтеграції (поєднання) низки часткових показників за певною методикою з метою комплексної оцінки складного соціально-економічного явища чи процесу [5].

Генеральний інтегральний показник потрібен для комплексної оцінки та порівняльного аналізу складних соціально-економічних явищ і процесів. Він дозволяє об'єднати низку часткових показників, що характеризують різні аспекти досліджуваного явища, в один комплексний показник, спрощуючи аналіз і даючи змогу оцінити явище в цілому. За допомогою інтегрального показника можна порівнювати різні об'єкти (регіони, галузі, підприємства тощо) за рівнем розвитку певного явища чи процесу, що корисно для ранжування, рейтингування, виявлення лідерів та відстаючих. Розрахунок інтегрального показника в динаміці дозволяє відстежувати зміни, що відбуваються з часом, та оцінювати ефективність впроваджених програм і заходів [3].

Формула для обчислення середнього геометричного набору даних має наступний вигляд (формула 1.6):

$$\bar{x} = \sqrt[n]{\frac{x_n}{x_1}} \quad (1.6)$$

Для побудови рейтингу на основі генерального інтегрального показника використовується наступна формула (формула 1.7):

$$R_i = \frac{(I_i - I_{min})}{(I_{max} - I_{min})} \quad (1.7)$$

де R_i – рейтинговий бал i -го об'єкта; I_i – значення генерального інтегрального показника для i -го об'єкта; I_{min} – мінімальне значення інтегрального показника серед усіх об'єктів; I_{max} – максимальне значення інтегрального показника серед усіх об'єктів.

Вербально-числова шкала Харрінгтона – це емпірична шкала, яка дозволяє перевести кількісні значення певного показника у відповідні вербальні (якісні) оцінки, і навпаки [5].

6 етап дослідження. Регресійний аналіз взаємозв'язку рівнів розвитку індустрії програмного забезпечення та цифрової трансформації.

Регресія – це статистичний метод, який дозволяє досліджувати взаємозв'язок між залежною змінною та однією або кількома незалежними змінними [6].

Основні цілі регресійного аналізу полягають у тому, щоб описати, перевірити та передбачити зв'язок між змінними. За допомогою регресійного аналізу можна визначити, як змінюється значення залежної змінної при зміні незалежних змінних, а також виявити найбільш значущі фактори, що впливають на результат. Це дозволяє краще зрозуміти та пояснити досліджуване явище, а також робити більш точні прогнози на майбутнє. Регресійний аналіз також надає інструменти для перевірки статистичних припущень та оцінки якості отриманої моделі [1].

Формула для множинної лінійної регресії має такий вигляд (формула 1.8):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (1.8)$$

де y – залежна змінна; x_1, x_2, \dots, x_n – незалежні змінні; β_0 – константа; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – коефіцієнти регресії для кожної залежної змінної; ε – залишкова похибка.

Побудуємо узагальнену схему економіко-математичного моделювання (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Узагальнена схема економіко-математичного моделювання

Вхідні дані:	Математичні співвідношення:	Вихідні змінні:
<p>Показники цифрової трансформації: DT, DT1, DT2, DT3, DT4, DT5, DT6, DT7, DT8</p> <p>Показники галузі комп'ютерного програмування: CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6</p>	$r_{xy} = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}$ $\begin{cases} S = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_x y_x \\ N = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_y x_y \end{cases}$ $k = \frac{cov(S, N)}{\sqrt{var(S)var(N)}}$ $R_i = \frac{(I_i - I_{min})}{(I_{max} - I_{min})}$ $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$	<p>Інтегральні показники по роках</p>
<p>Керовані змінні:</p> <p>Кількість спостережень</p>		

РОЗДІЛ 2. ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ПО ЇЇ ВИКОРИСТАННЮ

2.1 Перевірка адекватності побудованої математичної моделі

1. Перевірку адекватності побудованої економіко-математичної моделі взаємозв'язку розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України було проведено на етапі кореляційного аналізу між фактичними даними.

Значення коефіцієнтів кореляції між показниками DT1-DT1, DT7-DT8 та CP1-CP5 знаходяться в діапазоні від 0,2 до 0,4. Значення коефіцієнтів кореляції між показниками DT3-DT6 та показниками CP1-CP5 знаходяться в діапазоні від 0,0 до 0,1.

Аналізуючи результати кореляційного аналізу (таблиця Б.2), можна помітити, що змінна CP6 має найнижчу вагу у канонічній змінній, що характеризує галузь комп'ютерного програмування. Це може свідчити про те, що дана змінна має слабкий зв'язок з іншими показниками галузі та загалом вносить незначний внесок у пояснення варіації залежної змінної - рівня цифрової трансформації регіонів. З метою поліпшення якості моделі та підвищення її пояснювальної здатності доцільно розглянути виключення змінної CP6 з набору показників галузі програмування.

2. На наступному етапі було проведено канонічний аналіз. Цей метод дозволяє всебічно оцінити відповідність моделі емпіричним даним та виявити можливі відхилення чи невідповідності.

Результати канонічного аналізу, представлені на рисунку 2.1, показали значення канонічної кореляції $R = 0,6626$, що вказує на помірний зв'язок між канонічними змінними двох наборів. Статистика хі-квадрат ($\text{Chi}^2(48)=64,083$) та відповідне р-значення ($p=0,06031$) свідчать про певний рівень статистичної значущості знайденої канонічної кореляції.

З метою забезпечення адекватності моделі та підвищення точності її прогнозів було прийнято рішення виключити змінну CP6 з набору змінних, що характеризують цифрову трансформацію регіонів.

Canonical Analysis Summary (Spreadshe Canonical R: ,66926 Chi?(48)=64,083 p=,06031
--

Рисунок 2.1 – Перевірка адекватності канонічного аналізу між групою показників галузі комп'ютерного програмування та рівнем цифровою трансформації регіонів України

Після вилучення змінної СР6 канонічний аналіз було проведено повторно з використанням оновленого набору змінних (рисунок 2.2).

Canonical Analysis Summary (Spreadshe Canonical R: ,66372 Chi?(40)=57,796 p=,03408
--

Рисунок 2.2. – Перевірка адекватності канонічного аналізу між групою показників галузі комп'ютерного програмування та рівнем цифровою трансформації регіонів України

Тепер канонічний коефіцієнт кореляції $R = 0,66372$ свідчить про помірний зв'язок між двома наборами змінних. Значення хі-квадрат $57,796$ та р-значення $0,03408$ підтверджують статистичну значущість цього канонічного зв'язку.

Відповідні значення р для кожного кореня показують, що лише перший корінь є статистично значущим на рівні $0,05$. Решта коренів не є значущими, оскільки їхні р-значення перевищують $0,05$.

3. На останньому етапі при проведенні регресійного аналізу модель також перевірялась на адекватність.

Згідно з результатами, побудована лінійна регресійна модель не є достатньо адекватною для опису взаємозв'язку між залежною та незалежною змінними. Основними ознаками адекватності моделі є низьке значення множинного $R - 0,229$, що свідчить про слабкий лінійний зв'язок між змінними, низьке значення R -квадрата $- 0,053$, що означає, що лише $5,22\%$ варіації залежної змінної пояснюється моделлю, F -статистика регресії ($3,691$) має рівень значимості $0,059$, що вище за стандартний рівень $0,05$, що робить модель статистично незначимою, а коефіцієнт при незалежній

змінній є статистично незначимим на рівні 5%, оскільки Р-значення (0,059) перевищує 0,05. Отже, дана лінійна регресійна модель не може достатньо адекватно описати взаємозв'язок між досліджуваними змінними. При цьому варто зазначити, що показники адекватності моделі є наближеними до нормативних.

2.2 Побудова методики проектувальних розрахунків

1. На початку дослідження була зібрана комплексна статистична база даних (таблиця Б.1). Ця база включає різноманітні показники, що характеризують стан та розвиток галузі комп'ютерного програмування, а також рівень цифрової трансформації в регіонах України.

2. На основі показника індексу цифрової трансформації була побудована карта регіонів України за 2022 р., яка наочно демонструє відмінності у рівні цифровізації між різними областями країни. Ця карта дозволяє виявити регіони-лідери та регіони, що відстають у процесах цифрової трансформації (рисунок 2.3).

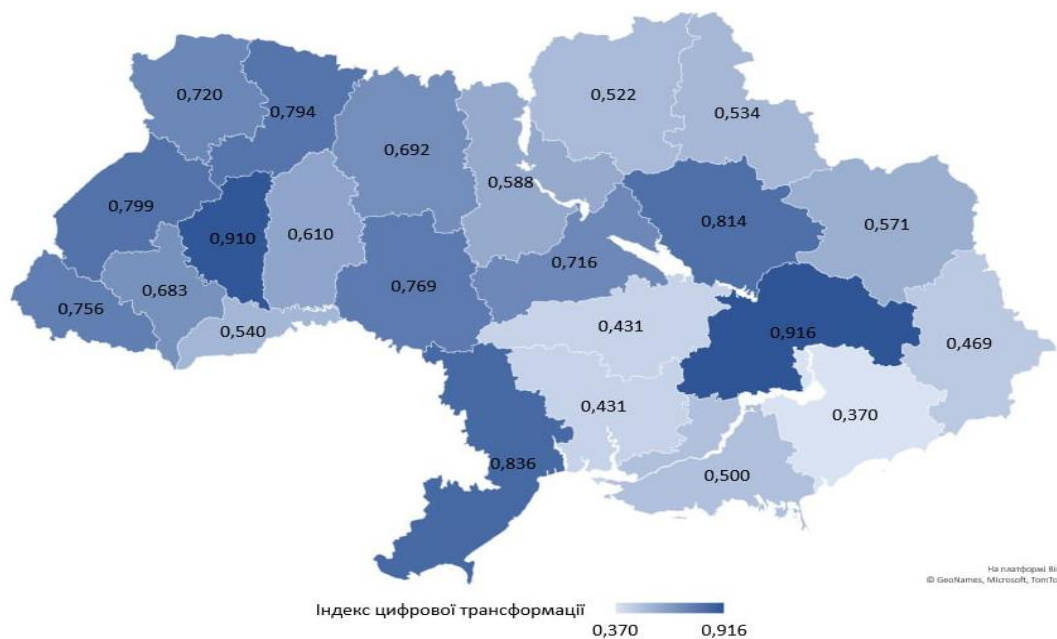


Рисунок 2.3 – Карта регіонів України за індексом цифрової трансформації 2022 року

Джерело: сформовано автором

Отже, найвищі показники мають Тернопільська (0,910), Дніпропетровська (0,916), Львівська (0,799), Полтавська (0,814) та Рівненська (0,794) області, що свідчить про високий рівень цифровізації в цих регіонах. Найнижчі індекси у Запорізької (0,370), Миколаївської (0,431), Кіровоградської (0,431) областей, а також Донецької (0,469) та Херсонської (0,500) областей, які відстають у процесах цифрової трансформації. Решта регіонів мають індекс від 0,5 до 0,8, що вказує на середній рівень цифровізації з можливостями для подальшого розвитку.

3. На другому етапі для проведення кореляційного аналізу між показниками галузі комп'ютерного програмування та індикаторами цифрової трансформації в Microsoft Excel був використаний інструмент "Аналіз даних".

У результаті кореляційного аналізу в Excel було відібрано 6 показників галузі комп'ютерного програмування і 8 компонентів індикатора цифрової трансформації. Включення показників навіть зі слабким зв'язком забезпечить більш ґрунтовне дослідження взаємозв'язків між різними чинниками та станом розвитку цифрової трансформації у регіонах України.

4. Під час проведення канонічного аналізу було сформовано два набори показників. Перший набір (позначений як "Left Set") містив 6 змінних (CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6), які характеризували розвиток галузі комп'ютерного програмування в регіонах України. Другий набір (позначений як "Right Set") включав 8 змінних (DT1, DT2, DT3, DT4, DT5, DT6, DT7, DT8), які відображали рівень цифрової трансформації регіонів. Канонічний аналіз було проведено в статистичному пакеті «STATISTICA» з метою виявлення канонічних кореляцій між двома наборами показників. Канонічні кореляції представляють собою лінійні комбінації змінних у кожному наборі, які максимально корелюють між собою.

Канонічна змінна лівого набору (галузі програмування) пояснює 100% дисперсії цього набору, а канонічна змінна правого набору (цифрової трансформації) – 72,8244% дисперсії. Загальна редундантність показує, що лівий набір пояснює 26,0417% загальної дисперсії правого набору, а правий набір – 10,3369% загальної дисперсії лівого. Було проведено аналіз ваг, з якими вихідні змінні входять до канонічних змінних, для визначення найбільш впливових факторів з кожного набору

в контексті виявленого зв'язку. На основі отриманих результатів канонічного аналізу були сформульовані висновки щодо взаємозв'язків між розвитком галузі комп'ютерного програмування та цифровою трансформацією регіонів України (рисунок 2.4).

Canonical Analysis Summary (Spreadshe		
Canonical R: ,66926 Chi?(48)=64,083 p=,06031		
N=69	Left Set	Right Set
No. of variables	6	8
Variance extracted	100,000%	72,8244%
Total redundancy	26,0417%	10,3369%
Variables:	1	DT1
	2	DT2
	3	DT3
	4	DT4
	5	DT5
	6	DT6
	7	DT7
	8	DT8

Рисунок 2.4 – Зв'язок між групою показників галузі комп'ютерного програмування та рівнем цифровою трансформації регіонів України

Джерело: сформовано автором

Але, з урахуванням показників адекватності моделі, було виконано канонічний аналіз повторно, прибравши змінну CP6, канонічна змінна галузі буде сформована лише з тих показників, які мають більш тісний взаємозв'язок та підвищують її інформативність (рисунок 2.5).

Ліва група змінних (CP1-CP5) пояснює 100% дисперсії, в той час як права група (DT1-DT8) пояснює 63,1537% дисперсії, що свідчить про сильніший вплив лівого набору змінних на канонічний зв'язок. Загальна надлишковість становить 26,7017% для лівої групи та 9,20336% для правої групи, що вказує на невикористану дисперсію.

Canonical Analysis Summary (Spreadshe		
Canonical R: ,66372		
Chi?(40)=57,796 p=,03408		
N=69	Left Set	Right Set
No. of variables	5	8
Variance extracted	100,000%	63,1537%
Total redundancy	26,7017%	9,20336%
Variables:	1	DT1
	2	DT2
	3	DT3
	4	DT4
	5	DT5
	6	DT6
	7	DT7
	8	DT8

Рисунок 2.5 – Зв'язок між групою показників галузі комп'ютерного програмування та рівнем цифровою трансформації регіонів України

Джерело: сформовано автором

Рисунок 2.6 представляє результати тесту хі-квадрат з поступовим видаленням канонічних коренів для аналізу зв'язків між двома наборами змінних. Перший рядок показує, що при збереженні всіх коренів, канонічний R дорівнює 0,66372, а статистика хі-квадрат 57,79552 зі ступенями свободи 40 є статистично значущою ($p = 0,034078$). Це свідчить про наявність загального канонічного зв'язку між наборами змінних.

Наступні рядки демонструють результати після послідовного видалення канонічних коренів.

Root Removed	Chi-Square Tests with Successive Roots Removed (Spre					
	Canonici R	Canonici R-sqr.	Chi-sqr.	df	p	Lambda Prime
0	0,663716	0,440519	57,79552	40	0,034078	0,387722
1	0,487924	0,238070	22,37006	28	0,763817	0,693002
2	0,268036	0,071844	5,78412	18	0,996993	0,909535
3	0,104018	0,010820	1,23627	10	0,999549	0,979937
4	0,096665	0,009344	0,57267	4	0,966050	0,990656

Рисунок 2.6 – Оцінка статистичної значущості канонічних коренів

Джерело: сформовано автором

Для підтвердження зроблених висновків та зосередження на найбільш значущому канонічному зв'язку, ми проаналізуємо факторну структуру та надмірність, беручи до уваги лише перший канонічний корінь (рисунки 2.7-2.8).

Root Variable	Factor Structure, left set (SpreadsheetCT_DT.sta)				
	Root 1	Root 2	Root 3	Root 4	Root 5
CP1	0,775426	-0,366093	-0,177403	0,169804	-0,452090
CP2	0,746752	-0,433924	-0,205020	0,188125	-0,420295
CP3	0,572064	-0,668559	-0,283648	0,227449	-0,305911
CP4	0,597880	-0,482745	-0,309391	0,173732	-0,532533
CP5	0,651242	-0,509388	-0,312703	0,139465	-0,446290

Рисунок 2.7 – Факторна структура для факторів комп'ютерного програмування

Джерело: сформовано автором

Root Variable	Factor Structure, right set (SpreadsheetCT_DT.sta)				
	Root 1	Root 2	Root 3	Root 4	Root 5
DT1	0,591646	0,358038	-0,461090	0,218373	-0,219123
DT2	-0,362175	0,727922	-0,296483	-0,105025	0,309383
DT3	-0,150665	0,046420	-0,433609	-0,141911	0,474879
DT4	-0,017094	0,258350	-0,753064	0,031889	-0,134008
DT5	-0,086562	0,513864	-0,219438	-0,077344	-0,575074
DT6	0,107608	0,033413	-0,232883	0,784103	0,089734
DT7	-0,440388	0,111269	-0,142461	0,245091	-0,279726
DT8	-0,018221	0,563422	0,187501	0,479251	0,068411

Рисунок 2.8 – Факторна структура для цифрової трансформації.

Джерело: сформовано автором

Для проведення подальшого аналізу обчислимо канонічні ваги. Канонічні ваги є коефіцієнтами в регресійних рівняннях, де залежними змінними виступають канонічні змінні. Іншими словами, канонічні ваги використовуються для розрахунку значень канонічних змінних на основі вихідних даних.

Канонічні ваги використовуються в економіко-математичному моделюванні для визначення відносної значущості або впливу незалежних змінних на залежну змінну в регресійних моделях. Вони дозволяють порівнювати та інтерпретувати вплив різних факторів, які можуть мати різні одиниці вимірювання або масштаби. Канонічні ваги забезпечують стандартизацію коефіцієнтів регресії, що полегшує їх порівняння та розуміння відносного внеску кожного фактора у формування результативної ознаки (рисунки 2.9 – 2.10).

Variable	Canonical Weights, left set (SpreadsheetCT_DT.sta)				
	Root 1	Root 2	Root 3	Root 4	Root 5
CP1	-8,19732	-48,6368	80,1864	-67,8524	-33,8370
CP2	12,77283	61,2428	-94,2179	86,6520	41,8319
CP3	-3,51501	-16,0177	23,3407	-15,5972	-8,0752
CP4	-3,82720	2,9644	-2,0109	9,7715	-4,5058
CP5	3,25117	-0,9646	-6,0981	-13,8391	3,5525

Рисунок 2.9 – Канонічні ваги для факторів галузі комп'ютерного програмування

Джерело: сформовано автором

Variable	Canonical Weights, right set (SpreadsheetCT_DT.sta)				
	Root 1	Root 2	Root 3	Root 4	Root 5
DT1	1,086778	0,263746	-0,00319	-0,081246	0,015931
DT2	-0,358620	0,787876	-0,17178	-0,304959	0,306234
DT3	0,195708	-0,074750	0,00387	-0,173408	0,712757
DT4	-0,405142	-0,448313	-1,06794	0,211372	-0,163874
DT5	-0,070151	0,591610	0,15829	-0,348639	-0,747772
DT6	-0,200232	0,008279	-0,33002	0,713243	-0,015775
DT7	-0,607835	-0,378796	0,04134	0,412524	-0,339728
DT8	0,138253	0,335829	0,58037	0,557197	0,360677

Рисунок 2.10 – Канонічні ваги для факторів цифрової трансформації

Джерело: сформовано автором

Значення канонічних ваг дозволили нам виразити зв'язок між результативним показником та сукупністю факторів у вигляді регресійного рівняння. Рівняння показує, як комбінація незалежних факторів, зважених за їхньою значущістю, впливає на залежну змінну в досліджуваній моделі (формула 2.1).

$$\begin{aligned}
 Y &= -8,198y_1 + 12,773y_2 - 3,51y_3 - 3,828y_4 + 3,252y_5 \\
 X &= 1,087x_1 - 0,359x_2 + 0,196x_3 - 0,405x_4 - 0,071x_5 - 0,201x_6 \\
 &\quad - 0,608x_7 + 0,139x_8
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

На наступному етапі аналізу була створена діаграма розсіювання, де по горизонтальній осі відкладалися значення першої правої канонічної змінної, що представляє компоненти галузі комп'ютерного програмування, а по вертикальній осі - значення першої лівої канонічної змінної, яка відображає показники цифрових трансформації регіонів. Ця діаграма розсіювання канонічних значень для першої пари канонічних коренів дозволяє візуально оцінити взаємозв'язок між складовими

комп'ютерного програмування та цифровою трансформацією регіонів, а також виявити можливі групи або кластери регіонів зі схожими характеристиками (рисунок 2.11).

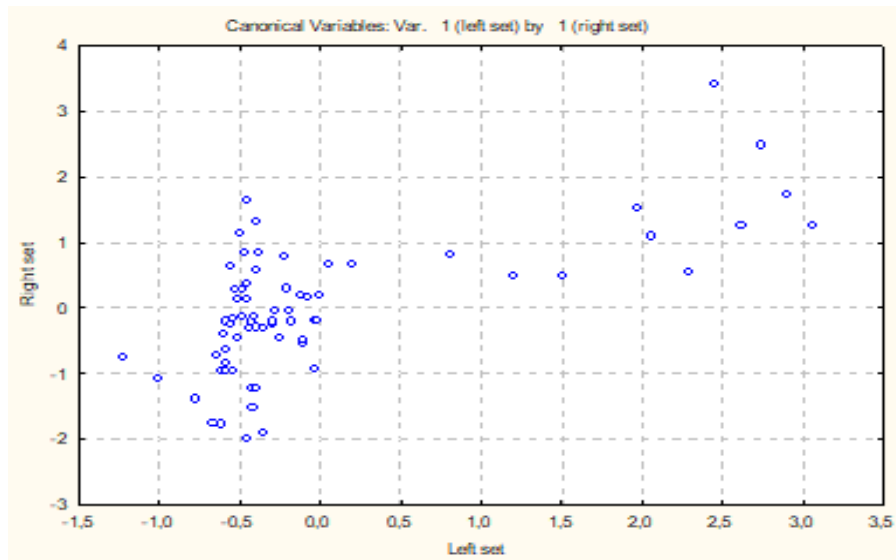


Рисунок 2.11 – Діаграма розсіювання канонічних значень

Джерело: сформовано автором

На діаграмі розсіювання (рисунок 2.11) зображено взаємозв'язок між першими канонічними змінними лівої та правої множин. Спостерігається позитивна тенденція - більшим значенням канонічної змінної правої множини відповідають вищі значення канонічної змінної лівої множини, що демонструє позитивний взаємозв'язок між цифровою трансформацією та комп'ютерним програмуванням. Кілька точок значно відхиляються у верхній правій та нижній лівій частинах, що може свідчити про регіони з високими та низькими значеннями розглянутих показників відповідно.

Для поглибленого аналізу взаємозв'язку між показниками цифрової трансформації та комп'ютерного програмування, необхідно розрахувати канонічні корені. Розрахунок канонічних коренів дозволить виявити наскільки сильно пов'язані ці дві множини змінних і які саме лінійні комбінації змінних (канонічні змінні) найкраще описують цей взаємозв'язок. Канонічні корені представляють коефіцієнти кореляції між канонічними змінними лівої та правої множин. Чим більше значення

канонічного кореня, тим сильніший зв'язок між відповідними канонічними змінними (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Значення канонічних коренів

Регіон	2020		2021		2022	
	Y	X	Y	X	Y	X
Вінницька область	-3147919,31	-0,08	-5872007,55	0,00	-8163436,60	0,06
Волинська область	-641023,99	-0,31	-1271035,12	-0,27	-1918638,62	-0,20
Дніпропетровська область	-5672508,31	0,02	-11456496,68	-0,04	-16440880,69	-0,04
Донецька область	-1034806,90	-0,30	-1524463,18	-0,31	-1986206,71	-0,31
Житомирська область	-1338271,56	-0,81	-3690251,57	-0,53	-5531409,11	-0,53
Закарпатська область	-660180,98	-0,75	-2108624,17	-0,49	-3547672,39	-0,49
Запорізька область	-1897049,81	-1,06	-3709867,59	-0,15	-5519452,31	-0,15
Івано - Франківська область	-1246034,35	-0,49	-3051978,07	-0,18	-4734415,80	0,06
Київська область	-38266760,96	0,24	-110094262,13	0,11	-206022996,77	-0,05
Кіровоградська область	-492491,48	-0,45	-510629,38	-0,40	-333051,20	-0,36
Львівська область	-10994362,43	0,06	-33413741,08	0,03	-49866853,60	-0,04
Миколаївська область	-1438252,82	-0,13	-3202247,24	-0,41	-4620256,26	-0,56
Одеська область	-3168251,46	-0,36	-11551409,52	-0,25	-17918670,80	-0,25
Полтавська область	-1204050,87	-0,11	-2161198,67	-0,16	-3193357,23	-0,22
Рівненська область	-916268,73	0,02	-1350169,80	0,05	-1929027,51	0,05
Сумська область	-858803,41	0,76	-2192848,87	-0,15	-3420574,38	-0,15
Тернопільська область	-826063,48	-0,23	-1675496,36	-0,10	-2537968,04	-0,10
Харківська область	-13687932,09	0,73	-30410758,61	0,48	-43852227,70	0,16
Херсонська область	-758164,40	-0,12	-1236404,34	-0,18	-1744240,97	-0,18
Хмельницька область	-874064,92	-0,57	-2512031,05	0,17	-3889473,76	0,20
Черкаська область	-1839193,64	-0,23	-3381628,07	-0,18	-4902414,20	-0,18
Чернівецька область	-775845,15	-0,67	-2437565,51	-0,40	-3762042,83	-0,24
Чернігівська область	-1161123,36	-0,38	-2251550,04	-0,18	-3282035,73	-0,08

Джерело: сформовано автором

Після розрахунку канонічних коренів необхідно виконати їх стандартизацію. Стандартизація канонічних коренів проводиться шляхом перетворення їх значень на стандартизовані z-значення із середнім 0 та стандартним відхиленням 1. Це дозволяє привести канонічні корені до безрозмірного масштабу і полегшити їх інтерпретацію та порівняння. Стандартизація усуває вплив різних одиниць вимірювання вихідних змінних на канонічні корені і забезпечує коректне оцінювання сили зв'язку між канонічними змінними лівої та правої множин (таблиця 2.2).

Генеральний інтегральний показник для кожного регіону був розрахований як зважена сума стандартизованих значень усіх ознак з урахуванням визначених вагових коефіцієнтів.

Таблиця 2.2 – Стандартизація канонічних коренів

Регіон	2020		2021		2022	
	Y	X	Y	X	Y	X
Вінницька область	0,26	0,31	0,17	0,59	0,09	0,77
Волинська область	0,35	-0,44	0,32	-0,31	0,30	-0,06
Дніпропетровська область	0,17	0,67	-0,03	0,44	-0,20	0,44
Донецька область	0,33	-0,41	0,32	-0,42	0,30	-0,42
Житомирська область	0,32	-2,07	0,24	-1,14	0,18	-1,14
Закарпатська область	0,35	-1,86	0,30	-1,03	0,25	-1,03
Запорізька область	0,30	-2,90	0,24	0,09	0,18	0,09
Івано - Франківська область	0,33	-1,01	0,26	-0,01	0,20	0,79
Київська область	-0,96	1,38	-3,46	0,95	-6,79	0,42
Кіровоградська область	0,35	-0,88	0,35	-0,73	0,36	-0,58
Львівська область	-0,01	0,79	-0,79	0,69	-1,36	0,44
Миколаївська область	0,32	0,17	0,26	-0,74	0,21	-1,23
Одеська область	0,26	-0,59	-0,03	-0,22	-0,25	-0,22
Полтавська область	0,33	0,23	0,29	0,05	0,26	-0,13
Рівненська область	0,34	0,64	0,32	0,74	0,30	0,74
Сумська область	0,34	3,06	0,29	0,10	0,25	0,10
Тернопільська область	0,34	-0,17	0,31	0,24	0,28	0,24
Харківська область	-0,11	2,99	-0,69	2,17	-1,15	1,12
Херсонська область	0,34	0,18	0,33	0,00	0,31	0,00
Хмельницька область	0,34	-1,29	0,28	1,14	0,23	1,25
Черкаська область	0,31	-0,18	0,25	0,01	0,20	0,01
Чернівецька область	0,34	-1,60	0,28	-0,71	0,24	-0,20
Чернігівська область	0,33	-0,66	0,29	0,01	0,26	0,34

Джерело: сформовано автором

Отримані значення генерального інтегрального показника рівня розвитку галузі комп'ютерного програмування під впливом цифрової трансформації дозволили ранжувати регіони України за рівнем розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації. Високі значення інтегрального показника свідчать про лідируючі позиції регіону за обома напрямками, тоді як низькі значення вказують на необхідність додаткових зусиль для стимулювання розвитку ІТ-сфери та цифровізації (таблиця 2.3).

Розглядаючи динаміку генеральних інтегральних показників за 2020-2022 роки, можна виділити кілька регіонів-лідерів. Київська область демонструє найвищі значення протягом усього періоду, що свідчить про сприятливі умови як для розвитку галузі комп'ютерного програмування, так і для цифрової трансформації регіону. Високі показники також мають Харківська, Закарпатська та Житомирська області. Це може бути пов'язано з відкриттям нових ІТ-компаній або реалізацією масштабних цифрових проєктів у регіонах.

Таблиця 2.3 – Генеральні інтегральні показники по регіонам України

Регіон	2020	2021	2022
Вінницька область	0,283	0,313	0,257
Волинська область	0,391	0,318	0,133
Дніпропетровська область	0,338	0,113	0,298
Донецька область	0,368	0,364	0,354
Житомирська область	0,818	0,525	0,450
Закарпатська область	0,802	0,552	0,504
Запорізька область	0,938	0,144	0,124
Івано - Франківська область	0,573	0,043	0,403
Київська область	1,152	1,809	1,684
Кіровоградська область	0,556	0,506	0,456
Львівська область	0,101	0,738	0,773
Миколаївська область	0,234	0,438	0,507
Одеська область	0,390	0,084	0,235
Полтавська область	0,277	0,122	0,185
Рівненська область	0,464	0,489	0,474
Сумська область	1,019	0,171	0,158
Тернопільська область	0,241	0,275	0,261
Харківська область	0,564	1,221	1,137
Херсонська область	0,247	0,040	0,039
Хмельницька область	0,660	0,566	0,541
Черкаська область	0,233	0,044	0,040
Чернівецька область	0,739	0,450	0,217
Чернігівська область	0,464	0,053	0,294

Джерело: сформовано автором

Такі регіони як Волинська, Донецька, Херсонська, Черкаська області мають досить низькі значення генерального інтегрального показника протягом розглянутого періоду. Це може свідчити про недостатній розвиток ІТ-сфери та повільну цифровізацію в цих регіонах.

Наступним етапом дослідження є ранжування регіонів за величиною їх генеральних інтегральних показників (таблиця Б.3). Регіони з найвищими значеннями посядуть перші місця в рейтингу, а з найнижчими - останні.

Побудований графік (рисунок 2.12) демонструє динаміку позицій областей протягом 2020-2022 років. Київська область незмінно посідає перше місце протягом усього періоду, що свідчить про її стабільно високий рівень розвитку. Донецька та Херсонська області утримують низькі позиції протягом усього періоду. Деякі області, такі як Харківська, Хмельницька та Чернівецька, демонструють відносну стабільність своїх позицій у рейтингу. Інші області, наприклад, Волинська, Івано-Франківська та Сумська, мають істотні коливання в рангах з року в рік. Графік наочно ілюструє відносні позиції регіонів та їх динаміку, що може бути корисним для аналізу та прийняття управлінських рішень на державному та регіональному рівнях.

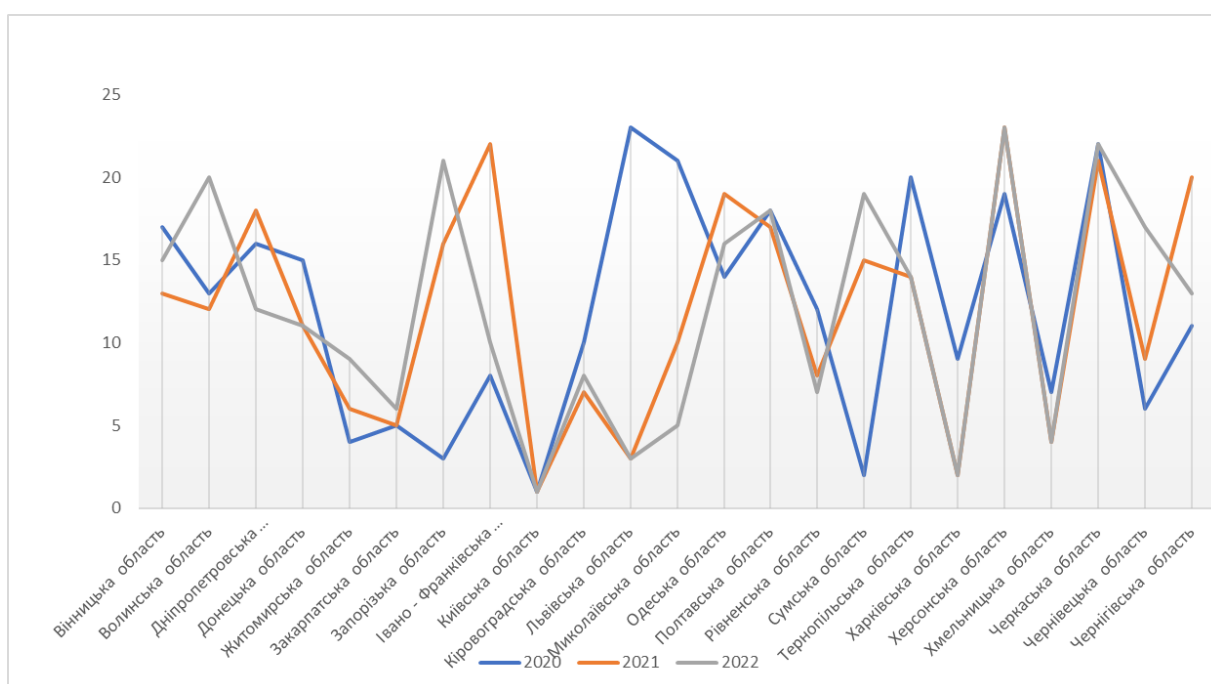


Рисунок 2.12 – Динаміка рангів регіонів України за генеральним інтегральним показником розвитку у 2020-2022 роках

Джерело: сформовано автором

Аналізуючи шкали Харінгтона за роками, побудовані за результатами генерального інтегрального показника, можна помітити, що у 2020 році низький

рівень спостерігався в 16 регіонах, що становило 69,57% від загальної кількості регіонів, при цьому інтервал генерального інтегрального показника був від 0,039 до 0,629. Середній рівень мали 7 регіонів з інтервалом від 0,630 до 1,219. Високий рівень не було зафіксовано у жодному з регіонів (таблиця 2.4).

У 2021 році ситуація змінилася у бік погіршення. Низький рівень зріс до 20 регіонів з інтервалом від 0,039 до 0,629. Середній рівень спостерігався лише у 1 регіонах або 4,35% з інтервалом від 0,630 до 1,219. Високий рівень був присутній у 2 регіонах з інтервалом від 1,220 до 1,809 (таблиця 2.5).

У 2022 році низький рівень залишився на позначці 86,96% або 20 регіонів з інтервалом від 0,039 до 0,629. Середній рівень збільшився до 2-х регіонів з інтервалом від 0,630 до 1,219. Високий рівень також був присутній у 1 регіона з інтервалом від 1,220 до 1,809 (таблиця 2.6).

Таблиця 2.4 – Шкала Харінгтона за 2020 рік

Інтервал	Рівень	Кількість регіонів	Частка, %
[0,039; 0,629]	низький	16	69,57%
[0,630; 1,219]	середній	7	30,43%
[1,220; 1,809]	високий	0	0%

Джерело: сформовано автором

Таблиця 2.5 – Шкала Харінгтона за 2021 рік

Інтервал	Рівень	Кількість регіонів	Частка, %
[0,039; 0,629]	низький	20	86,96%
[0,630; 1,219]	середній	1	4,35%
[1,220; 1,809]	високий	2	8,70%

Джерело: сформовано автором

Таблиця 2.6 – Шкала Харінгтона за 2022 рік

Інтервал	Рівень	Кількість регіонів	Частка, %
[0,039; 0,629]	низький	20	86,96%
[0,630; 1,219]	середній	2	8,70%
[1,220; 1,809]	високий	1	4,35%

Джерело: сформовано автором

Наступним етапом було побудова лінійної регресійної моделі. Її результати (таблиця Б.4) вказують на те, що множинний R дорівнює 0,229, що свідчить про слабкий лінійний зв'язок між залежною та незалежною змінними. R-квадрат становить 0,053, це означає що лише 5,22% варіації залежної змінної пояснюється лінійною регресійною моделлю. Нормований R-квадрат з урахуванням кількості факторів дорівнює 0,039. За результатами дисперсійного аналізу F-статистика регресії становить 3,691131403 при рівні значимості 0,059 що є вищим за стандартний рівень 0,05, тобто модель в цілому не є статистично значимою. Коефіцієнт при незалежній змінній X є статистично незначимим при 5% рівні значимості, оскільки P-значення 0,059 є більшим за 0,05. В цілому можна зробити висновок, що побудована лінійна регресійна модель не є достатньо адекватною для опису взаємозв'язку між досліджуваними змінними, хоча має показники, наближені до нормативного рівня.

2.3 Розробка програмного застосунку для автоматизації методики розрахунків

На початковому етапі роботи, перш ніж приступити до безпосереднього аналізу даних, був використаний пакет інструментів Microsoft Excel для прогнозування відсутніх значень деяких показників. Оскільки в доступних інформаційних джерелах були присутні пропуски даних, було застосовано функціональні можливості Excel для заповнення цих прогалів шляхом прогнозування відсутніх даних на основі наявної інформації. Це дозволило отримати повний набір необхідних показників для подальшого включення їх в економіко-математичне моделювання та аналіз (рисунок 2.12).

Region	Year	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	DT7	DT8
Вінницька область	2020	3984,000	4576,000	681,000	6186587,300	6307176,000	1609146,800	0,900	0,667	1,200	0,948	0,556	0,178	1,111	0,521
Волынська область	2020	1545,000	1769,000	244,000	1129435,400	1129435,400	341899,900	0,279	0,520	1,138	1,068	0,043	0,000	0,000	0,513
Дніпропетровська область	2020	30610,000	11744,000	1247,000	3022606,100	3022606,100	2244926,600	1,000	1,093	1,041	0,962	0,498	1,000	0,921	1,034
Донецька область	2020	2282,000	2458,000	222,000	1602845,800	1602845,800	1809030,100	0,330	0,538	1,079	0,459	0,287	0,771	0,624	0,438
Житомирська область	2020	2537,000	2792,000	291,000	2351330,300	2352023,400	713543,500	0,380	1,074	1,555	0,993	0,221	1,600	0,737	0,318
Закарпатська область	2020	1293,000	1362,000	87,000	1122909,600	1117976,800	318895,900	0,408	1,252	1,036	0,889	0,189	1,000	0,893	0,369
Закарпатська область	2020	4278,000	5311,000	1160,000	346119,500	346119,500	1247392,000	0,183	0,882	0,943	0,628	0,037	3,000	0,927	1,048
Івано-Франківська область	2020	2784,000	2967,000	226,000	2243784,700	2253882,600	653538,500	0,656	1,216	1,501	0,012	0,033	1,422	1,275	0,081
Київська область	2020	34981,000	48872,000	13585,000	6121132,900	6255916,400	26138610,600	0,761	0,113	1,611	0,697	0,658	1,000	0,426	0,012
Київська область	2020	3360,000	1937,393	829,763	1093984,619	1088076,513	392376,346	0,094	0,132	0,844	0,387	0,016	0,000	0,300	0,018
Львівська область	2020	16727,000	17918,000	1486,000	15501052,400	1554709,800	5140982,100	0,910	0,692	0,678	0,872	0,252	1,422	0,401	0,654
Львівська область	2020	3847,000	4096,000	295,000	2548334,300	2551361,500	806700,200	0,048	0,401	0,392	0,518	0,306	0,267	0,275	2,449
Миколаївська область	2020	6259,000	7026,000	812,000	5554880,700	5551151,800	3559291,100	0,810	0,833	0,704	1,121	0,795	1,000	0,851	1,066
Полтавська область	2020	2687,000	2930,000	272,000	2047286,000	2035223,200	631144,700	0,800	0,850	1,475	1,111	0,778	0,216	0,735	0,251
Рівненська область	2020	1966,000	2224,000	278,000	1697356,100	1696819,800	527332,900	1,042	1,351	1,272	0,931	0,081	0,640	0,678	0,449
Сумська область	2020	1991,000	2106,000	148,000	1470961,600	1471388,300	448968,100	0,843	1,282	0,821	1,278	0,920	0,000	0,303	0,911
Тернопільська область	2020	1693,000	1842,000	171,000	1409297,500	1402115,600	427685,600	1,000	1,074	0,922	1,017	0,704	1,000	0,935	1,291
Харківська область	2020	21640,000	29012,000	3763,000	23975819,200	23973796,900	8423388,600	0,944	0,271	0,717	0,258	0,004	0,442	0,246	0,057
Харківська область	2020	1731,000	1800,000	100,000	123276,200	1229899,000	40842,900	0,680	1,023	1,617	0,785	0,416	0,320	0,671	0,047
Хмельницька область	2020	2110,000	2175,000	88,000	1524108,600	1522153,200	466142,000	0,997	0,995	1,463	0,626	0,021	6,400	0,830	0,217
Черкаська область	2020	3239,000	3703,000	532,000	3249829,700	3254083,600	1048711,600	0,844	0,999	1,028	0,882	0,142	0,720	0,839	0,208
Чернівецька область	2020	1644,000	1751,000	141,000	1368114,300	1370105,700	400184,300	0,203	1,813	1,151	0,108	0,007	0,256	0,010	0,047
Чернівецька область	2020	2190,000	2411,000	277,000	1955413,300	1988275,400	652726,800	0,320	1,404	0,827	0,717	0,064	0,178	0,125	0,045
Вінницька область	2021	5047,000	5586,000	619,000	8694453,900	8379023,282	2233926,109	0,900	0,704	1,020	0,921	0,658	0,267	0,879	0,503
Волынська область	2021	1973,000	2251,000	299,000	1698989,800	1506843,875	449217,507	0,409	0,818	1,027	0,996	0,105	0,000	0,629	0,686
Дніпропетровська область	2021	31296,000	14506,000	1397,000	3468012,400	3302607,296	4234666,736	1,000	0,993	0,921	0,952	0,694	1,000	0,764	0,916
Донецька область	2021	2730,000	2960,000	266,000	2300887,100	2335190,761	685085,588	0,325	0,252	0,631	0,527	0,396	0,680	0,596	0,345
Житомирська область	2021	3125,000	3392,000	300,000	3462866,400	2938331,040	870962,438	0,380	0,909	0,895	0,809	0,349	0,400	0,461	0,403

Рисунок 2.12 – Прогнозування даних з використанням Microsoft Excel

Джерело: сформовано автором

Далі у Microsoft Excel була побудована карта регіонів України за індексом цифрової трансформації.

Також було проведено кореляційний аналіз за допомогою інструмента «Аналіз даних» (рисунок 2.13).

Q17	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	DT7	DT8
2	CP1	1,0													
3	CP2	1,0	1,0												
4	CP3	0,9	0,9	1,0											
5	CP4	1,0	1,0	1,0	1,0										
6	CP5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0									
7	CP6	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0								
8	DT1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	1,0							
9	DT2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	1,0						
10	DT3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,3	1,0					
11	DT4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,5	1,0				
12	DT5	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,3	0,2	0,3	0,6	1,0			
13	DT6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	-0,1	-0,2	1,0		
14	DT7	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,1	1,0	
15	DT8	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	0,4	0,0	0,1	1,0

Рисунок 2.13 – Проведення кореляційного аналізу у Microsoft Excel

Джерело: сформовано автором

Для канонічного аналізу було використано програмне забезпечення STATISTICA, пакет «Multivariate Exploratory Techniques» – «Canonical Analysis» (рисунок 2.14).

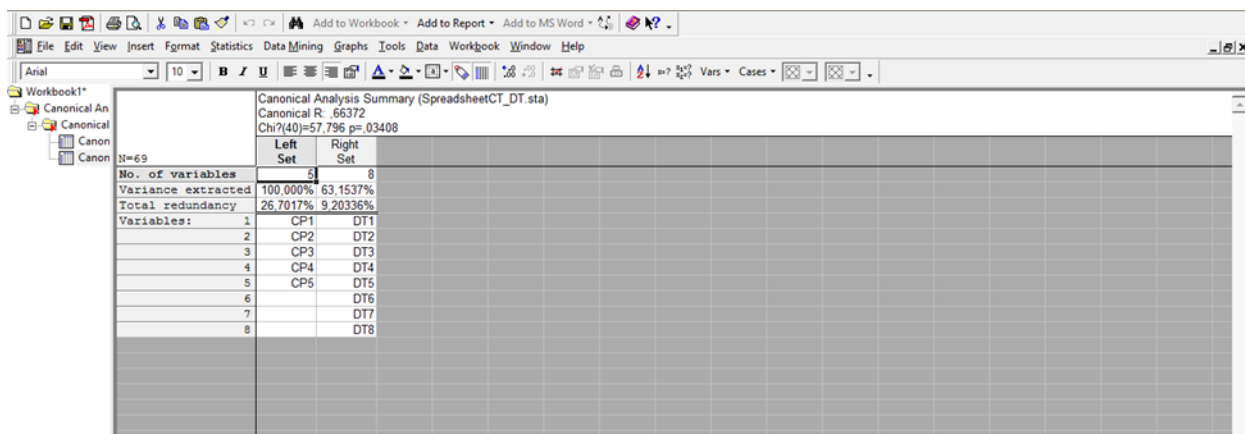


Рисунок 2.14 – Результати канонічного аналізу у програмному забезпеченні
STATISTICA

Джерело: сформовано автором

За допомогою функції «Multivariate Exploratory Techniques» – «Canonical Analysis» – «Scatterplot» було побудовано графік розсіювання (рисунок 2.15).

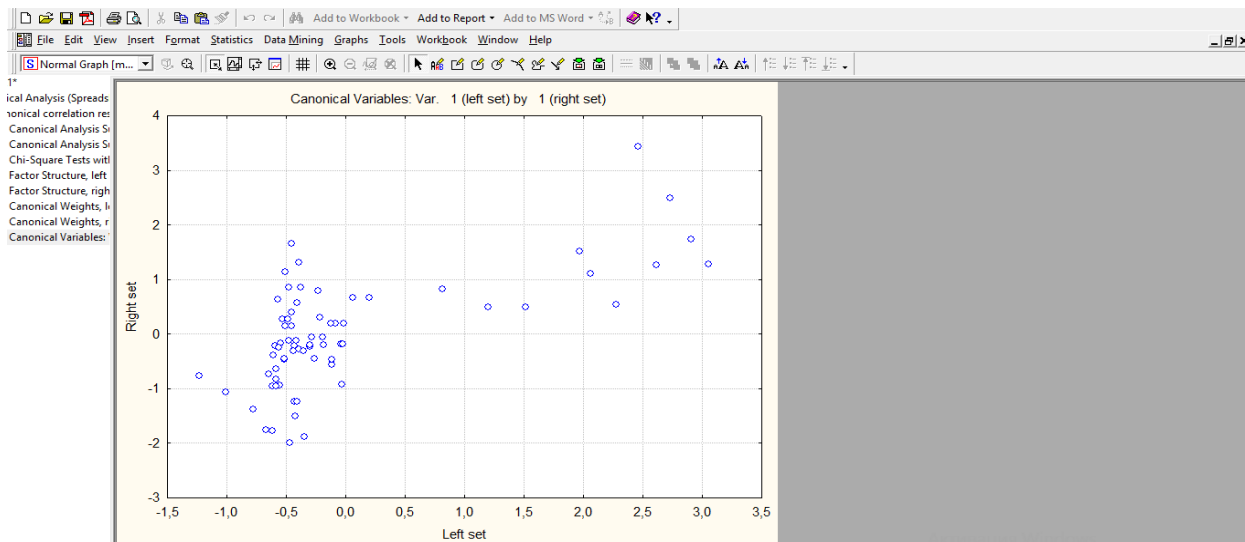


Рисунок 2.15 – Графік розсіювання побудований у програмному забезпеченні
STATISTICA

Джерело: сформовано автором

Для стандартизації використано функцію «Basic Statistics/Tables» – «Data Transformations» – «Standardize» (рисунок 2.16).

	1 Y	2 X	3 Пер3	4 Пер4	5 Пер5	6 Пер6	7 Пер7	8 Пер8	9 Пер9
1	-3147919,31	-0,0842146373							
2	-641023,99	-0,312757016							
3	-5672508,31	0,0245239485							
4	-1034806,90	-0,302869889							
5	-1338271,56	-0,8114062							
6	-660180,98	-0,746093492							
7	-1897049,81	-1,06475774							
8	-1246034,35	-0,486421214							
9	-38266760,96	0,243316289							
10	-492491,48	-0,446962785							
11	-10994362,43	0,0639219004							
12	-1438252,82	-0,126066926							
13	-3168251,46	-0,358188265							
14	-1204050,87	-0,107151738							
15	-916268,73	0,0159421161							
16	-858803,41	0,756509841							
17	-826063,48	-0,230631528							
18	-13687932,09	0,734450274							
19	-758164,40	-0,12418662							
20	-874064,92	-0,571436205							
21	-1839193,64	-0,232850574							
22	-775845,15	-0,665466765							
23	-1161123,36	-0,378521759							
24	-5872007,55	0,00279399902							
25	-1271035,12	-0,27362423							
26	-11456496,68	-0,044805							
27	-1524463,18	-0,306161							
28	-3690251,57	-0,527676							

Рисунок 2.16 – Стандартизація даних за допомогою програмного забезпечення

STATISTICA

Джерело: сформовано автором

ВИСНОВОК

Актуальність обраної теми визначається зростаючою роллю цифрових технологій у всіх сферах життєдіяльності суспільства та необхідністю пошуку ефективних шляхів цифрової трансформації регіонів для забезпечення їх сталого розвитку. Було проведено ґрунтовний аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку галузі комп'ютерного програмування в Україні, її внеску в економіку країни та окремих регіонів. Визначено провідну роль ІТ-галузі у забезпеченні цифрової трансформації різних секторів економіки та сфер життєдіяльності суспільства.

На основі проведеного аналізу була сформульована мета дослідження – розробити структурно-логічну модель взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України. Для досягнення поставленої мети були визначені основні завдання, серед яких побудова економіко-математичної моделі, що дозволить кількісно оцінити взаємозв'язок між досліджуваними показниками, проведення кореляційно-регресійного аналізу та прогнозування.

Було обґрунтовано вибір методів дослідження, зокрема економіко-математичного моделювання, кореляційно-регресійного аналізу та прогнозування. Визначено вхідні та вихідні змінні для побудови моделі, джерела даних для їх отримання. Описано підходи до збору, обробки та аналізу статистичних даних.

Таким чином, було закладено теоретичне та методологічне підґрунтя для проведення дослідження взаємозв'язку між розвитком галузі комп'ютерного програмування та цифровою трансформацією регіонів України за допомогою економіко-математичного моделювання. Визначено напрямки подальшої роботи, пов'язані з розробкою самої економіко-математичної моделі, проведенням розрахунків та аналізом отриманих результатів.

Математична модель була розроблена в п'ять етапів. На першому етапі показники були згруповані у дві групи за ключовими ознаками. На другому етапі було побудовано карту регіонів, наочно демонструвала відмінності у рівні цифровізації

між різними областями країни. На третьому етапі було проведено кореляційний аналіз. Було обрано 6 ключових показників, що характеризують розвиток галузі комп'ютерного програмування, та 8 компонентів, які формують індикатор рівня цифрової трансформації. Четвертий етап включав канонічний аналіз. Було сформовано два набори показників. Перший набір містив 6 змінних, які характеризували розвиток галузі комп'ютерного програмування в регіонах України. Другий набір включав 8 змінних, які відображали рівень цифрової трансформації регіонів. П'ятим етапом стало обчислення генеральних інтегральних показників для регіону по роках. Найвищі значення генерального інтегрального показника демонструють Київська, Харківська, Львівська області. Найнижчі показники мають Донецька, Кіровоградська, Чернігівська та Херсонська області. Шостим етапом було побудова лінійної регресійної моделі. Побудована лінійна регресійна модель не є достатньо адекватною для опису взаємозв'язку між досліджуваними змінними, хоча має показники, наближені до нормативного рівня.

Розрахунки були автоматизовані за допомогою Microsoft Excel, Statistica 10 та Statistica Portable.

Спостерігаються суттєві диспропорції в рівнях цифровізації між регіонами України, що потребує вжиття заходів для вирівнювання цих диспропорцій та прискореного розвитку цифрових технологій у відстаючих областях.

З метою подолання виявлених диспропорцій та забезпечення сталої цифровізації регіонів рекомендується розробити комплексну державну стратегію цифрової трансформації з конкретними регіональними програмами та механізмами стимулювання розвитку ІТ-галузі. Важливими напрямками можуть стати створення сприятливих умов для залучення інвестицій в ІТ-сферу регіонів, розбудова відповідної інфраструктури, підготовка ІТ-фахівців та підвищення цифрових компетенцій населення. Перспективним є також налагодження співпраці влади, бізнесу та громадськості для ефективного впровадження цифрових трансформацій. Подальші дослідження доцільно зосередити на удосконаленні побудованої моделі, врахуванні нових факторів та індикаторів, а також розробці інструментарію для ефективного управління процесами цифровізації на регіональному рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барченко Н.О., Любчак В.К., Великодний Д. Вибір метода кластеризації з метою аналізу показників цифрових трансформацій регіонів України. Інформаційні технології та суспільство. 2023. Т. 2, № 8. С. 6–17. URL: <https://doi.org/10.32689/maur.it.2023.2.1> (дата звернення: 09.05.2024).
2. Воропай Н.Л, Герасименко Т.В, Кирилова Л.О. Економіко-математичні методи та моделі / ред. Мацкул В.М. Одеса : ОНЕУ, 2018. 404 с.
3. Гавронський А. О. Вплив цифровізації на інноваційний розвиток регіонів. *Economic Synergy*. 2023. № 4. С. 147–157. URL: <https://doi.org/10.53920/es-2023-4-10> (дата звернення: 09.05.2024).
4. Дергачова Г. М, Колешня Я. О. Цифрова трансформація бізнесу: сутність, ознаки, вимоги та технології. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2020. № 12. С. 280–288. URL: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.17.2020.216367> (дата звернення: 09.05.2024).
5. Ключиков Р. С., Ключиков С. Ф. Узагальнення практики програмування і майбутнє штучного інтелекту. *Наука та виробництво*. 2019. № 20. URL: <https://doi.org/10.31498/2522-9990202019183835> (дата звернення: 09.05.2024).
6. Панкратова О. Цифровізація як сучасний тренд розвитку менеджменту. *Економіка та суспільство*. 2021. № 33. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-33-55> (дата звернення: 09.05.2024).
7. Піжук О. І. Цифровізація як зміна парадигми розвитку економічних систем. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка»*. 2018. № 2(52). С. 84–91. URL: [https://doi.org/10.24144/2409-6857.2018.2\(52\).84-91](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2018.2(52).84-91) (дата звернення: 09.05.2024).
8. Руденко М. В. Технології цифрової трансформації сільськогосподарських підприємств. *Агросвіт*. 2019. № 23, груд. С. 8–18.

9. Титиш Б. Й. Цифровізація економіки: можливості та виклики. *Ekonomika ta derzhava*. 2022. № 7. С. 110–114. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2022.7.110> (дата звернення: 09.05.2024).

10. Тогобицька Т. Фактори державного регулювання економічними ризиками в умовах цифровізації. *Bulletin of the National University of Civil Protection of Ukraine. Series: Public Administration*. 2021. № 2(15). URL: <https://doi.org/10.52363/2414-5866-2021-2-1> (дата звернення: 09.05.2024).

11. Чубарь О., Русин О. Сучасні прояви цифрової трансформації регіонів України. *Економіка та суспільство*. 2023. № 49. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-49-13> (дата звернення: 09.05.2024).

12. Матвієнко О. Цифровізація : освітній контекст. *Вісник Книжкової палати*. 2020. № 11 (292), листоп. С. 28–35.

13. Михайлов І. О., Квіта Г. М. Цифрова економіка – економіка XXI століття : thesis. 2021. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/18716> (дата звернення: 12.05.2024).

14. Зайцев О.В. Цифровізація економіки : thesis / 2018. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/70488> (дата звернення: 12.05.2024).

15. Серьоженко О. Я. Цифровізація як явище економічної діяльності : thesis. 2021. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/53810> (дата звернення: 12.05.2024).

16. Яріш О. В., Палієнко О. О. Цифровізація фінансового сектору України : thesis. 2021. URL: <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/10736> (дата звернення: 12.05.2024).

17. Руденко М. Цифровізація: категоріальні особливості та специфіка трактування. *Economic forum*. 2021. Т. 1, № 4. С. 3–13. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2308-8559-2021-4-1> (дата звернення: 12.05.2024).

18. Золотарьова О., Мережко Н. Цифровізація освіти: європейський формат. *Foreign trade: Economics, Finance, Law*. 2022. Т. 123, № 4. С. 91–100. URL: [https://doi.org/10.31617/3.2022\(123\)08](https://doi.org/10.31617/3.2022(123)08) (дата звернення: 12.05.2024).

19. Матвієнко О. Цифровізація : освітній контекст. *Вісник Книжкової палати*. 2020. № 11 (292), листоп. С. 28–35.

20. Титиш Б. Й. Цифровізація економіки: можливості та виклики. *Ekonomika ta derzhava*. 2022. № 7. С. 110–114. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2022.7.110> (дата звернення: 13.05.2024).

21. Трещов М. М., Наумик А. С. Цифровізація воюючої держави: необхідність та переваги. *Проблеми сучасних трансформацій*. Серія: право, публічне управління та адміністрування. 2023. № 9. URL: <https://doi.org/10.54929/2786-5746-2023-9-02-10> (дата звернення: 13.05.2024).

22. Срібна Ю.В., Ступницький В.В. Цифровізація – глобальні виміри розвитку людства. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*. 2022. Т. 1, № 97. С. 53. URL: <https://doi.org/10.31713/ve120225> (дата звернення: 13.05.2024).

23. Ahmed M., Seraj R., Islam S. M. S. The k-means Algorithm: A Comprehensive Survey and Performance Evaluation. *Electronics*. 2020. Vol. 9, no. 8. P. 1295. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics9081295> (date of access: 09.05.2024).

24. Kochura T. Digitalization of military economy. *European Journal of Economics and Management*. 2021. Vol. 7, no. 1. P. 64–70. URL: <https://doi.org/10.46340/eujem.2021.7.1.9> (date of access: 09.05.2024).

25. Yarovenko H. Canonical analysis of relationship between information security and socio-economic-political development of the country. *Herald UNU. International Economic Relations And World Economy*. 2020. No. 31. URL: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2020-31-26> (date of access: 09.05.2024).

26. Kowo S.A., Kadiri B.I., Zekeri A. Correlate of Workforce Diversity and Organisational Performance of Multinational Food Producing Industry in Nigeria. *Business Ethics and Leadership* 2020. № 4(1). P. 126-137. [http://doi.org/10.21272/bel.4\(1\).126-137.2020](http://doi.org/10.21272/bel.4(1).126-137.2020) (дата звернення 01.06.2020 р.).

27. Amendola G. Digital strategy and business performance. *Business Digitalization*. London, 2023. P. 110–125. URL: <https://doi.org/10.4324/9781003401285-8> (date of access: 09.05.2024).

28. Computer-Assisted Technologies in Arthroplasty / K. Hazratwala et al. *JBJS Reviews*. 2020. Vol. 8, no. 3. P. e0157. URL: <https://doi.org/10.2106/jbjs.rvw.19.00157> (date of access: 09.05.2024).

29. Digitalization / ed. by D. R. A. Schallmo, J. Tidd. Cham : Springer International Publishing, 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69380-0> (date of access: 09.05.2024).

30. Hemsley-Brown J. Brand identity and digital transformation. Business Digitalization. London, 2023. P. 5–28. URL: <https://doi.org/10.4324/9781003401285-2> (date of access: 09.05.2024).

31. Hippmann S., Klingner R., Leis M. Digitization – Areas of Application and Research Objectives. Digital Transformation. Berlin, Heidelberg, 2019. P. 9–17. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58134-6_2 (date of access: 09.05.2024).

32. Neugebauer R. Digital Information – The “Genetic Code” of Modern Technology. Digital Transformation. Berlin, Heidelberg, 2019. P. 1–7. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58134-6_1 (date of access: 09.05.2024).

33. Parallel programming technologies on computer complexes / S. A. Pryadko et al. Radio industry (Russia). 2020. Vol. 30, no. 3. P. 28–33. URL: <https://doi.org/10.21778/2413-9599-2020-30-3-28-33> (date of access: 09.05.2024).

34. Samoilenko S. V. Conceptualizing and Defining Digitalization. Digitalization. New York, 2022. P. 1–12. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003304906-1> (date of access: 09.05.2024).

35. Blockchain / W. Prinz et al. Digital Transformation. Berlin, Heidelberg, 2019. P. 301–309. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58134-6_18 (date of access: 12.05.2024).

36. Computer science, computer, computational complexity / V. N. Chubarikov et al. Chebyshevskii sbornik. 2021. Vol. 22, no. 1. P. 520–536. URL: <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2021-22-1-520-536> (date of access: 12.05.2024).

37. Hahn H., Schreiber A. E-Health. Digital Transformation. Berlin, Heidelberg, 2019. P. 311–334. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58134-6_19 (date of access: 12.05.2024).

38. Hippmann S., Klingner R., Leis M. Digitization – Areas of Application and Research Objectives. *Digital Transformation*. Berlin, Heidelberg, 2019. P. 9–17. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58134-6_2 (date of access: 12.05.2024).
39. Hoe S. L. Business Applications of Digital Technology. *Digital Transformation*. Boca Raton, 2022. P. 119–133. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003311393-9> (date of access: 12.05.2024).
40. Hoe S. L. Digital Transformation Strategy. *Digital Transformation*. Boca Raton, 2022. P. 5–22. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003311393-2> (date of access: 12.05.2024).
41. Nasution M. K. M., Hidayat R., Syah R. Computer Science. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2022. Vol. 12, no. 3. P. 1142. URL: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.3.14832> (date of access: 12.05.2024).
42. Neugebauer R. Digital Information – The “Genetic Code” of Modern Technology. *Digital Transformation*. Berlin, Heidelberg, 2019. P. 1–7. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-58134-6_1 (date of access: 12.05.2024).
43. Amendola G. Digital strategy and business performance. *Business Digitalization*. London, 2023. P. 110–125. URL: <https://doi.org/10.4324/9781003401285-8> (date of access: 13.05.2024).
44. Fakhreddin F. How digital technology adoption results in improved innovation and firm performance outcomes. *Business Digitalization*. London, 2023. P. 63–75. URL: <https://doi.org/10.4324/9781003401285-5> (date of access: 13.05.2024).
45. Samoilenko S. V. Digitalization: Platform Acquisition. *Digitalization*. New York, 2022. P. 97–102. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003304906-13> (date of access: 13.05.2024).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

SUMMARY

Chepel K.O. Economic and Mathematical Modeling of the Relationship Between the Development of the Field of Computer Programming and the Digital Transformation of the Regions of Ukraine. Sumy State University, Sumy, 2024.

Digital transformation is becoming a defining trend of the modern world, penetrating all spheres of life in society and the economy. The implementation of digital technologies makes it possible to increase the efficiency of production processes, optimize management, improve the quality of service provision, and generally contributes to innovative development. The field of computer programming plays a key role in enabling digitization by creating the necessary software and IT solutions.

The purpose of the work is to develop a structural and logical model of the interrelationships of the development of the field of computer programming and digital transformation of the regions of Ukraine.

Key words: computer programming, digital transformation, map of regions, canonical analysis, canonical correlations, factor analysis, integral indicators.

АНОТАЦІЯ

Чепель К.О. Економіко-математичне моделювання взаємозв'язку розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України. Сумський державний університет, Суми, 2024 рік.

Цифрова трансформація стає визначальним трендом сучасного світу, проникаючи в усі сфери життєдіяльності суспільства та економіки. Впровадження цифрових технологій дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів, оптимізувати управління, поліпшити якість надання послуг та загалом сприяє інноваційному розвитку. Галузь комп'ютерного програмування відіграє ключову роль у забезпеченні цифровізації, створюючи необхідне програмне забезпечення та IT-рішення.

Метою роботи є розробка структурно-логічної моделі взаємозв'язків розвитку галузі комп'ютерного програмування та цифрової трансформації регіонів України.

Ключові слова: комп'ютерне програмування, цифрова трансформація, карта регіонів, канонічний аналіз, канонічні кореляції, факторний аналіз, інтегральні показники.

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Первинні статистичні дані

Region	Рік	Кількість діючих суб'єктів господарювання	Кількість зайнятих працівників у суб'єктів господарювання, осіб	Кількість найманих працівників у суб'єктів господарювання, осіб	Обсяг реалізованої продукції, тис. грн	...	Проникнення базових е-послуг	Галузева ЦТ	Індекс цифрової трансформації
		CP1	CP2	CP3	CP4	...	DT7	DT8	DT
Вінницька область	2020	3984,000	4576,000	681,000	6186587,300	...	1,111	0,521	0,753
Волинська область	2020	1545,000	1769,000	244,000	1129435,400	...	0,513	0,658	0,540
Дніпропетровська область	2020	10610,000	11744,000	1347,000	10226086,100	...	0,631	1,034	0,924
Донецька область	2020	2282,000	2458,000	222,000	1802845,800	...	0,624	0,438	0,613
Житомирська область	2020	2537,000	2792,000	291,000	2351330,300	...	0,737	0,318	0,855
Закарпатська область	2020	1293,000	1362,000	87,000	1123909,600	...	0,693	0,369	0,781
Запорізька область	2020	4278,000	5317,000	1160,000	3461819,500	...	0,827	1,048	0,474
Івано - Франківська область	2020	2794,000	2967,000	226,000	2243784,700	...	1,275	0,081	0,679
Київська область	2020	34081,000	46872,000	13585,000	63213132,900	...	0,428	0,032	0,435
Кіровоградська область	2020	1360,000	1937,393	629,783	1055984,019	...	0,830	0,018	0,284
Львівська область	2020	16727,000	17918,000	1486,000	19501052,400	...	0,401	0,654	0,643
...
Хмельницька область	2022	3313,720	3398,803	124,868	3157643,755	...	0,596	0,458	0,610
Черкаська область	2022	4778,402	5240,793	566,667	6131678,949	...	0,759	0,387	0,716
Чернівецька область	2022	2581,479	2676,760	154,997	2876744,723	...	0,596	0,211	0,540
Чернігівська область	2022	3434,627	3602,195	273,761	3718241,622	...	0,402	0,507	0,522

Таблиця Б.2 – Значення кореляційної матриці

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	DT7	DT8
CP1	1,0													
CP2	1,0	1,0												
CP3	0,9	0,9	1,0											
CP4	1,0	1,0	1,0	1,0										
CP5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0									
CP6	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0								
DT1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	1,0							
DT2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	1,0						
DT3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,3	1,0					
DT4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,5	1,0				
DT5	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,3	0,2	0,3	0,6	1,0			
DT6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	-0,1	-0,2	1,0		
DT7	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,1	1,0	
DT8	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	0,4	0,0	0,1	1,0

Таблиця Б.3 – Ранжування регіонів України за величиною їх інтегральних показників

Регіон	2020	2021	2022
Вінницька область	17	13	15
Волинська область	13	12	20
Дніпропетровська область	16	18	12
Донецька область	15	11	11
Житомирська область	4	6	9
Закарпатська область	5	5	6
Запорізька область	3	16	21
Івано - Франківська область	8	22	10
Київська область	1	1	1
Кіровоградська область	10	7	8
Львівська область	23	3	3
Миколаївська область	21	10	5
Одеська область	14	19	16
Полтавська область	18	17	18
Рівненська область	12	8	7
Сумська область	2	15	19
Тернопільська область	20	14	14
Харківська область	9	2	2
Херсонська область	19	23	23
Хмельницька область	7	4	4
Черкаська область	22	21	22
Чернівецька область	6	9	17
Чернігівська область	11	20	13

Таблиця Б.4 – Виведення підсумків регресійного аналізу

Регресійна статистика	
Множинний R	0,228505831
R-квадрат	0,052214915
Нормований R-квадрат	0,038068869
Стандартна помилка	28235098,42
Спостереження	69

Дисперсійний аналіз					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимість F</i>
Регресія	1	2942646666004860,00	2942646666004860,00	3,691131403	0,058958237
Залишок	67	53413792431472100,00	797220782559285,00		
Разом	68	56356439097477000,00			

	<i>Коефіцієнти</i>	<i>Стандартна помилка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значення</i>	<i>Нижні 95%</i>	<i>Верхні 95%</i>	<i>Нижні 95,0%</i>	<i>Верхні 95,0%</i>
Y-перетин	-14472426,17	3945316,279	-3,668255	0,000484992	-22347310,42	6597541,914	-22347310,42	6597541,914
X	-21554644,87	11219180,08	-1,921231741	0,058958237	-43948222,03	838932,2845	-43948222,03	838932,2845