

АНАЛІЗ І ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ КРАЇНИ НА ЇЇ ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК¹

Яровенко Г.М.,

д.е.н., доцентка, доцентка кафедри економічної кібернетики

Сумського державного університету

h.yarovenko@biem.sumdu.edu.ua

Ліцман М.А.,

студентка кафедри економічної кібернетики

Сумського державного університету

maryna.litsman@student.sumdu.edu.ua

Статтю присвячено актуальній темі аналізу й прогнозування впливу рівня цифровізації країн на їх економічний розвиток. Дана проблематика обумовлена швидкими темпами впровадження інформаційних та комунікаційних технологій для вирішення різних задач суб'єктів економіки, що сприяє її розвитку. Для проведення дослідження використано статистичні дані для 138 країн світу за 2019 рік. У якості показника, що характеризує ступінь розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та мережевої готовності країн до їх впровадження та застосування, було використано індекс рівня цифрового розвитку. Для аналізу рівня економічного розвитку країн обрано 11 найбільш поширених показників, серед яких виділяється внутрішній валовий продукт, загальна очікувана тривалість життя при народженні, легкість ведення бізнесу, інфляція, тощо. На першому етапі проведено кореляційний аналіз, в результаті чого встановлено, що найбільш корельованими є показники: валовий внутрішній продукт, уразливе працевлаштування, наймані працівники, легкість ведення бізнесу та загальна очікувана тривалість життя при народженні, які також мають високий рівень кореляції з індексом рівня цифрового розвитку. На другому етапі шляхом застосування методу головних компонент було усунуто мультиколінеарність між факторами, що дозволило знизити й розмірність даних. На наступному етапі «Ліктьовим методом» визначено оптимальну кількість кластерів та здійснено кластеризацію методом k-means. Результатом є кластери країн, розподілені за близькістю тенденцій впливу рівня їх цифровізації на економічний розвиток. На останньому етапі було побудовано моделі прогнозування найбільш корельованих факторів, що характеризують економічний розвиток в країнах, в залежності від рівня їх цифровізації. Для прогнозування валового внутрішнього продукту та легкості ведення бізнесу виявився найбільш точний кубічний поліном, вразливої зайнятості, обсягу найманих працівників – квадратний, загальної очікуваної тривалості життя – лінійна, квадратична та кубічна моделі мають однакові оцінки. Побудовані моделі є універсальними інструментами для прогнозування можливих тенденцій розвитку для різних країн світу.

***Ключові слова:** цифровізація, економічний розвиток, кластерний аналіз, метод головних компонент, поліноміальна регресія.*

DOI: 10.21272/1817-9215.2021.4-23

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Четверта промислова революція призвела до появи і впровадження в різні сфери життєдіяльності суспільства кіберфізичних систем, Інтернету речей та послуг, смарт-технологій, штучного інтелекту, тощо. В свою чергу, це сприяло розвитку нових форм організації та функціонування бізнес-моделей суб'єктів економіки, розумних продуктів та сервісів, інтегрованих систем для автоматизації бізнес-процесів, що значно прискорює процеси економічного розвитку в цілому. Тобто можна казати, що зараз відбувається трансформація економіки та перетворення її на цифрову.

Основними перевагами цифровізації для суб'єктів економіки є: зростання продуктивності праці за рахунок зменшення обсягів ручної праці; збільшення прибутку від залучення нових клієнтів за рахунок розширення можливостей щодо застосування мобільних додатків; підвищення якості продукції на основі використання прогресивних технологій та систем контролю, тощо. З іншого боку, цифровізація з часом може викликати зростання безробіття за рахунок роботизації та

¹ Робота виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи «Національна безпека через конвергенцію систем фінансового моніторингу та кібербезпеки: інтелектуальне моделювання механізмів регулювання фінансового ринку» №0121U109559.

інтелектуалізації процесів виробництва та управління, що може викликати масові невдоволення у суспільстві. Але на сьогоднішній день головною проблемою є те, що вона значно впливає на рівень кіберзлочинності, що призводить до втрат інформації та фінансових ресурсів, а також підвищує репуаційні ризики для суб'єктів економіки. Тому, вельми актуальним є питання визначення впливу рівня цифровізації країни на фактори її економічного розвитку з метою виявлення тих, які мають найтісніші взаємозв'язки, що дозволить побудувати моделі для прогнозування тенденцій змін економіки в залежності від ступеня її інформатизації та комп'ютеризації.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженнями в сфері цифровізації економіки країн займається досить багато науковців, які висвітлюють різні аспекти даної проблематики. Такі автори, як Гаврилюк В., Громик А., Семенець І., Пилипюк Т., Моцик Р., Костякова А., вивчають особливості, тенденції та закономірності розвитку цифровізації територіально-економічних систем [1]. Чжан С., Ма Х., Цуй К. дослідили вплив цифрової економіки на енергоефективність загального зеленого фактору та запропонували методику його оцінки в умовах, які буде сформовано після COVID-19 [2]. Стерник С.Г., Сафронова Н.Б. приділяють увагу фінансiалiзацiї ринкiв нерухомостi, що може виступати трендом макроекономічного розвитку цифрової економіки [3]. Родіонов Д., Зайцев А., Конніков Є., Дмитрієв Н., Дуболазова Ю. запропонували нечіткий множинний підхід для оцінки зовнішнього інформаційного капіталу та змодельовали його зміни в умовах цифрової економіки [4]. Діденко Н., Скрипчук Д., Кікас К., Калініна О., Косінський Є. досліджували вплив цифрового виробництва та інформаційних технологій на розвиток логістичних систем різних видів на мікро-, макро- та мегарівнях [5]. Також вивчаються проблеми безробіття та пов'язані із ним соціальні загрози, які викликаються в умовах зростання рівня цифровізації країн, що було проаналізовано в роботі Хачатурян А.А. [6]. Становлення цифрової економіки формує перспективи розвитку цифрового підприємництва, які потребують удосконалення системи освіти, що досліджувалося такими авторами, як Жашкенова Р., Притворова Т., Талімова Л., Мажитова С., Даулетова А., Кернебаєв А. [7]. Ахмед Є.М. підіймає актуальність питання моделювання впливів зовнішніх ефектів кібербезпеки на сталий економічний розвиток [8]. Александрова А., Хабіб М.Д. аналізували роль інформаційно-комунікаційних технологій у ВВП країн із розвинутою економікою та тією, що розвивається [9]. Актуальність можливостей запровадження цифрових податків досліджували Хак М., Девчич А., Будич Х. [10], а Андрійчук О. – нових моделей цифрового маркетингу [11]. Родченко В., Рекун Г., Федоришина Л., Рошин І., Газарян С. оцінили ефективність людського капіталу для цифровізації бізнесу [12]. Мамбетова С., Аяганова М., Каликов А., Ахметова А., Ескерова З. провели аналіз цифрової економіки в індустрії туризму та гостинності на основі зарубіжного досвіду [13]. Не дивлячись на широке коло аспектів, які охоплені науковими дослідженнями, потребують подальшого розвитку питання аналізу впливу рівня цифровізації країн на різні фактори, що характеризують їх економічний розвиток, створення прогнозних моделей та визначення кластерів, що дозволить оцінювати і прогнозувати тенденції в економіці.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Мета статті полягає у проведенні дослідження впливу рівня цифровізації країн на їх економічний розвиток, що полягає у визначенні кластерів країн із схожими тенденціями, а також побудові моделей прогнозування розвитку окремих економічних факторів в залежності від рівня цифровізації країн.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

На початку дослідження необхідно визначити показники, які будуть використані в процесі розрахунків та які будуть характеризувати, з одного боку, ступінь цифровізації

країн, а з іншого, рівень їх економічного розвитку. Так, для першої ознаки було обрано індекс рівня цифрового розвитку (Digital Development Level – DDL), який визначається компанією «e-Governance Academy Foundation», виходячи із ступеня розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та мережевої готовності країн до впровадження та використання новітніх технологій. Цей індикатор показує, якими темпами розвивається цифрове суспільство в країні. Чим вище його значення, тим більш потужними є процеси діджиталізації та інформатизації даної країни.

Для другої ознаки було обрано 11 показників, які використовуються в різних наукових дослідженнях для аналізу економічного розвитку країн. Так, сюди увійшли:

– ВВП на душу населення (в поточних доларах США) (GDP per capita (current US\$) – GDP) є ключовим показником, який характеризує рівень економічного розвитку країн і представляє собою суму валової доданої вартості всіх виробників-резидентів країни з урахуванням всіх податків, але без урахування субсидій на продукцію, амортизації активів, виснаження природних ресурсів, витрачених на виробництво;

– загальна очікувана тривалість життя при народженні (в роках) (Life expectancy at birth, total (years) – LE) є індикатором, що свідчить про якість життя, рівень економічного та соціального розвитку країн. Його найвищі значення відповідають економічно розвиненим країнам, а найнижчі – характерні для найменш розвинених країн;

– легкість ведення бізнесу (Ease of doing business score – EDB) є важливим показником, що характеризує, наскільки в країнах створені умови для організації та ведення бізнесу різними суб'єктами економіки. Його значення, яке наближається до 100, свідчить про найбільш сприятливі умови для господарської діяльності, що забезпечує підвищення економічного розвитку через зростання сплати податків, збільшення обсягів валового внутрішнього продукту, підвищення рівня зайнятості, тощо.;

– наймані працівники (Wage and salaried workers, total – WSW) показує загальний обсяг фахівців, які працевлаштовані у державному та приватному секторі та отримують винагороду у вигляді заробітної плати, премій, комісійних, тощо. Найвище значення відповідає країнам, для яких характерний високий рівень економічного розвитку;

– вразлива зайнятість (Vulnerable employment, total – VET) показує рівень самозайнятих та сімейних працівників без отримання ними компенсації за труд. Високі значення даного індикатору характерні для країн з низькими темпами економічного розвитку та характерні для економік із великим сільськогосподарським сектором та низьким рівнем промисловості;

– рівень безробіття (Unemployment, total – UT) є часткою робочої сили, яка не має роботи, але знаходиться на етапі активного її пошуку. Високий рівень безробіття характерний для країн з нестабільним економічним та низьким соціальним розвитком;

– рівень інфляції, у споживчих цінах (Inflation, consumer prices – ICP), – це найбільш живий показник для характеристики економічного розвитку країн, що демонструє відсоток змін в цінах споживчого кошику товарів та послуг, які споживають домогосподарства. Найбільш високі темпи інфляції свідчать про низькі темпи економічного розвитку та неефективність державного управління з питань економічного розвитку та політики;

– витрати уряду на освіту (Government expenditure on education, total – GEE) є також одним з індикаторів, який характеризує рівень економічного розвитку та передбачає державні видатки, які фінансуються за рахунок трансфертів з міжнародних джерел уряду, на формування якісної системи освіти в країні;

– дохід, за винятком грантів (Revenue, excluding grants – REG) – це показник, який включає всі грошові надходження країни від податків, соціальних внесків та інших надходжень (штрафи, збори, орендна плата та доходи від майна чи продажу). Він ймовірно непрямо може залежати від рівня цифровізації країни, як джерела отримання додаткових доходів;

– експорт високих технологій (High-technology exports – THE) є індикатором, який характеризує рівень розвитку сектору промисловості, пов'язаного із дослідженням і розробками в галузі високих технологій, що свідчить про високі темпи розвитку індустрії комп'ютерних, цифрових та інформаційних технологій;;

– витрати на кінцеве споживання державного бюджету (General government final consumption expenditure – GGFCE) пов'язані із поточними витратами уряду на придбання товарів і послуг, видатки на національну оборону та безпеку, куди також відносяться витрати й на забезпечення кібербезпеки в країні.

Емпіричні дані обраних показників було взято для 138 країн світу за 2019 рік з офіційного сайту Світового банку та компанії «e-Governance Academy Foundation». Розрахунки проводилися із використанням мови програмування Python, аналітичного пакету Deductor Studio Academic та програмного продукту MS Excel. Було сформовано масив даних та проведено його очищення на предмет наявності пропущених значень, дублікатів, аномальних викидів, тощо.

Методика дослідження передбачає визначення кореляції між факторами, які характеризують рівень цифровізації країни та її економічний розвиток. З цією метою було побудовано кореляційну матрицю, результати якої наведено на рисунку 1.

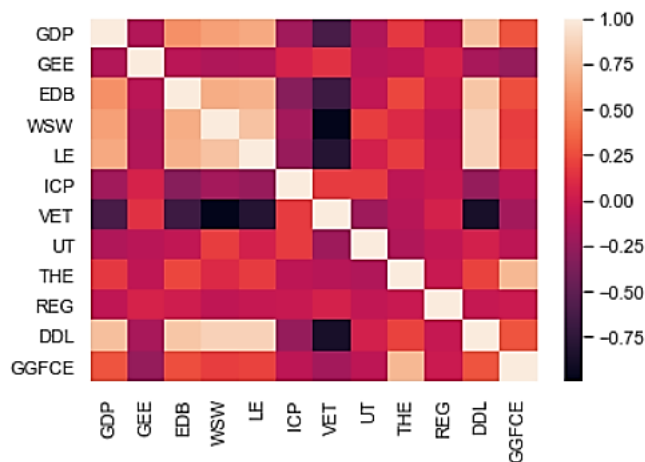


Рисунок 1 – Кореляційна матриця (рзраховано авторами самостійно)

Результати, представлені на рисунку 1, свідчать, що між рівнем цифрового розвитку та такими факторами, як валовий внутрішній продукт, уразливе працевлаштування, наймані працівники, легкість ведення бізнесу та загальна очікувана тривалість життя при народженні, існує сильний кореляційний зв'язок (значення коефіцієнту кореляції більше 0,7), що говорить про формування тісних взаємовпливів між окремими факторами економічного розвитку та цифровізацією. При цьому можна побачити, що між переліченими економічними індикаторами також існує сильний кореляційний зв'язок, що обумовлюється схожими загальними тенденціями змін даних факторів. Інші показники корелюють на слабкому (0 – 0,3) та середньому (0,3 – 0,7) рівнях.

На наступному кроці проведемо кластеризацію країн з урахуванням їх цифрового та економічного розвитку. Для даної процедури залишимо склад показників на первинному рівні, але оскільки між деякими з них є сильний кореляційний зв'язок, тобто має місце явище мультиколінеарності, то застосуємо метод головних компонент, який дозволить зменшити розмірність початкових даних, усунути мультиколінеарність та врахувати вплив тих факторів, які є слабо корельованими. Останнє можливе за рахунок того, що вхідні дані є просторовими, а не часовими, тому навіть незначні впливи показників можуть сприяти більш точній ідентифікації кластеру для даної країни. Для застосування методу головних компонент

використаємо тільки ТП показники, що характеризують рівень економічного розвитку країни. Його результати представлені на рисунку 2, де можна побачити, що найбільш оптимальним для дослідження є шість векторів, для яких накопичена дисперсія дорівнює 0,8914, а рівень значущості кожної з компонент перевищує 0,05.

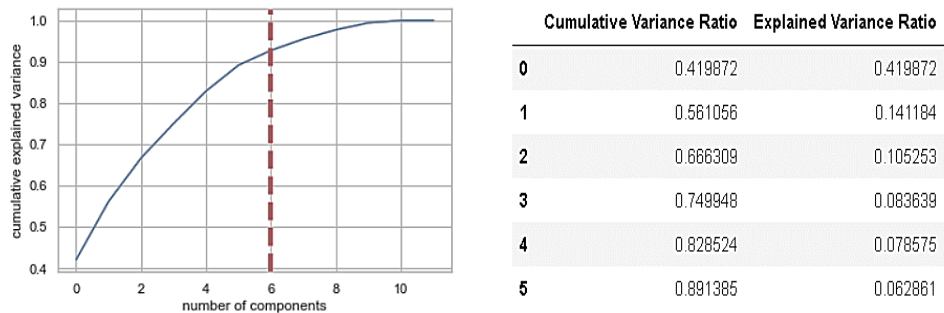


Рисунок 2 – Результати застосування методу головних компонент (розраховано авторами самостійно)

Дані, отримані в результаті застосування методу головних компонент, та індикатор рівня цифрового розвитку сформували набір даних, які будуть використані для здійснення кластерного аналізу. При цьому рівень цифрового розвитку буде подаватися на вхід, а отримані компоненти показників економічного розвитку – на вихід, тобто враховуємо можливості впливу процесів цифровізації на сукупність факторів економічного розвитку. Для оптимізації процедури кластеризації використаємо «Ліктьовий метод», який дозволить визначити оптимальну кількість кластерів. Його результати представлені на рисунку 3.

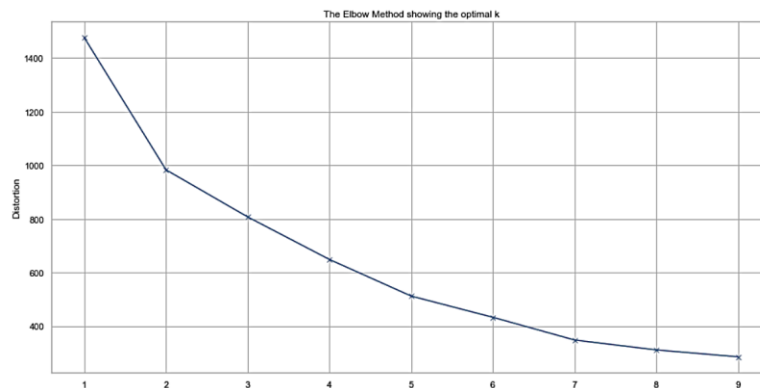


Рисунок 3 – Результати застосування «Ліктьового методу» (розраховано авторами самостійно)

На рисунку 3 можна побачити, що точками зміни напрямку кривої є 2, 5 та 7 кластерів. Застосування двох та п'яти кластерів для даних 138 країн є недоцільним, оскільки отримані кластери не продемонструють адекватний розподіл країн з урахуванням цифрового та економічного розвитку. Тому для подальшої процедури кластеризації використаємо 7 кластерів, доцільність вибору яких буде також підтверджено за рахунок найменшого рівня максимальної та середньої похибки квантування, значення яких прямує до нуля (рисунку 4). Процес кластеризації було проведено методом k-means.

Для найкращого сприйняття результатів кластерного аналізу, проведеного за допомогою аналітичного пакету Deductor Studio Academic, отримані кластери країн візуалізуємо за допомогою вбудованих можливостей програмного продукту MS Excel та побудуємо карту (рисунок 5).

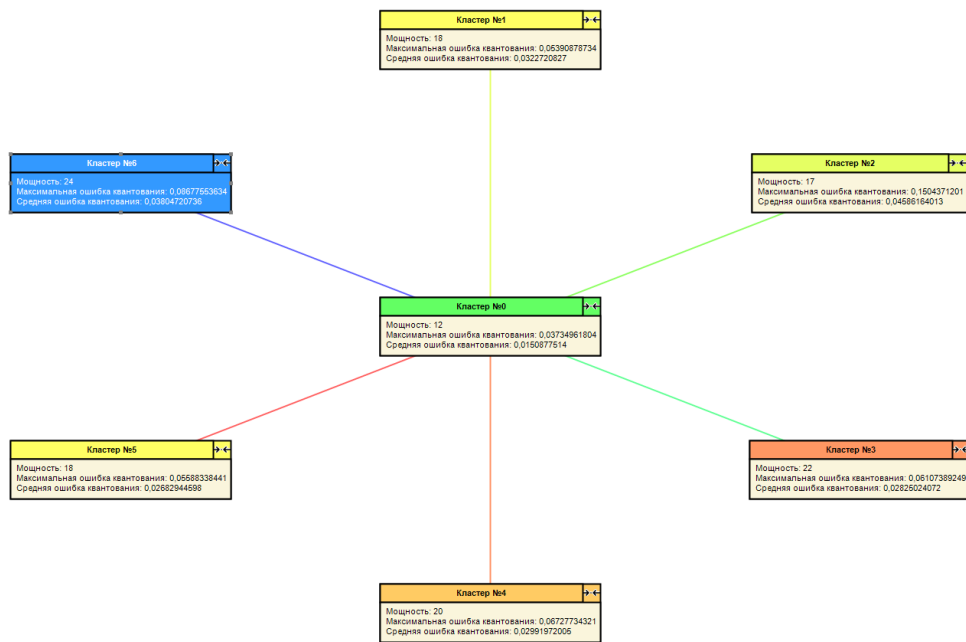


Рисунок 4 – Діаграма кластерів країн з урахуванням похибок квантування (розраховано авторами самостійно)

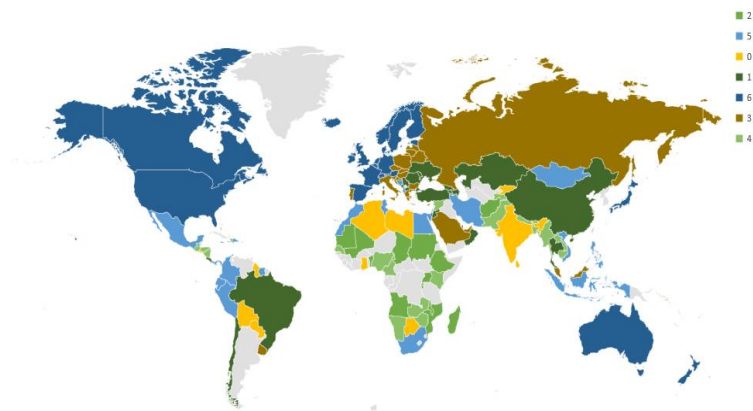


Рисунок 5 – Карта кластерів країн з урахуванням впливу рівня їх цифровізації на економічний розвиток (розраховано авторами самостійно)

Найбільш потужним виявився шостий кластер, до якого увійшли 25 країн: Австралія, США, Велика Британія, Австрія, Канада, Німеччина, Франція, Норвегія, Нідерланди, Фінляндія та інші. Він характеризується найвищим середнім рівнем цифровізації – 78,7720, стандартною похибкою на рівні 0,6642, стандартним відхиленням 3,3209. Цей сегмент представлений країнами з найбільш високим рівнем економічного розвитку, тривалості життя, зайнятості трудового населення, легкості ведення бізнесу.

Наступним за потужністю є третій кластер (рисунок 5), куди увійшли 23 країни: Болгарія, Хорватія, Кіпр, Чехія, Греція, Угорщина, Італія, Латвія, Литва, Польща, та інші. Тут було отримано наступні характеристики: середнє значення рівня цифровізації дорівнює 66,1552, стандартна похибка 0,5062, стандартне відхилення 2,4275. Тобто, сюди увійшли економічно розвинуті країни, для яких характерно значення аналізованих показників вище середнього. Далі виділено четвертий кластер (рисунок 5), куди увійшли 22 країни: Бутан, Камерун, Гондурас, Кенія, Намібія, Нігерія, Пакистан, Руанда, Замбія, Зімбабве та інші. Середнє значення рівня цифровізації дорівнює 32,8505, стандартна похибка – 0,5831, стандартне відхилення 2,7350. Країни даного сегменту відносяться до тих, що розвиваються, але їм властиві низькі темпи економічного, соціального, політичного розвитку та, відповідно, досить низький рівень цифровізації. Значимість шостого, третього та четвертого кластерів відповідає 100%.

Наступним за потужністю є п'ятий кластер (рисунок 5), сформований 20 країнами: Албанія, Боснія і Герцеговина, Єгипет, Мексика, Марокко, Перу, Південна Африка, Суринам, Туніс, В'єтнам та інші. Йому притаманні середнє значення рівня цифровізації 48,4610, стандартна похибка – 0,5206, стандартне відхилення 2,3280. Слід відмітити, що країни цього сегменту є також тими, що розвиваються, при цьому для них є характерним рівень діджиталізації нижче середнього. Значущість цього кластеру дорівнює 57,6%, що відповідає ступеню впливу атрибутів на його утворення. Хоча це й найменше значення в проведеній кластеризації, але воно більше ніж середнє, що є достатнім.

До першого кластеру увійшли 19 країн (рисунок 5): Вірменія, Азербайджан, Бразилія, Чилі, Грузія, Казахстан, Молдова, Чорногорія, Сербія, Україна та інші. Йому відповідають: середнє значення рівня цифровізації 57,4926, стандартна похибка – 0,6099, стандартне відхилення 2,6584. Даний сегмент сформували більшість пострадянських країн, а також країн, які відносяться до нових промислових та тих, що знаходяться на стадії активного економічного розвитку, для яких характерний й динамічний розвиток інформаційних та комп'ютерних технологій, як один з драйверів економічного зростання. Значимість цього кластеру відповідає 80,3%, що свідчить про високий вплив факторів на утворення атрибутів.

Другий кластер сформували 17 країн (рисунок 5): Афганістан, Ангола, Бенін, Бурунді, Чад, Конго, Ефіопія, Гаїті, Мадагаскар, Малі та інші. Йому властиві: середнє значення рівня цифровізації 22,2624, стандартна похибка – 1,0248, стандартне відхилення 4,2252, значимість – 100%. Країни даного сегменту є найменш розвиненими, з високим рівнем бідності, безробіття, слабкими можливостями для ведення бізнесу, тощо. Їм також відповідають й низькі темпи розвитку цифровізації. Найменш потужним є нульовий кластер (рисунок 5), до якого увійшли тільки 12 країн: Алжир, Болівія, Ботсвана, Ель Сальвадор, Гана, Гайана, Індія, Киргизстан, Лівія, Парагвай, Шрі Ланка, Тонга. Його середнє значення рівня цифровізації дорівнює 41,8917, стандартна похибка – 0,3902, стандартне відхилення 1,3515, значимість – 93%. Слід відмітити, що країни даного сегменту відносяться до тих, що економічно розвиваються та мають рівень цифровізації нижче середнього значення.

На останньому кроці побудуємо прогнозні моделі для тих показників, які мають найвище значення кореляційного зв'язку між рівнем цифрового розвитку та окремими факторами, які характеризують рівень розвитку економіки. Такими показниками виявилися: ВВП на душу населення (0,7692); загальна очікувана тривалість життя при народженні (0,8639); легкість ведення бізнесу (0,7997); наймані працівники (0,8624); уразливе працевлаштування (-0,8649). Для прогнозування використаємо лінійну, квадратичну та кубічну регресії.

На рисунку 6 представлені три моделі – лінійна, квадратична, кубічна регресії, які демонструють залежність валового внутрішнього продукту країни від рівня її цифровізації, а також коефіцієнти детермінації для оцінки їх якості. Його найвище значення демонструє кубічна регресія, а найнижче – лінійна. Даний критерій має

властивість – зростати із збільшенням кількості факторів у моделі. Але на даному рисунку можна побачити, що саме кубічна модель більш точно відтворює характер залежності валового внутрішнього продукту країни від рівня її цифровізації. Також її значення середньоквадратичної похибки є меншим для кубічної моделі. Тому саме вона є доцільною для прогнозування, а її рівняння буде мати вигляд (1):

$$y_i = 0,4996x^3 - 49,9211x^2 + 1682,9673x - 16485,0826. \quad (1)$$

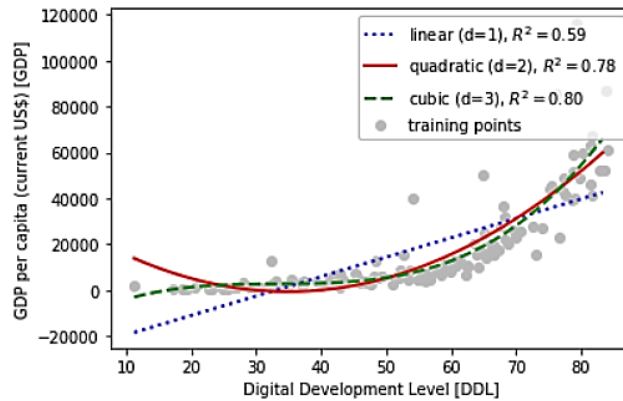


Рисунок 6 – Моделі прогнозування валового внутрішнього продукту країни в залежності від рівня її цифровізації (розраховано авторами самостійно)

На рисунку 7 побудовані лінійна, квадратична, кубічна регресії, які демонструють залежність вразливої зайнятості в країні від рівня її цифровізації. Розраховані значення коефіцієнтів детермінації є досить близькими для трьох моделей та відповідають гарній якості прогнозних моделей. При порівнянні значення середньоквадратичної похибки, виявилося, що отримані значення за кубічною та квадратичними моделями є досить близькими. Але якщо спрогнозувати за даними моделями на декілька кроків уперед, то виявляється, що кубічна модель є досить чутливою і демонструє різке зростання у порівнянні із квадратичною моделлю. Тому остання є більш придатною для прогнозування вразливої зайнятості (рівняння (2)):

$$y_i = 0,0111x^2 - 2,3139x + 119,9222, \quad (2)$$

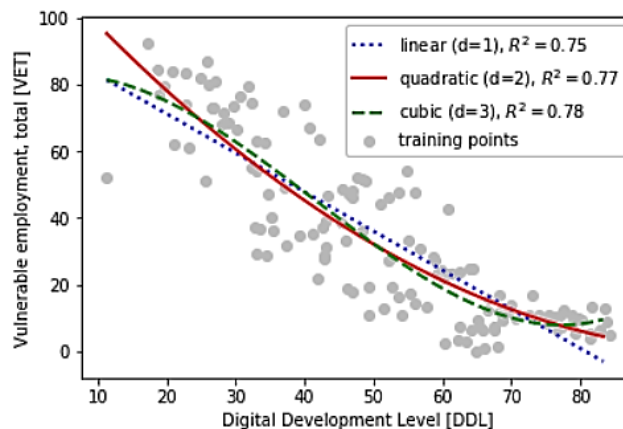


Рисунок 7 – Моделі прогнозування вразливої зайнятості в країні в залежності від рівня її цифровізації (розраховано авторами самостійно)

Рисунок 8 демонструє моделі прогнозування обсягу найманих працівників країни в залежності від рівня її цифровізації. Отримані значення коефіцієнтів детермінації для побудованих моделей є близькими та свідчать про гарну якість прогнозних моделей. Найменше значення середньоквадратичної похибки має кубічна модель, але при використанні її для прогнозування, вона демонструє досить песимістичний варіант залежності, тому в такому випадку краще використовувати квадратичну модель, яка не є настільки чутливою. Тому її рівняння набуде вигляду (3):

$$y_i = -0,0104x^2 + 2,2091x - 20,0242. \quad (3)$$

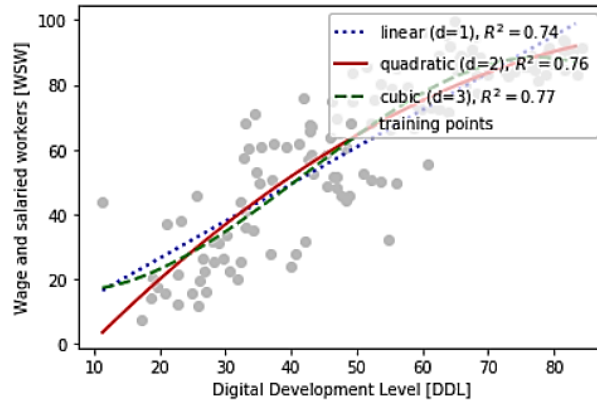


Рисунок 8 – Моделі прогнозування обсягу найманих працівників країни в залежності від рівня її цифровізації (розраховано авторами самостійно)

Для прогнозування впливу рівня цифровізації на легкість ведення бізнесу також побудовано лінійну, квадратичну та кубічну моделі (рисунок 9). Значення коефіцієнтів детермінації є близькими для трьох моделей та демонструють якість прогнозних моделей вище середнього, що є достатнім показником для реальних статистичних даних. Також отримано близькі значення середньоквадратичної похибки. При використанні побудованих моделей для прогнозування на декілька кроків уперед отримано, що всі три показують схожі тенденції розвитку прогнозованого показника, тому на практиці можна використовувати три моделі, хоча найбільш точною є кубічна модель (рівняння (4)):

$$y_i = -0,000018x^3 - 0,000898x^2 + 0,766258x + 33,157690. \quad (4)$$

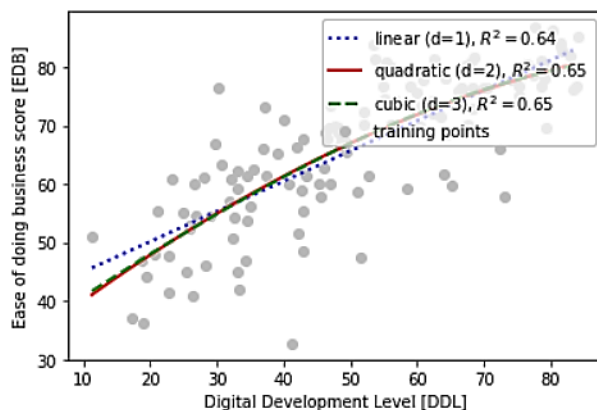


Рисунок 9 – Моделі прогнозування легкості ведення бізнесу країни в залежності від рівня її цифровізації (розраховано авторами самостійно)

На рисунку 10 представлені моделі прогнозування загальної очікуваної тривалості життя в країні в залежності від рівня її цифровізації, які демонструють практично однакову якість. При прогнозуванні на декілька кроків уперед вони також демонструють однакові тенденції та приблизно однакові прогнозні значення. Можна зробити висновок, що всі три рівняння є досить придатними для прогнозування (рівняння (5)-(7)):

$$y_i = 0,3061x + 58,0875, \quad (5)$$

$$y_i = -0,0016x^2 + 0,4709x + 54,4289, \quad (6)$$

$$y_i = 0,000021x^3 - 0,004729x^2 + 0,614802x + 52,476635. \quad (7)$$

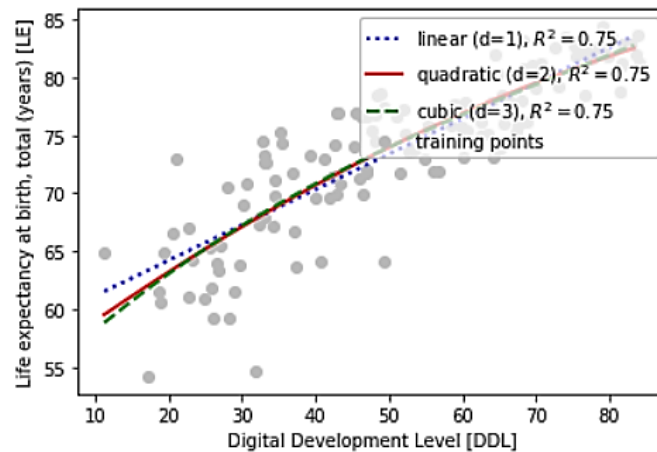


Рисунок 10 – Моделі прогнозування загальної очікуваної тривалості життя в країні в залежності від рівня її цифровізації (розраховано авторами самостійно)

ВИСНОВКИ

У даному дослідженні розкривається проблема визначення впливу рівня цифровізації країни на фактори, що характеризують її економічний розвиток. У якості показника впливу було визначено індикатор рівня цифрового розвитку, який було обрано для 138 країн світу за 2019 рік. У якості факторів, які характеризують економічний розвиток, було обрано: ВВП на душу населення, загальну очікувану тривалість життя при народженні, легкість ведення бізнесу, обсяг найманих працівників, вразливу зайнятість, рівень безробіття, інфляції у споживчих цінах, витрати уряду на освіту, дохід, за винятком грантів, експорт високих технологій, витрати на кінцеве споживання державного бюджету. В результаті побудови кореляційної матриці для обраних факторів встановлено, що найбільш корельованими є валовий внутрішній продукт, уразливе працевлаштування, наймані працівники, легкість ведення бізнесу та загальна очікувана тривалість життя при народженні. Це пов'язано із тим, що дані показники мають загальну тенденцію розвитку. Також виявлено, що саме ці фактори також мають тісний лінійний зв'язок із рівнем цифровізації, що свідчить про можливість їх взаємного впливу. Для визначення кластерів країн було застосовано метод головних компонент до факторів, які характеризують економічний розвиток, з метою усунення мультиколінеарності між ними та зниження розмірності даних. В результаті чого було відібрано шість головних компонент. На основі «Ліктьового методу», біло встановлено, що найбільш оптимальним буде розбиття даних на 7 кластерів. Здійснення кластеризації методом k-means дозволило визначити кластери, які було сформовано за рахунок країн, близьких

як за рівнем цифровізації, так й за рівнем економічного розвитку. На останньому кроці було побудовано прогнознi моделі, які демонструють вплив цифровізації на найбільш корельовані фактори, що характеризують економічний розвиток. Встановлено, що для прогнозування валового внутрішнього продукту країни та легкості ведення бізнесу доцільно використовувати кубічний поліном, вразливої зайнятості, обсягу найманих працівників – квадратний, загальної очікуваної тривалості життя можна використовувати лінійну, квадратичну та кубічну моделі.

SUMMARY

Yarovenko H., Litsman M. Analysis and forecasting the impact of the country's digitalization level on its economic development.

The article is devoted to the topical issue of analysis and forecasting of the impact of the country's digitalization level on their economic development. This issue is due to the rapid pace of implementation of information and communication technologies to solve various problems of economic entities, which contributes to its development. The study used statistics for 138 countries in 2019. The index of digital development level was used as an indicator that characterizes the degree of development of information and communication technologies and network readiness for countries implementation and application. Analyzing the level of economic development of countries, the eleven most common indicators were selected: gross domestic product, total life expectancy at birth, ease of doing business, inflation, etc. In the first stage, a correlation analysis was conducted, which found that the most correlated indicators are: gross domestic product, vulnerable employment, employees, ease of doing business and overall life expectancy at birth, which also have a high correlation with the digital development index. In the second stage, the application of the principal components method eliminated the multicollinearity between the factors, which reduced the dimensionality of the data. At the next step, the "Elbow method" determined the optimal number of clusters and clustering with the k-means method. The result is clusters of countries, distributed according to the proximity of trends in the level of their digitalization on economic development. At the last stage, models for forecasting the most correlated factors that characterize economic growth in countries, depending on the level of their digitalization, were built. To predict gross domestic product and ease of doing business, the most accurate cubic log, vulnerable employment, number of employees - square, total life expectancy - linear, quadratic and cubic models have the exact estimates. The built models are universal tools for forecasting possible development trends for different world countries.

Keywords: digitalization, economic development, cluster analysis, principal components method, polynomial regression.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Havryliuk V., Hromyk A., Semenets I., Pylypiuk T., Motsyk R., Kostyakova A. Digitalization of territorial and economic systems at the regional level. *Regional Science Inquiry*. 2021. Vol. 13, no. 2. P. 209–226.
2. Zhang S., Ma X., Cui Q. Assessing the Impact of the Digital Economy on Green Total Factor Energy Efficiency in the Post-COVID-19 Era. *Frontiers in Energy Research*. 2021. Vol. 926, no. 798922. DOI: 10.3389/fenrg.2021.798922.
3. Sternik S.G., Safronova N.B. Financialization of Real Estate Markets as a Macroeconomic Trend of the Digital Economy. *Studies on Russian Economic Development*. 2021. Vol. 32, no. 6. P. 676–682. DOI: 10.1134/S1075700721060149.
4. Rodionov D., Zaytsev A., Konnikov E., Dmitriev N., Dubolazova Y. Modeling changes in the enterprise information capital in the digital economy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2021. Vol. 7, no. 3. Article number 166. DOI: 10.3390/joitmc7030166.
5. Didenko N., Skripnuk D., Kikkas K., Kalinina O., Kosinski E. The impact of digital transformation on the micrologistic system, and the open innovation in logistics. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2021. Vol. 7, no. 2. Article number 115. DOI: 10.3390/joitmc7020115.
6. Khachatryan A.A. Unemployment and Other Social Threats of the Digital Economy. *Studies on Russian Economic Development*. 2021. Vol. 32, no. 3. P. 297–304. DOI: 10.1134/S1075700721030151.
7. Zhashkenova R., Pritvorova T., Talimova L., Mazhitova S., Dautetova A., Kermebaev A. Analysis of the transformation of higher educational institutions through entrepreneurship in the conditions of digitalization. *Academy of Accounting and Financial Studies*. 2021. Vol. 25, no. 4. P. 1–10.
8. Ahmed E.M. Modelling Information and Communications Technology Cyber Security Externalities Spillover Effects on Sustainable Economic Growth. *Journal of the Knowledge Economy*. 2021. Vol. 12, no. 1. P. 412–430. DOI: 10.1007/s13132-020-00627-3.
9. Aleksandrova A., Khabib M.D. The role of information and communication technologies in a country's GDP: a comparative analysis between developed and developing economies. *Economic and Political Studies*. 2021. DOI: 10.1080/20954816.2021.2000559.
10. Hak M., Devčić A., Budić H. Determinants of digital taxation in european union. *WSEAS Transactions on Business and Economics*. 2021. Vol. 18. P. 1319–1329. DOI: 10.37394/23207.2021.18.122.
11. Andriychuk O. Shaping the new modality of the digital markets: The impact of the DSA/DMA proposals on inter-platform competition. *World Competition*. 2021. Vol. 44, no. 3. P. 261–286.

12. Rodchenko V., Rekun G., Fedoryshyna L., Roshchin I., Gazarian S. The effectiveness of human capital in the context of the digital transformation of the economy: The case of Ukraine. *Journal of Eastern European and Central Asian Research*. 2021. Vol. 8, no. 2. P. 202–213. DOI: 10.15549/jeecar.v8i2.686.

13. Mambetova S., Ayaganova M., Kalykov A., Akhmetova A., Yeskerova Z. Digital economy in tourism and hospitality industry. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Vol. 11, no. 8. P. 2006–2019. DOI: 10.14505/jemt.v11.8(48).13.

REFERENCES

1. Havryliuk V., Hromyk A., Semenets I., Pylypiuk T., Motsyk R., Kostyakova A. (2021). Digitalization of territorial and economic systems at the regional level. *Regional Science Inquiry*, vol. 13, no. 2, pp. 209–226.

2. Zhang S., Ma X., Cui Q. (2021). Assessing the Impact of the Digital Economy on Green Total Factor Energy Efficiency in the Post-COVID-19 Era. *Frontiers in Energy Research*, vol. 926, no. 798922. DOI: 10.3389/fenrg.2021.798922.

3. Sternik S.G., Safronova N.B. (2021). Financialization of Real Estate Markets as a Macroeconomic Trend of the Digital Economy. *Studies on Russian Economic Development*, vol. 32, no. 6, pp. 676–682. DOI: 10.1134/S1075700721060149.

4. Rodionov D., Zaytsev A., Konnikov E., Dmitriev N., Dubolazova Y. (2021). Modeling changes in the enterprise information capital in the digital economy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 7, no. 3, article number 166. DOI: 10.3390/joitmc7030166.

5. Didenko N., Skripnuk D., Kikkas K., Kalina O., Kosinski E. (2021). The impact of digital transformation on the micrologistic system, and the open innovation in logistics. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 7, no. 2, article number 115. DOI: 10.3390/joitmc7020115.

6. Khachatryan A.A. (2021). Unemployment and Other Social Threats of the Digital Economy. *Studies on Russian Economic Development*, vol. 32, no. 3, pp. 297–304. DOI: 10.1134/S1075700721030151.

7. Zhashkenova R., Pritvorova T., Talimova L., Mazhitova S., Dauletova A., Kernebaev A. (2021). Analysis of the transformation of higher educational institutions through entrepreneurship in the conditions of digitalization. *Academy of Accounting and Financial Studies*, vol. 25, no. 4, pp. 1–10.

8. Ahmed E.M. (2021). Modelling Information and Communications Technology Cyber Security Externalities Spillover Effects on Sustainable Economic Growth. *Journal of the Knowledge Economy*, vol. 12, no. 1, pp. 412–430. DOI: 10.1007/s13132-020-00627-3.

9. Aleksandrova A., Khabib M.D. (2021). The role of information and communication technologies in a country's GDP: a comparative analysis between developed and developing economies. *Economic and Political Studies*. DOI: 10.1080/20954816.2021.2000559.

10. Hak M., Devčić A., Budić H. (2021). Determinants of digital taxation in European Union. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, vol. 18, pp. 1319–1329. DOI: 10.37394/23207.2021.18.122.

11. Andriychuk O. (2021). Shaping the new modality of the digital markets: The impact of the DSA/DMA proposals on inter-platform competition. *World Competition*, vol. 44, no. 3, pp. 261–286.

12. Rodchenko V., Rekun G., Fedoryshyna L., Roshchin I., Gazarian S. (2021). The effectiveness of human capital in the context of the digital transformation of the economy: The case of Ukraine. *Journal of Eastern European and Central Asian Research*, vol. 8, no. 2, pp. 202–213. DOI: 10.15549/jeecar.v8i2.686.

13. Mambetova S., Ayaganova M., Kalykov A., Akhmetova A., Yeskerova Z. (2020). Digital economy in tourism and hospitality industry. *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. 11, no. 8, pp. 2006–2019. DOI: 10.14505/jemt.v11.8(48).13.