

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему «СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ
І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ»

Виконала студентка 2 курсу, групи ЕК.мз-13с
(номер курсу) (шифр групи)

Спеціальності 051 «Економіка»

(«Економічна кібернетика»)

А.А. Сидоренко

(ініціали, прізвище студента)

Керівник к.т.н., доц. К.Г. Гриценко

(посада, науковий ступінь, ініціали, прізвище)

Суми – 2022 рік
РЕФЕРАТ дипломної

роботи на тему:

«СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ
ПОСЛУГ І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ» студентки
Сидоренко Анастасії Анатоліївни

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми визначається стрімким розвитком процесів цифровізації, що охопила всі сфери суспільного життя, у тому числі й ринок освітніх послуг. На фоні пандемії COVID-19 та російського військового вторгнення в Україну, цифровізація освіти стала невід'ємним елементом нашого життя, без якого освітній процес став би неможливим.

Метою даної роботи є розробка методики структурного моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.

Об'єктом дослідження є процес моделювання системи зв'язків, що формуються на ринку освітніх послуг внаслідок процесів цифровізації.

Предметом дослідження є математичні методи та моделі оцінювання взаємозв'язку цифровізації та ринку освітніх послуг.

Методи дослідження. Для дослідження поставлених завдань були використані такі загальнонаукові та специфічні методи дослідження, як: індукції та дедукції, аналізу та синтезу, порівняння та логічного узагальнення, табличний та графічний метод, моделювання структурних рівнянь методом часткових найменших квадратів (PLS-SEM).

Основний науковий результат роботи. У роботі проведено аналіз сутності процесів цифровізації та їх впливу на трансформацію ринку освітніх послуг;

систематизовано існуючі підходи до моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації; визначено задачі дослідження, що передбачають опис вхідних даних для побудови моделі; формування вимог до моделі та системи структурних рівнянь зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації, аналіз отриманих результатів та перевірку адекватності побудованої математичної моделі; розроблено рекомендації за результатами проведених розрахунків.

Рекомендації щодо використання результатів дослідження. Отримані результати можуть бути використані органами державної та місцевої влади задля гармонізації процесів цифровізації економіки та реформування ринку освітніх послуг.

Інформаційною базою кваліфікаційної роботи є законодавчі та нормативноправові акти з питань цифровізації та освітньої системи, офіційні статистичні дані Євростату та Європейської комісії, аналітичні звіти та наукові публікації вітчизняних та зарубіжних авторів з питань зв'язку ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.

Апробація результатів дослідження. Основні положення кваліфікаційної магістерської роботи використані в матеріалах статті «Моделювання структурними рівняннями впливу процесу цифровізації на розвиток ринку освітніх послуг» у фаховому виданні «Вісник СумДУ» серія «Економіка».

Ключові слова: структурне моделювання, діаграма шляху, ринок освітніх послуг, процес цифровізації

Основний зміст кваліфікаційної роботи викладено на 40 сторінках, у тому числі список використаних джерел з 70 найменувань, який розміщено на 7 сторінках.

Робота містить 13 таблиць, 7 рисунків, а також 5 додатків.

Рік виконання кваліфікаційної роботи – 2022 рік.

Рік захисту роботи – 2022 рік.

Міністерство освіти і науки України

Сумський державний університет
Навчально-науковий інститут бізнесу, економіки та менеджменту
Кафедра економічної кібернетики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри к.е.н.,
доцент

_____ В.В. Койбічук
“ ___ ” _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
спеціальність 051 «Економіка (Економічна кібернетика) студентки
5 курсу, групи ЕК.мз-13с

_____ Сидоренко Анастасії Анатоліївни

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи «СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ».

затверджена наказом по університету від «__» _____ 2022 року №

2. Термін подання студентом закінченої роботи «14» грудня 2022 року

3. Мета кваліфікаційної роботи – розробка методики структурного моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.

4. Об'єкт дослідження – процес моделювання системи зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.

5. Предмет дослідження – математичні методи та моделі оцінювання взаємозв'язку цифровізації та ринку освітніх послуг.

6. Кваліфікаційна робота виконується на матеріалах Науково-навчального центру бізнес-аналітики Сумського державного університету.

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

Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ – 5 листопада 2022 р. У

розділі 1 проаналізувати сутність процесів цифровізації та їх вплив на трансформацію ринку освітніх послуг, систематизувати існуючі підходи до моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації, поставити завдання дослідження.

Розділ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ – 21 листопада 2022 р. У розділі 2 описати вхідні дані для побудови моделі; сформулювати вимоги до моделі та системи структурних рівнянь зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.

Розділ 3. ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ – 2 грудня 2022 р.

У розділі 3 проаналізувати отримані результати та перевірити адекватність побудованої математичної моделі; розробити рекомендації за результатами проведених розрахунків

8. Консультації з роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			

9. Дата видачі завдання: «28» вересня 2022 року

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

К.Г. Гриценко
(ініціали, прізвище)

Завдання до виконання одержав _____
(підпис)

А.А. Сидоренко
(ініціали, прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ.....	9
1.1 Аналіз сутності процесів цифровізації та їх впливу на трансформацію ринку освітніх послуг	9
1.2 Систематизація існуючих підходів до моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.....	16
1.3 Постановка завдання моделювання	20

2 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ.....	23
2.1 Опис вхідних даних для побудови моделі.....	23
2.2 Формування вимог до моделі та системи структурних рівнянь зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації	29
3 ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ.....	32
3.1 Аналіз отриманих результатів та перевірка адекватності побудованої математичної моделі.....	32
3.2 Розробка рекомендацій за результатами проведених розрахунків	40
ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44
ДОДАТКИ.....	52

ВСТУП

Ми живемо в епоху стрімкого випереджаючого розвитку інформаційних та комунікаційних технологій та цифровізації, що проникають в усі сфери суспільного життя та трансформують їх. Ринок освітніх послуг не є виключенням, адже завдяки такій тенденції на сьогоднішній день особам, що навчаються та викладають відкриті безмежні ресурси для навчання на будь-якій мові та з будь-якої тематики, програми мобільності, стажувань та грантів на дослідження та навчання тощо. Останні тенденції, спричинені пандемією COVID-19 та російським воєнним вторгненням на територію України, лише прискорили перехід на дистанційний режим, що зумовило використання численних інформаційних та комунікаційних технологій та ресурсів для навчання, адаптуючи навчальний процес до нових цифрових умов.

Метою даної роботи є розробка методики структурного моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.

Об'єктом дослідження є процес моделювання системи зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.

Предметом дослідження є математичні методи та моделі оцінювання взаємозв'язку цифровізації та ринку освітніх послуг.

У зв'язку із цим, *завданнями дослідження* є:

- проаналізувати сутність процесів цифровізації та їх вплив на трансформацію ринку освітніх послуг;
- систематизувати існуючі підходи до моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації;
- здійснити постановку задачі структурного моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації;
- описати вхідні дані для побудови математичної моделі оцінювання впливу процесів цифровізації на ринок освітніх послуг і;
- сформулювати вимоги до моделі та системи структурних рівнянь зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації;

- проаналізувати отримані результати та перевірити адекватність побудованої математичної моделі;
- розробити рекомендації за результатами проведених розрахунків.

Для досягнення поставленої мети та завдань дослідження були використані такі *загальнонаукові та специфічні методи дослідження*, як: індукції та дедукції, аналізу та синтезу, порівняння та логічного узагальнення, табличний та графічний метод, моделювання структурних рівнянь методом часткових найменших квадратів (PLSSEM).

Основний науковий результат кваліфікаційної магістерської роботи полягає в удосконаленні науково-методичного підходу до моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації на основі побудови структурних рівнянь методом часткових найменших квадратів (PLS-SEM), що дозволило підтвердити взаємозв'язок між даними явищами та визначити інструменти стимулювання розвитку ринку освітніх послуг. Одержані результати можуть бути використані органами державної та місцевої влади задля гармонізації процесів цифровізації економіки та реформування ринку освітніх послуг.

Інформаційною базою дослідження є законодавчі та нормативно-правові акти з питань цифровізації та освітньої системи, офіційні статистичні дані Євростату та Європейської комісії, аналітичні звіти та наукові публікації вітчизняних та зарубіжних авторів з питань зв'язку ринку освітніх послуг і процесів цифровізації.

Основні положення кваліфікаційної магістерської роботи використані у матеріалах статті «Моделювання структурними рівняннями впливу процесу цифровізації на розвиток ринку освітніх послуг» у фаховому виданні «Вісник СумДУ» серія «Економіка».

1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

1.1 Аналіз сутності процесів цифровізації та їх впливу на трансформацію ринку освітніх послуг

Поширення та використання інформаційних та комунікаційних технологій, а також суміжних з ними процесів цифровізації є невід'ємною складовою нашої реальності, без якої вже стає важко уявити сучасний світ. Людина використовує дані досягнення науково-технічного прогресу не лише для задоволення власних цілей у спілкуванні, отриманні, обробки та зберіганні інформації, а й для професійних – підвищення ефективності та оптимізації виробничих процесів та надання послуг. В системі освіти здобутки процесів цифровізації мають надзвичайно важливі перспективи та створюють широке коло можливостей, що будуть більш детально досліджені нижче в цьому розділі.

Спершу зупинимося на економічній сутності процесу цифровізації, який безпосередньо пов'язаний з ідеями про різні етапи становлення суспільних відносин, зокрема з переходом до постіндустріального або інформаційного суспільства [48, 57, 62]. Основними рисами такого суспільства, відповідно до одного із основоположників даної теорії (Д. Белла) є такі:

- пріоритетним напрямом економіки є надання різноманітних послуг, а не виробництво товарів;
- інформація та знання вважаються передовими факторами виробництва;
- значна увага приділяється науковим дослідженням та розробкам, а також іншим формам інтелектуальної власності, системі освіти, інноваціям [38].

Розвиток мережі Інтернет та комп'ютерів, поширення соціальних мереж передачі інформації та нейрокомунікацій [66] лише прискорили рішучі зміни в

економічних відносинах. У цьому контексті доцільно визначитися з такими поняттями як «цифровізація» та «цифрова» економіка, що систематизовані у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Економічний зміст понять «цифровізація» та «цифрова економіка»

Джерело	Визначення
Цифрова економіка	
Апалькова В. [35]	Сектор економіки, що застосовує цифрові технології та є найважливішим двигуном впровадження інновацій та забезпечення конкурентоспроможності та ефективного розвитку
КМУ [60]	Діяльність, в якій основними засобами (факторами) виробництва є цифрові (електронні, віртуальні) дані як числові, так і текстові
Поліванов В., Дмитрієва Н. [58]	Сектор економіки, заснований на комунікаційних та інформаційних технологіях, Інтернет-технологіях, використанні програмних засобів партнерської взаємодії та технологій інженерії знань, об'єктно-орієнтованих технологіях, а також на формах та методах, інструментах та результатах практичної реалізації цифрових технологій
Трепскотт Д. [28]	Економіка, що заснована на цифрових комп'ютерних технологіях
Цифровізація	
Ваял Г. [32]	Процес, коли цифрові технології створюють різкі зміни в роботі, що викликають стратегічні реакції організацій, які прагнуть змінити свої шляхи створення цінних для ринку продуктів, одночасно керуючи структурними змінами та організаційними бар'єрами, що впливають на позитивні та негативні результати цього процесу
КМУ [60]	Насичення фізичного світу електронно-цифровими пристроями, засобами, системами та налагодження електронно-комунікаційного обміну між ними, що фактично уможливорює інтегральну взаємодію віртуального та фізичного, тобто створює кіберфізичний простір
Україна 2030Е [67]	Впровадження цифрових технологій в усі сфери життя: від взаємодії між людьми до промислових виробництв, від предметів побуту до дитячих іграшок, одягу тощо.

Усі наведені визначення підкреслюють основні ознаки цифрової економіки та процесу цифровізації, а також дозволяють стверджувати, що вони можуть відбуватися як на рівні підприємств та організацій, так і на рівні держав.

На думку Соколової Н.Л. найбільш узагальненими ознаками процесу цифровізації є наступні:

- переведення інформації та даних з аналогових та фізичних до цифрових;
- більша керованість, мобільність та персоніфікованість інформації та даних їх користувачами;

- технології, що використовуються набагато спрощуються, адже їх мета – пошук необхідної інформації та її обробка, спілкування тощо;
- спостерігається перехід до мережевої структури комунікації [44].

Для вимірювання та відстеження рівня цифровізації в країнах ЄС Європейська комісія складає індекс цифрової економіки та суспільства (The Digital Economy and Society Index – DESI) [7]. Він включає чотири виміри: розвиток людського капіталу (цифрові навички), рівень зв'язку (фіксований широкосмуговий та мобільний зв'язок), рівень інтеграції цифрових технологій (в діяльність підприємств) та цифрових публічних послуг.

Розподіл європейських країн за складовими DESI у 2022 році наведено на рис. 1.1. Відмітимо, що за сумарним показником DESI лідерами є такі скандинавські країни, як Фінляндія, Данія та Нідерланди, а аутсайдерами – Греція, Болгарія та Румунія.

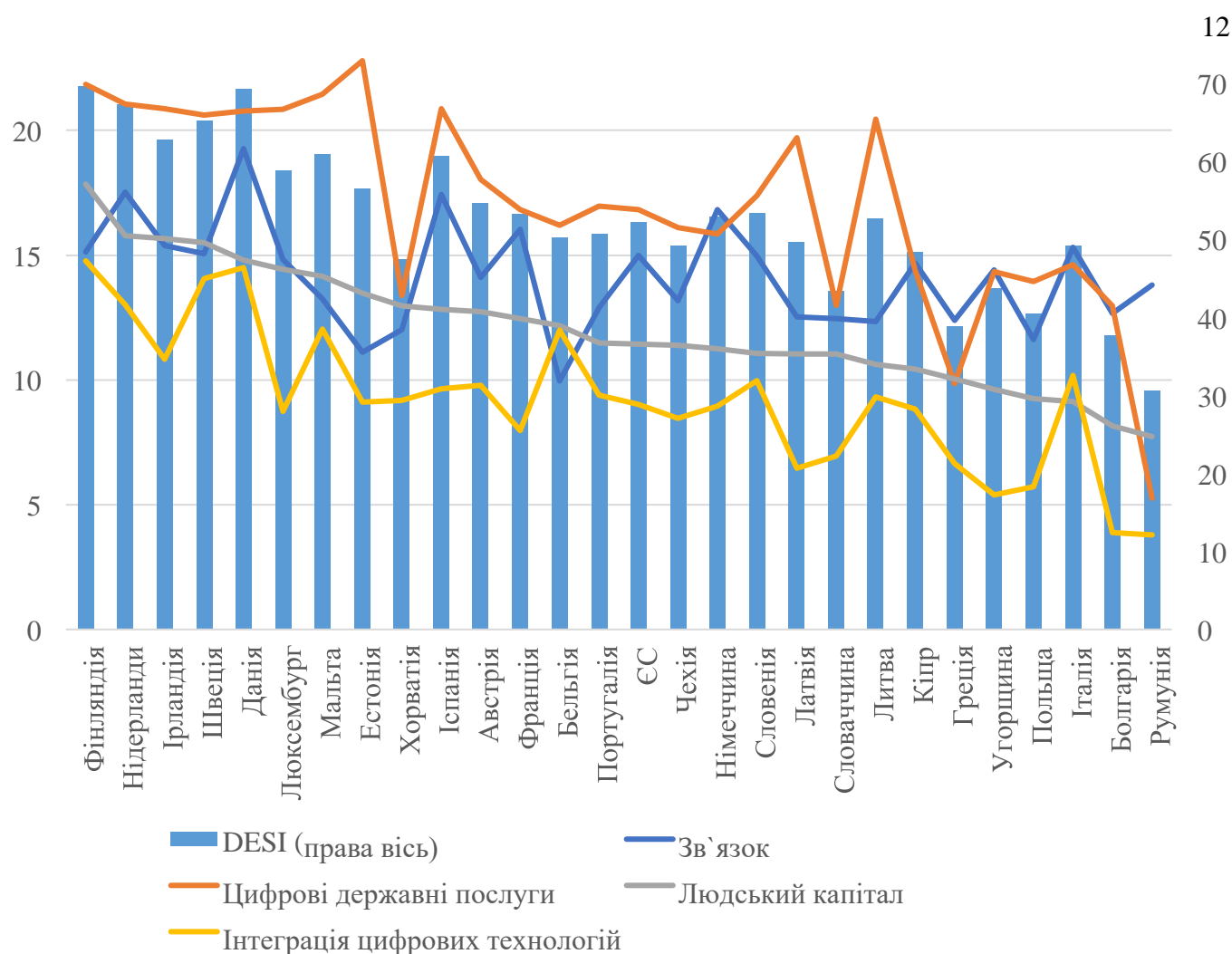


Рисунок 1.1 – Порівняння аналізованих європейських країн за DESI та його субіндексами за 2022 р.

Джерело: [7].

Аналіз наведених даних свідчить, що рівень розвитку цифровізації суттєвим чином диференціюється залежно від рівня соціально-економічного розвитку країн та інших особливостей. З графіку рис. 1.1 стає зрозуміло, що інтеграція цифрових технологій на час аналізу майже для всіх країн має низький рівень порівняно з іншими субіндексами. Найбільше значення серед субіндексів має показник розвитку цифрових державних послуг, за яким лідером є Естонія, Фінляндія та Мальта. Відмітимо, що людський капітал займає вагоме місце серед показників індексу цифрової економіки та суспільства та в певному сенсі виступає рушійною силою [57, 61], адже без відповідних знань та навичок серед населення процесу цифровізації не відбулося би.

Для країн Європейського союзу процес цифровізації є настільки невід’ємним елементом їх розвитку, що вони нормативно врегулювали основні напрями розвитку у документі «Цифровий компас 2030: європейський шлях цифрового десятиліття». Він визначає основні стратегічні орієнтири розвитку, що передбачають покращення цифрових можливостей в інфраструктурі та освіті, а також у цифровій трансформації бізнесу та державних послуг (деталі – Додаток Б).

Отже, однією із основних ознак процесів цифровізації є їх вплив на всі сфери суспільного життя, ринок освітніх послуг не є виключенням. Він відіграє надзвичайно важливу роль, адже забезпечує формування необхідних цифрових компетенцій та кваліфіковані ІТ-кадри. За своєю суттю ринок освітніх послуг доцільно розглядати як:

- «ринок, в якому взаємодіють попит на освітні послуги з боку основних суб’єктів господарювання (окремих осіб, підприємств і закупівельних організацій, держави) та його пропозицію різними освітніми закладами» [70];
- «система економічних відносин, що складаються між суб’єктами освітнього процесу з приводу купівлі-продажу освітніх послуг, а також для досягнення певного рівня освіти особи та нації загалом» [69].

Кожне з цих визначень підкреслює основний об’єкт ринку – освітню послугу, під якою варто розуміти процес передачі знань загальноосвітнього та спеціального характеру, практичних та теоретичних умінь, навичок від закладу освіти до осіб, що навчаються задля їх подальшого застосування. Освітня послуга має ряд особливостей, серед яких слід виділити: нематеріальність, об’ємність та тривалість в наданні, соціальний характер, неможливість збереження про запас, складність оцінювання якості, послуга розглядається як приватне, так і громадське благо тощо [50, 52, 64].

Саме тому, процес цифровізації в системі освіти передусім стосується процесів надання освітніх послуг, а вже додатково і суміжних елементів освітнього процесу. При цьому, якщо у ХХ столітті ринок освітніх послуг трансформувався через зміст освітніх послуг, то у ХХІ столітті – через трансформацію форм та методів їх надання,

створення нового цифрового освітнього простору тощо [45]. До найбільш поширених проявів процесу цифровізації в освіті відносяться: перехід на змішане або дистанційне (онлайн-навчання), масові відкриті-онлайн курси (МООС), цифрові університети та бібліотеки, використання хмарних технологій та віртуальної реальності, гейміфікації та роботизації освітнього процесу, використання вебконтенту та віртуальної реальності тощо [51].

У цьому контексті доцільно звернути увагу на «План дій цифрової освіти» (The Digital Education Action Plan [8]) – нормативний документ Європейської комісії для реалізації до 2027 року, пов'язаний із боротьбою з наслідками COVID-19. За своєю суттю він визначає наступні два пріоритети:

- сприяння розвитку високоефективної екосистеми цифрової освіти, що передбачає оцінювання сприятливих факторів для успішного цифрового навчання, розроблення структури європейського цифрового освітнього контенту, підтримку підключення та надання необхідного обладнання, планів цифрової трансформації освітніх закладів, розробку етичних рекомендацій щодо використання штучного інтелекту та великих даних в освітній діяльності тощо;

- посилення цифрових навичок і компетенцій для цифрової трансформації, що передбачає оновлення нормативної бази з даного питання (зокрема, Європейської рамки цифрових компетенцій, Європейського сертифікату цифрових навичок), розроблення рекомендацій для освітнього персоналу, стимулювання міжнародних мобільностей та стажувань, а також заохочення участі жінок у STEM.

Отже, поширення процесів цифровізації в освітній сфері ставить нові вимоги до базових компетенцій кожної особистості, адже ринок праці також трансформується в умовах технологічних змін. Як відмічає у своїй роботі Сайма В. та ін. [27], «людський капітал переходить від парадигми початкової кваліфікації, достатньої для всієї кар'єри, до парадигми постійного накопичення нових знань і навичок через періодичне навчання один раз на кілька років» Відповідно до запропонованого

Європейською комісією набору компетенцій, необхідних для успішного особистого та професійного життя, кожній особистості потрібні такі цифрові компетенції:

- уміння працювати з інформацією, даними та цифровим контентом;
 - комунікація та співробітництво за допомогою цифрових технологій;
 - створення та використання цифрового контенту;
 - володіння основами цифрової безпеки, що включає захист пристроїв, персональних даних, здоров'я та благополуччя, а також навколишнього середовища;
- вміння розв'язувати можливі технічні проблеми тощо [33].

Використання основних здобутків цифровізації в освітньому процесі матиме численні переваги, серед яких особливо слід виділити наступні:

- збільшення використання цифрових технологій та досягнень сприятиме покращенню якості освітнього процесу через мотивацію та задоволеність її користувачів, адже для нинішнього покоління молоді використання нових технологій є невід'ємною частиною життя;

- збільшення конкурентоспроможності освітніх закладів, адже на сьогоднішній день, особливо в секторі вищої освіти, вони виходять на міжнародний ринок освітніх послуг;

- цифровізація діяльності освітніх закладів лише підвищить їх ефективність та прозорість, адже можливість швидкого та простого вирішення адміністративних та освітньо-наукових питань, автоматизація та гнучкість в режимі онлайн є безперечною конкурентною перевагою;

- освітній процес стає гнучким, мобільним та більш персоналізованим до потреб конкретної особи, що навчається;

- сприяння можливостям безперервної освіти або освіти впродовж життя, адже доступ до освіти стає відкритим та не має жодних обмежень [1, 36, 42, 45].

Незважаючи на численні переваги, цифровізація може мати і певні негативні наслідки. Серед них, зокрема, можна виділити такі найбільш явні: по-перше,

загострення питання нерівності в доступі до освітніх послуг або, іншими словами, «цифровий розрив» [11], спричинений відсутністю доступу до Інтернету та забезпеченості комп'ютерами, що особливо характерне для сільських місцевостей, осіб з соціально-вразливих сімей тощо. По-друге, перехід виключно на онлайн-режим свідчить про погіршення якості освітнього процесу, через неможливість концентруватися довго на екрані комп'ютера, відсутності взаємодії з іншими учнями та вчителями, підвищення нервової напруженості тощо [30]. Іншими недоліками можна вважати підвищення конкуренції на ринку освітніх послуг та його комерціалізацію [19], адже кількість освітніх провайдерів надзвичайно збільшується; зростання потенційного шахрайства та плагіату в освітньому процесі; певна стандартизація та автоматизація освітнього процесу, що погіршує його якість тощо [25, 51].

Важливо відмітити, що цифровізація освіти не має розглядатися виключно як самоціль. Вона створює багато можливостей для розвитку нового, більш модернізованого освітнього середовища. Проте не слід забувати і про потенційні загрози, які цифровізація може спричинити для осіб, що навчаються, й які слід завжди враховувати.

1.2 Систематизація існуючих підходів до моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації

Питання моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації набуває все більшої актуальності, проте в наукових колах немає однозначного підходу до його вирішення. Це пов'язано передусім зі складністю вимірювання обох категорій – як процесу цифровізації, так і ринку освітніх послуг.

Як зазначено в попередньому підрозділі, процес цифровізації не має єдиного визначення та може охоплювати всі «сфери життя: від взаємодії між людьми до промислових виробництв» [67]. У зв'язку із цим в роботі Котарба М. [20] для вимірювання цифровізації пропонуються окремо розглядати такі виміри як економіка, суспільство, промисловість, підприємництво та клієнтів, для кожного із яких пропонується своя метрика (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Підхід Котарба [20] до вимірювання цифровізації

Виміри процесу цифровізації	Пропонована метрика
Економіка	Рівень підключення, людський капітал, використання Інтернету, ІКТ інтеграція, цифрові державні послуги, діючі підприємства
Суспільство	Розумна інфраструктура, користувачі Інтернету, зростання використання Інтернету та цифрових технологій, е-уряд, інвестиції в ІКТ, кіберзлочинність, мобільність
Індустрія / промисловість	Цифрові витрати, цифрові активів, цифрові транзакції, оцифровка виробничих процесів, характер взаємодії між фірмами, клієнтами та постачальниками, внутрішні/зовнішні бізнес-процеси
Підприємництво	Джерела цифрового трафіку, ефективність соціальних мереж, спосіб залучення клієнтів, цифрові доходи/продажі та активи
Клієнти	Використання онлайн-рішень, коефіцієнт цифрового самообслуговування, продуктивність додатків, продуктивність поколінь клієнтів і мікросегментів, оцінка онлайн-досвіду

Як бачимо з наведеної таблиці більшість показників є доволі специфічними, а отже зробити широкий аналіз на рівні певного сектору чи країни в цілому дуже важко.

На думку Фіщука В., при дослідженні процесів діджиталізації необхідно розглядати «тверду/ hard» та «м'яку/ soft» цифрові інфраструктури, тобто такі, що включають інформаційно-комунікаційні та цифрові технології відповідно [68].

Більш узагальненими є оцінювання процесів цифровізації за допомогою міжнародних узагальнених індексів, (деталі – Додаток В), серед яких можна виокремити такі [61, 63]:

- індекс цифрової економіки та суспільства (DESI), розроблений Європейською комісією [7];

- індекс розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (IDI) [29];
- індекс мережевої готовності (NRI) [24] тощо.

Кожен із них має власний набір індикаторів, що залежить від специфіки організації, яка займається розрахунком індексу, та глибини дослідження. Проте їх спільною рисою є включання блоків, які пов'язані з людьми та цифровими навичками.

Для оцінювання рівня розвитку ринку освітніх послуг також використовують різні індикатори. Так, наприклад, прийнято виділяти кількісну оцінку даного ринку, тобто за кількістю закладів освіти та студентів, викладачів, аспірантів та докторантів в них. Якісну оцінку можна здійснювати на основі показників різних рейтингів, наприклад за оцінками Світового економічного форуму, QS, Times, Webometrics, Шанхайського рейтингу університетів тощо [37, 44, 55, 56].

У дослідженні Лондар С.Л., Шаповалової О.О., Пронь Н.Б. [46] при дослідженні ринку освітніх послуг та його конкурентоспроможності досліджено в основному кількісний та якісний склад іноземних студентів та абітурієнтів в закладах вищої освіти.

У контексті трансформації ринку освітніх послуг під впливом процесів діджиталізації варто звернути увагу на роботу Мельникової О. та Олійник Ю. [35], які досліджують особливості функціонування ринку онлайн освіти в Україні та світі. За їх дослідженням світовий ринок онлайн-освіти є сегментований між академічним, корпоративним та державним секторами та активно розвивається. Лідером за доходами в онлайн-освіті є Сполучені Штати Америки, Азійсько-Тихоокеанській регіон має достатньо високі темпи розвитку.

Відповідно, спостерігається стрімке зростання відкритих цифрових освітніх ресурсів. Найбільш популярними світовими провайдерами та платформами для онлайн-освіти станом на 2021 році є:

- Coursera (97 мільйонів студентів та 6000 курсів);
- edX (42 мільйонів студентів та 3550 курсів); – FutureLearn (17 мільйонів студентів та 1400 курсів); – Swayam (22 мільйонів студентів та 1465 курсів) [3].

У зв'язку із цим постає питання в емпіричному оцінюванні та моделюванні існуючих зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації. Слід відмітити, що особливого поширення набули роботи з даної проблематики в контексті поширення пандемії COVID-19 та карантинних заходів, що зумовили закриття навчальних закладів по всьому світу.

У роботі Гарсія-Моралес та ін. [10] виділено наступні напрями трансформації вищої освіти для боротьби з пандемією COVID-19:

- суттєві зміни в методології викладання, основних компетенціях і методах оцінювання відповідно до особливостей онлайн-навчання;
- використання надійної та зручної інфраструктури та технологічних платформ, надійних серверів, які можуть витримувати віртуальне робоче навантаження, та методологічної підготовки викладачів і студентів для онлайн-доставки з використанням усіх доступних технічних та освітніх ресурсів тощо.

Заслуговує на увагу достатньо ґрунтовна робота Васілеску М. та ін. [31], які провели статистичний аналіз щодо цифрових навичок у громадян ЄС, двоетапний кластерний аналіз (TSCA) з метою ідентифікації «цифрових вразливих груп», а потім «цифрових вразливих країн» з точки зору ризику цифрового розриву та логістичної регресії з основною метою кількісної оцінки впливу відповідних факторів на громадян) уявлення про цифровізацію. Таким чином, до найбільш вразливих груп увійшли люди похилого віку, з низьким рівнем освіти, працівники фізичної праці або непрацюючі, з відносно низьким рівнем доходу та мало користуються Інтернетом. Таким чином, освіта відіграє важливу роль у подоланні цифрових розривів у суспільстві.

У роботі Мубарака Ф. та ін. [23] за допомогою багатфакторного регресійного аналізу підтверджено гіпотезу про те, що дохід і освіта позитивно пов'язані з поширенням ІТ. Отримані статистичні дані підтверджують, що бідність є основною причиною цифрового розриву в усьому світі.

Дьякона А., Холявко Н. та ін. [5] провели дослідження зв'язку розвитку інформаційної економіки та розвитку вищої освіти та фінансування наукових досліджень у ній за допомогою моделей кубічної регресії на прикладі України та Латвії. У роботі Михай та ін. [22] за допомогою регресійного аналізу підтверджено вплив технологій на кількість студентів зарахованих до шкіл. У роботі Присвітлої О.В. [59] досліджено вплив на розвиток мобільності ринку освітніх послуг показників цифровізації, зокрема через проникнення в освіту інформаційних технологій, за допомогою стандартного кореляційно-регресійного аналізу.

Усі наведенні роботи свідчать про переважне використання багатовимірного аналізу даних першого покоління (кореляційний та регресійний аналіз) Проте методам другого покоління, серед яких виділяють і моделювання структурними рівняннями присвячено недостатньо уваги, хоча вони мають набагато ширший потенціал використання та можуть виявити наявність зв'язків між більш комплексними та складними явищами, якими і є процес цифровізації та стан розвитку ринку освітніх послуг.

1.3 Постановка завдання моделювання

На основі проведеного теоретичного дослідження та систематизації існуючих підходів до моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації можна сформулювати основні завдання даної роботи.

Метою даної роботи є розробка методики структурного моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації. У зв'язку із цим, об'єктом дослідження є процес моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації. Предметом дослідження є математичні методи та моделі оцінювання взаємозв'язку цифровізації та ринку освітніх послуг.

Виявлення зв'язків між окремими явищами можливе за допомогою різних математичних методів та моделей. Таким прикладом можуть бути такі методи багатовимірної аналізу даних першого покоління, як кореляційно-регресійний та дисперсійний аналіз тощо. Основними обмеженнями даних методів є відносна простота структури самої моделі (умовно, А зумовлює В), що ускладнює паралельне врахування інших важливих факторів [12, 43, 47, 54]. Для врахування більш комплексних взаємозв'язків використовуються моделі другого покоління, важливе місце серед яких посідає моделювання структурних рівнянь (SEM).

Воно включає два найбільш поширених методи:

- моделювання структурних рівнянь на основі коваріації (CB-SEM), що оцінює наскільки точно запропонована теоретична модель може відтворити коваріаційну матрицю для досліджуваного вибіркового набору даних;
- моделювання структурних рівнянь методом часткових найменших квадратів або моделювання шляхів (PLS-SEM, PLS), що виявляє причинно-наслідкові зв'язки між змінними шляхом дослідження їх дисперсії [2, 15, 18].

Порівняємо основні риси даних двох методів в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння основних методів моделювання структурних рівнянь

CB-SEM	PLS-SEM
Параметричний статистичний метод, вимагає відповідність вибірки нормальному закону розподілу	Непараметричний статистичний метод, не вимагають відповідності вибірки нормальному закону розподілу
Оцінка параметрів моделі, які мінімізують відмінності між коваріаційною матрицею спостережуваної вибірки та коваріаційною матрицею, оціненою після підтвердження переглянутої теоретичної моделі	Оцінка параметрів моделі, які максимізують дисперсію, пояснену в залежній змінній шляхом оцінки часткових модельних зв'язків у ітераційній послідовності звичайних регресій найменших квадратів
Немає прогностичної сили, оцінюється якість моделі на основі статистик хі-квадрату	Модель має прогностичну силу, що в основному відбувається на основі коефіцієнта детермінації
Основною метою дослідження є перевірка та підтвердження певної теорії	Основною метою дослідження є передбачення та розробка певної теорії
Застосовується переважно для невеликих та середніх за складністю моделей	Може застосовуватися як для невеликих та середніх, так і для великих за складністю моделей

Джерело: [4, 14, 16].

Завдання моделювання у термінах предметної галузі наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Постановка проблеми моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації

Елементи	Описання
Проблема	Моделювання існуючих зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації
Впливає на	Соціально-економічний розвиток країни та її конкурентоспроможність на міжнародній арені
Результатом чого є	Побудова науково-методичного підходу до структурного моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації
Переваги моделі	Відносна простота побудови моделі та однозначність трактування результатів; високий ступінь наочності та візуальне представлення результатів; можливість врахування комплексних факторів для кожного блоку індикаторів

Отже, для виявлення численних та складних зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації в роботі запропоновано використовувати моделювання структурних рівнянь методом часткових найменших квадратів або моделювання шляхів (PLS-SEM), що має ряд переваг порівняно з іншими методами.

2 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ РИНКУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ І ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

2.1 Опис вхідних даних для побудови моделі

Формування масиву вхідних даних є важливим етапом будь-якого аналізу, адже від їх характеру та якості буде залежати результат дослідження. Як зазначалося в попередньому підпункті, однією із переваг PLS-SEM моделі є те, що вона не висуває достатньо критичних вимог до масиву вхідних даних. Як зазначається в роботі Хайер та ін. [15], як прості, так і комплексні масиви даних можуть використовуватися для даного виду розрахунків: так як PLS-SEM є непараметричним методом, то немає припущень щодо розподілу.

У зв'язку із цим, в роботі запропоновано використовувати дані, які знаходяться у вільному доступі та можуть бути співставними для багатьох об'єктів дослідження. Для цього використано інформаційну базу статистичних даних Євростат [9], що вважається однією із найбільших та найпоширеніших централізованих органів, що акумулює велику кількість даних для країн-членів Євросоюзу. За об'єкти дослідження обрано наступні 27 європейських країн: Австрія, Бельгія, Болгарія, Хорватія, Кіпр, Чехія, Данія, Естонія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Угорщина, Італія, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Нідерланди, Норвегія, Польща, Португалія, Румунія, Сербія, Словаччина, Словенія, Іспанія та Швеція. Часовий період для більшості даних охоплює 2020 рік, виключенням є показник державних річних витрат на освіту, адже останні наявні дані представлено за 2019 рік.

Для оцінки процесів цифровізації в роботі обрано показники, що свідчать про рівень доступу до Інтернету серед домогосподарств та підприємств, а також основні показники його використання (поширення електронної комерції, е-урядова діяльність, наявність веб-сайтів), зайнятість ІТ спеціалістів тощо. Фактично, більшість із цих показників є складовими індексу DESI. Для оцінки стану ринку

освітніх послуг в країні обрано показники фінансування освіти, її тривалість та співвідношення учнів/студентів та вчителів/викладачів у класах, а також частка населення, що отримують освіту. Більш детальна характеристика даних показників в економічному значенні, їх одиниці виміру та умовні позначення, що будуть використовуватися в даному дослідженні, описані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Опис масиву вхідних даних

№ з/п	Назва індикатора	Одиниці виміру	Умовне позначення	База даних
Блок процесів цифровізації				
1	Рівень доступу до Інтернету серед домогосподарств	% серед домогосподарств	x ₁	Eurostat
2	Рівень доступу до Інтернету серед підприємств	% серед підприємств	x ₂	Eurostat
3	Продаж через електронну комерцію	% серед підприємств	x ₃	Eurostat
4	Наявність веб-сайтів та іншого функціоналу серед підприємств	% серед підприємств	x ₄	Eurostat
5	Частка зайнятих ІТ спеціалістів	% серед загального рівня зайнятості	x ₅	Eurostat
6	Е-урядова діяльність фізичних осіб через веб-сайти	% серед населення	x ₆	Eurostat
Блок ринку освітніх послуг				
7	Державні річні витрати на освіту (від дошкільної до вищої), 2019 рік	% ВВП	z ₁	Eurostat
8	Загальна тривалість обов'язкової освіти	років	z ₂	Eurostat
9	Загальна частка учнів та студентів серед населення (від дошкільної до вищої)	% до загальної вікової кількості населення	z ₃	Eurostat
10	Співвідношення учнів до вчителів (серед початкової і середньої освіти)	%	z ₄	Eurostat
11	Співвідношення студентів до науковопедагогічного персоналу(серед вищої освіти)	%	z ₅	Eurostat
12	Частка населення з вищою освітою	% до населення у віці від 15 до 64 років	z ₆	Eurostat

Всі розрахунки в межах даного дослідження проводилися в програмному комплексі RStudio, що є інтегрованим середовищем для проведення розрахунків з використанням мови статистичних обчислень R. За своєю суттю R є системою для статистичного аналізу та графіки, яка була створена Р. Іхакою та Р. Джентльменом [17] і є окремим діалектом мови S, створеної лабораторією AT&T Bell. Перевагами R є те, що вона включає багато функцій для статистичного аналізу та графіки, які можна візуалізувати у окремому вікні та зберегти у різних форматах. Усі результати статистичного аналізу відображаються безпосередньо на екрані відповідного програмного забезпечення, додатково деякі проміжні результати аналізу можна зберегти, записати у файл або використати в наступних аналізах.

Як і будь-яка мова програмування, R містить умовні оператори, рекурсивні функції та команди введення/виведення. Проте вона має ряд відмінностей, що забезпечують її широке використання для проведення статистичних досліджень, серед яких слід виділити:

- масив функцій для пошуку, обробки та зберігання даних;
- вбудовані оператори для обчислень з використанням масивів і матриць;
- пакети інструментів для базового та проміжного статистичного аналізу (наприклад, описова статистика, регресія, SEM тощо);
- пакети графіки для аналізу даних і візуалізації для створення візуалізацій як на екрані, так і на папері;
- можливість використовувати R для запуску коду, написаного на C++ і Fortran; – можливість взаємодії з кодом, написаним на Python тощо [21].

При цьому, більшість основних пакетів для статистичного аналізу встановлюються разом з інсталяцією програми, а решту пакетів можна легко завантажити додатково за допомогою функції «library».

RStudio як дружнє для користувачів («user-friendly») програмне середовище дозволяє врахувати всі необхідні аспекти для побудови системи структурних рівнянь

методом PLS, а саме враховувати як «multi-item», так і «single-item» при побудові моделей вимірювання, прописувати напрями зв'язків шляхів та конструкцій, отримувати критерії для оцінки адекватності моделі та формувати їх візуальне представлення.

При цьому, для проведення аналізу PLS-SEM необхідно завантажити спеціальний пакет «sempr», що забезпечує зручний синтаксис для створення та оцінки такого типу моделей. Основними перевагами даного синтаксу є:

- забезпечує використання предметно-спеціальної мови для побудови та оцінки моделей шляху PLS у середовищі R;
- може використовуватися як для PLS-SEM на основі дисперсії, так і CB-SEM на основі коваріації для оцінки композитних і загальних факторних моделей;
- надає можливість простого та швидкого визначення зв'язків в моделі та умови взаємодії, дозволяє формувати конструкції вищого порядку [26].

Для того, щоб найбільш змістовно охарактеризувати масив вхідних даних, розглянемо їх описові статистики в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Описові статистики для масиву вхідних даних

	mean	sd	median	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x ₁	91.78	4.36	92	4.45	82	99	17	-0.18	-0.47	0.84
x ₂	97.89	2.17	98	1.48	91	100	9	-1.29	1.56	0.42
x ₃	21.33	7.8	20	8.9	9	38	29	0.26	-0.99	1.5
x ₄	76.15	11.95	77	11.86	51	96	45	-0.35	-0.76	2.3
x ₅	4.76	1.32	4.5	1.04	2.6	8	5.4	0.77	-0.21	0.25
x ₆	64.07	20.99	69	19.27	15	92	77	-0.54	-0.65	4.04
z ₁	4.79	1.01	4.61	0.9	3.16	7.09	3.93	0.84	-0.17	0.19
z ₂	10.74	1.53	10	1.48	8	13	5	0.05	-1.1	0.3
z ₃	20.84	3.07	20	2.52	16.5	27.1	10.6	0.6	-0.91	0.59
z ₄	11.59	2.02	11.2	1.63	7.1	16.5	9.4	0.31	0.01	0.39
z ₅	14.64	4.57	14	3.26	4.5	26.9	22.4	0.43	0.51	0.88
z ₆	31.67	7.71	34.2	8.3	16.4	44.5	28.1	-0.29	-1.1	1.48

де: mean – середнє значення, sd – стандартне відхилення, median – медіана, mad – середнє абсолютне відхилення, min – мінімальне значення, max – максимальне значення, range – розмах варіації, skew – коефіцієнт асиметрії, kurtosis – коефіцієнт ексцесу, se – стандартна помилка

Наведені вище дані свідчать про загальну тенденцію обраних змінних за допомогою значень середнього, максимального і мінімального, а також показують їх варіацію та симетрію. Так, за середніми значеннями можемо сказати про високий рівень доступу до Інтернету серед домогосподарств та підприємств проаналізованих європейських країн, поширення Е-урядової діяльності та розвиток інформаційної діяльності за допомогою веб-сайтів та іншого функціоналу. Натомість електронна комерція знаходиться на стадії розвитку. Щодо ринку освітніх послуг, то в середньому на його розвиток від держави виділяється 4,8% ВВП. Понад 20% населення є поточними учнями та студентами, 30% населення має вищу освіти. Співвідношення учнів-студентів та викладачів складає усереднено 12 осіб для початкової та середньої освіти та 15 осіб для вищої освіти.

Серед більшості проаналізованих показників спостерігається невеликий розмах варіації. Найбільший він для індикаторів Е-урядова діяльність фізичних осіб через веб-сайти та наявність веб-сайтів та іншого функціоналу серед підприємств, що є свідченням різного темпу поширення процесів цифровізації в країнах Європи. Щодо ринку освітніх послуг, то найбільший розмах варіації спостерігається для індикаторів співвідношення студентів до науково-педагогічного персоналу(серед вищої освіти) та частки населення з вищою освітою.

Для дослідження особливостей розподілу даних побудуємо наступні діаграми, на прикладі індикаторів x_1 , x_6 , z_1 та z_6 (рис. 2.1 – 2.4).

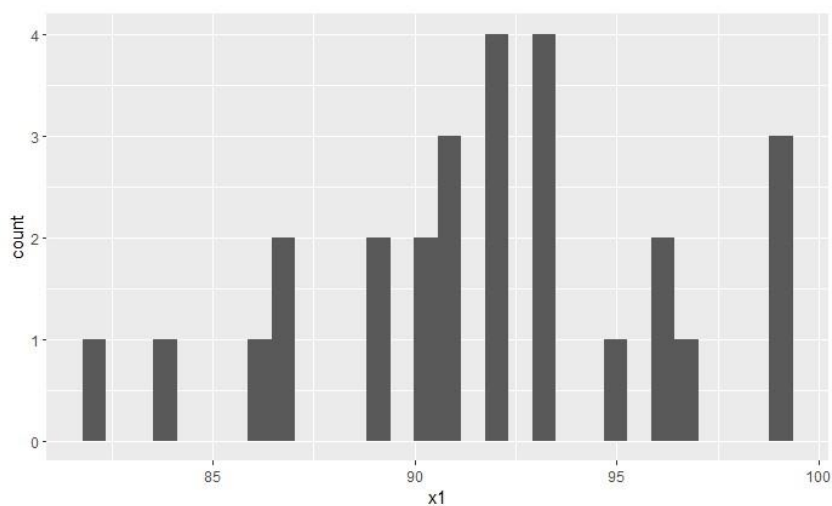


Рисунок 2.1 – Діаграма розподілу даних по індикатору «рівень доступу до Інтернету серед домогосподарств» (x_1)

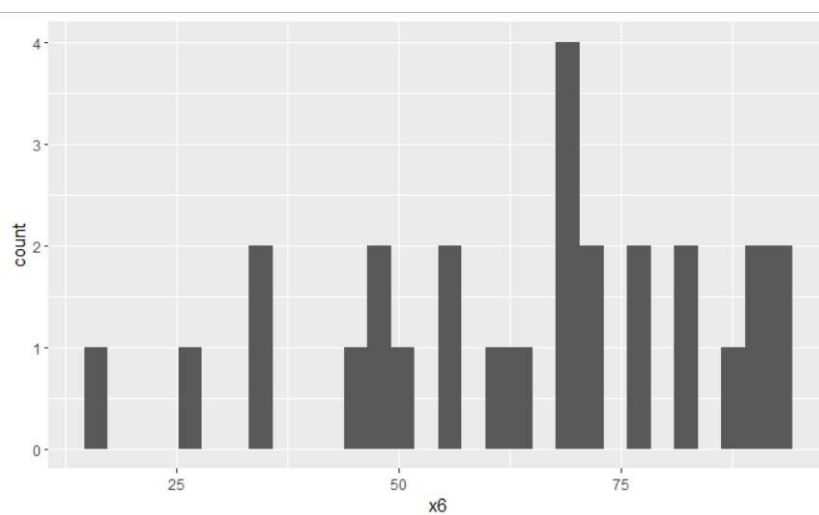


Рисунок 2.2 – Діаграма розподілу даних по індикатору «Е-урядова діяльність фізичних осіб через веб-сайти» (x_6)

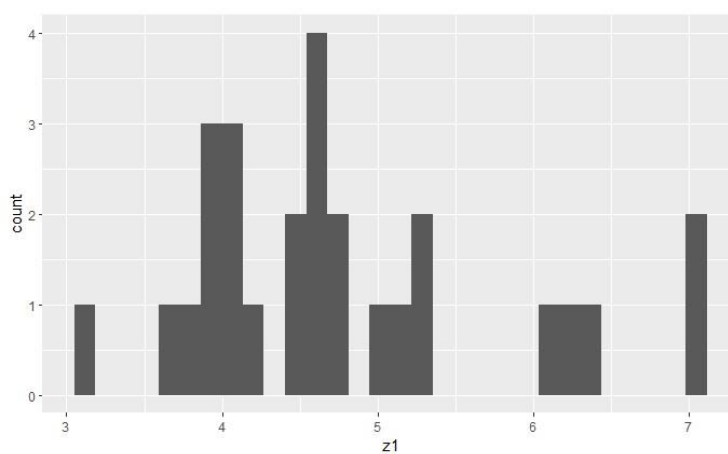


Рисунок 2.3 – Діаграма розподілу даних по індикатору «державні річні витрати на освіту» (z_1)

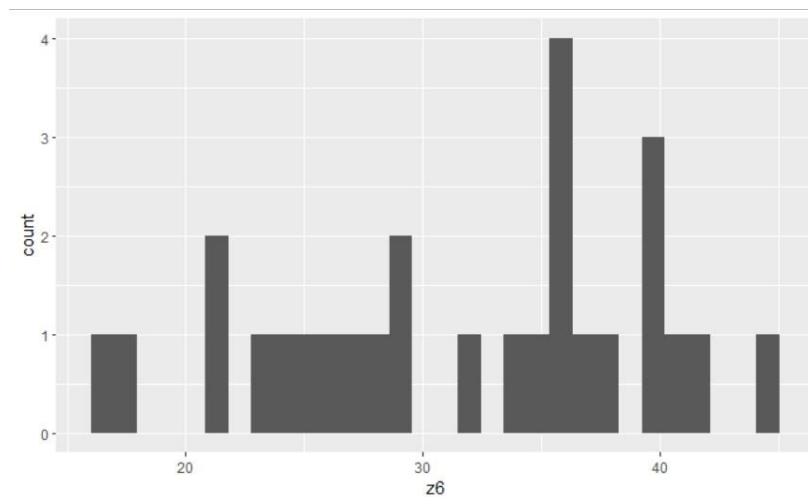


Рисунок 2.4 – Діаграма розподілу даних по індикатору «частка населення з вищою освітою» (z_6)

Наведені графіки показують розподіл значень індикаторів між країнами вибірки, де по осі X відображені самі значення, а по осі Y – кількість країн, в яких вони зустрічаються. При цьому вони підтверджують показники описових статистик в таблиці 2.1.

Формування масиву вхідних даних та його аналіз дозволяє перейти до наступного пункту роботи, що передбачає формування вимог до моделі та формування системи структурних рівнянь.

2.2 Формування вимог до моделі та системи структурних рівнянь зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації

У межах даного досліджено прийнято рішення використовувати метод PLSSEM, який має більше переваг для зібраної вибіркової сукупності. Використання даного методу передбачає побудову діаграми шляхів, що графічно зображують

відносини між змінними, які цікаві досліднику. В межах нашого дослідження зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації така діаграма шляхів подана на рис.2.5.

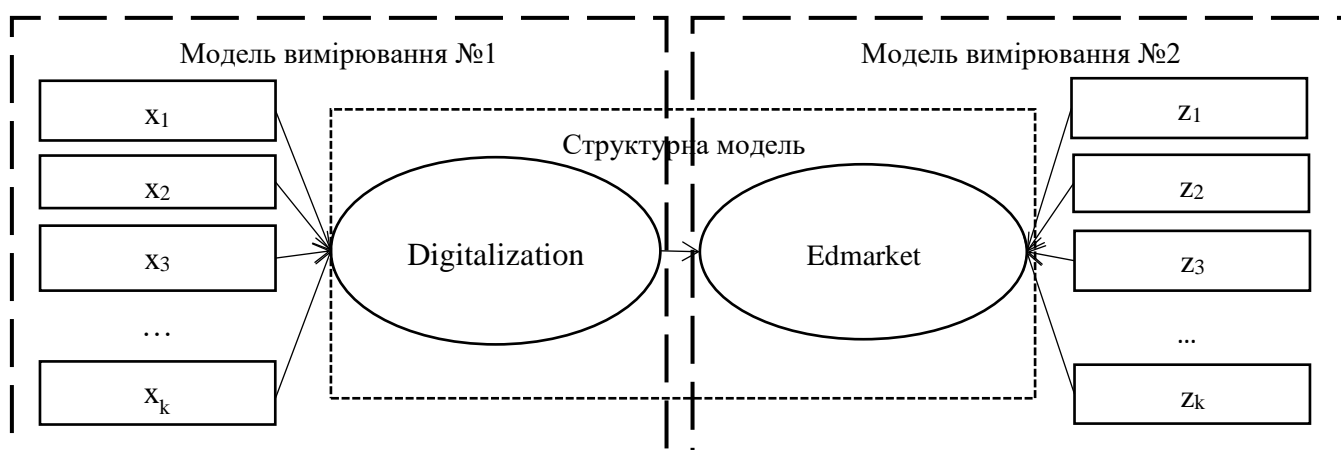


Рисунок 2.5 – Діаграма шляхів в рамках методу PLS-SEM, що вимірює взаємозалежність ринку освітніх послуг і процесів цифровізації

Розглянемо структурні елементи більш детально. Типова PLS-SEM складається з наступних елементів:

- латентні змінні (тобто, змінні, які не можна фактично виміряти), на діаграмі шляхів вони представлені блоками Digitalization та EdMarket, зазвичай позначаються колами чи овалами;
- явні змінні (тобто, змінні, які можна виміряти і які містять масив вхідних даних, зібраний для аналізу), представлені змінними з табл. 2.1, на діаграмі шляхів позначаються квадратами чи прямокутниками;
- зв'язки між окремими елементами моделі чи її конструкціями позначаються на діаграмі шляхів за допомогою стрілок, які мають свій визначений напрям. Відмітимо, що стрілки у PLS-SEM завжди односторонні;
- структурна (або внутрішня) модель, що фактично вимірює зв'язки між латентними змінними, в нашому прикладі це цифровізація та ринок освітніх послуг;
- моделі вимірювання (або зовнішні моделі), що формуються між латентною змінною та її явними вимірниками.

Напряму зв'язку в моделі вимірювання має значення, адже вона може мати два типи: формативний чи рефлексивний. Модель вважається рефлексивною, якщо на діаграмі шляху причинні стрілки йдуть від латентної до явних змінних. Модель вважається формуючою, якщо стрілки йдуть від явних до латентних змінних. Іноді рефлексивні моделі називають моделями «Режиму А», а формативні моделі називають моделями «Режиму Б». RStudio підтримує обидва типи моделей, що вказується при написанні скрипта.

В межах побудованої нами моделі бачимо, що напрям стрілок іде від множини явних змінних до однієї латентної змінної, що вказує на формативний тип відносин.

У межах даної роботи модель PLS-SEM має такий математичний вигляд у вигляді класичної системи рівнянь:

$$\begin{cases} LEdMark = \mu_0 & + \mu_k LDigit + \varepsilon \\ LDigit = \mu_0 & + \mu_1 x_1 + \dots + \mu_k x_k + \varepsilon_{LDigit} \\ LEdMark = \mu_0 & + \mu_1 z_1 + \dots + \mu_k z_k + \varepsilon_{LEdMark} \end{cases} \quad (2.1)$$

де μ_0 – вільна змінна;

μ_k – коефіцієнт навантаження та напрямку;

ε – стандартна похибка;

$LDigit$ – латентна змінна для процесів цифровізації;

$x_1 \dots x_k$ – явні змінні для процесів цифровізації;

$LEdMark$ – латентна змінна для ринку освітніх послуг;

$z_1 \dots z_k$ – явні змінні для ринку освітніх послуг; k –

кількість змінних.

Як бачимо, це система взаємозалежних структурних рівнянь, що формують необхідні нам напрями зв'язків, відповідно до побудованої діаграми шляхів.

Це все дозволяє підсумувати основні теоретичні моменти методу PLS-SEM щодо моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації, який здійснюється у наступні етапи:

1. Формування інформаційної бази дослідження.
2. Специфікація моделей вимірювання в рамках структурного моделювання.
3. Специфікація структурних моделей в рамках структурного моделювання.
4. Оцінка PLS шляхів моделі:
 - перевірка наявності мультиколінеарності незалежних змінних;
 - виокремлення статистично значущих факторів; – визначення параметрів множинної регресії.
5. Перевірка моделі на адекватність та інтерпретація отриманих результатів.

Виконані кроки дозволили сформулювати вимоги до моделі та побудувати систему структурних рівнянь. Це є необхідною базою для проведення безпосереднього аналізу, чому і буде присвячено наступний розділ даної роботи.

3 ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ

3.1 Аналіз отриманих результатів та перевірка адекватності побудованої математичної моделі

Враховуючи специфіку моделі PLS-SEM, аналіз отриманих результатів та оцінювання їх адекватності щодо виявлення зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації доцільно проводити у такі два етапи:

- оцінювання результатів побудованих моделей вимірювання;
- оцінювання результатів побудованих структурних моделей.

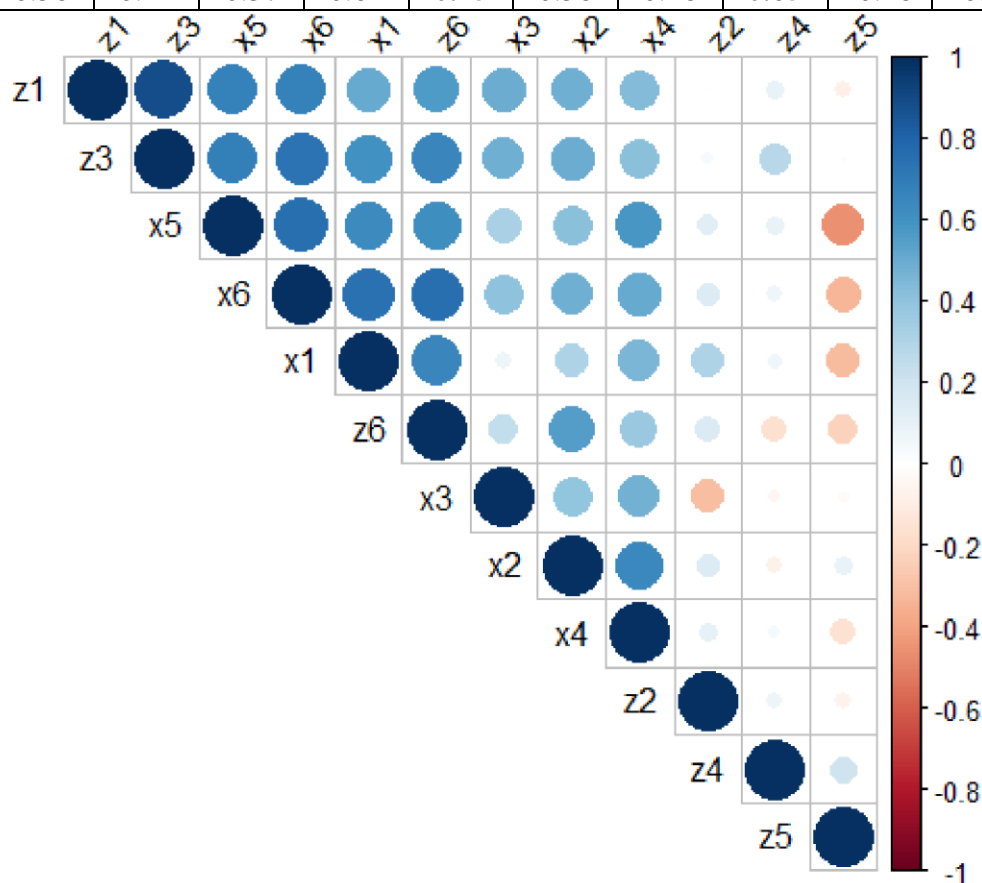
На першому етапі для побудованих двох формативних моделей вимірювання (наведено на рис. 2.3) перевіримо показники конвергентної валідності, колінеарності, статистичної значущості та релевантності ваг індикаторів, результати яких наведено в таблицях нижче.

Таблиця 3.1 – Перевірка конвергентної валідності моделей, що вимірюються

1. Коефіцієнти шляхів моделі				
	EdMarket			
R^2	0.828		$AdjR^2$	0.821
Digitalization	0.910			
2. Коефіцієнти рівня надійності моделі				
	alpha	rhoC	AVE	rhoA
Digitalization	0.847	0.852	0.504	1.000
EdMarket	0.536	0.656	0.405	0.835
3. Графічне відображення коефіцієнтів рівня надійності моделей				

Спостерігається наявність конвергентної валідності в моделі, адже коефіцієнт шляху складає 0,910, що перевищує порогове значення в 0,708. Коефіцієнти рівня надійності для блоку процесів цифровізації (Digitalization) повністю задовольняють вимоги моделі, а для блоку ринку освітніх послуг (EdMarket) коефіцієнти alpha та rhoC незначно менші за критичний рівень (0,7), а коефіцієнт AVE – менший за критичний рівень 0,5. Для прийняття остаточного рішення про якість моделі необхідно провести додаткові розрахунки інших критеріїв адекватності.

x ₅	0.64	0.42	0.32	0.59	1.00							
x ₆	0.74	0.48	0.41	0.50	0.76	1.00						
z ₁	0.50	0.49	0.50	0.44	0.67	0.67	1.00					
z ₂	0.31	0.14	-0.30	0.10	0.12	0.15	0.00	1.00				
z ₃	0.60	0.49	0.48	0.42	0.68	0.74	0.89	0.04	1.00			
z ₄	0.06	-0.08	-0.05	0.04	0.10	0.07	0.09	0.08	0.28	1.00		
z ₅	-0.31	0.09	-0.02	-0.16	-0.46	-0.34	-0.08	-0.07	0.01	0.21	1.00	
z ₆	0.65	0.56	0.24	0.37	0.61	0.75	0.56	0.16	0.65	-0.16	-0.23	1.00



Отримані дані кореляційної матриці та корелограми свідчать про існування високого рівня кореляції (граничне значення обрано на рівні 0,7) між окремими показниками, які виділені в таблиці жирним шрифтом. У цьому випадку необхідно прийняти відповідних заходів, що можуть полягати у усуненні або об'єднанні індикаторів. Для усунення потенційних проблем мультиколінеарності в даній роботі прийнято рішення про виключення наступних показників x₆ («Е-урядова діяльність фізичних осіб через веб-сайти») та z₃ («частка учнів та студентів серед населення»), після чого спробувати побудувати модель та оцінити її адекватність знову.

У результаті, конвергентна валідність не постраждала (коефіцієнт шляху між Digitalization та EdMarket складає 0,888), а коефіцієнти інфляції дисперсії та кореляційна матриця мають такі значення (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Перевірка колінеарності моделей, що вимірюються, після усунення мультиколінеарності

Показник	VIF		Висновок							
x ₁	1.816		Показники не перевищують критичні значення та можуть бути використані в подальшому аналізі							
x ₂	1.735									
x ₃	1.411									
x ₄	2.396									
x ₅	2.145									
z ₁	1.563									
z ₂	1.059									
z ₄	1.135									
z ₅	1.092									
z ₆	1.683									
Кореляційна матриця										
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	z ₁	z ₂	z ₄	z ₅	z ₆
x ₁	1.00									
x ₂	0.30	1.00								
x ₃	0.08	0.40	1.00							
x ₄	0.45	0.64	0.48	1.00						
x ₅	0.64	0.42	0.32	0.59	1.00					
z ₁	0.50	0.49	0.50	0.44	0.67	1.00				
z ₂	0.31	0.14	-0.30	0.10	0.12	0.00	1.00			
z ₄	0.06	-0.08	-0.05	0.04	0.10	0.09	0.08	1.00		
z ₅	-0.31	0.09	-0.02	-0.16	-0.46	-0.08	-0.07	0.21	1.00	

z_6	0.65	0.56	0.24	0.37	0.61	0.56	0.16	-0.16	-0.23	1.00
-------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	------

Наступним кроком є аналіз статистичної значущості та релевантності ваг індикаторів. Відмітимо, що тут під вагами розуміється результат регресії кожної конструкції, що вимірюється, та асоційованих із нею індикаторів. При цьому, для оцінки значущості ваг в межах моделі PLS-SEM передбачається використання процедури початкового завантаження (bootstrapping). В результаті необхідно порівняти значення t -статистики з критичним значенням зі стандартного нормального розподілу (при 5% рівні значущості складає 1,96); проаналізувати довірчі інтервали та навантаження ваг індикатора, що має бути більшим 0,5. Узагальнені результати наведемо в таблиці 3.5. Жирним шрифтом виділено індикатори, які задовольняють критичні рівні значущості.

Таблиця 3.5 – Аналіз статистичної значущості та релевантності ваг індикаторів моделей, що вимірюються

	Original Est.	Indicator loadings	Bootstrap Mean	Bootstrap SD	T Stat.	2.5% CI	97.5% CI
x_1 -> Digitalization	0.454	0.799	0.490	0.236	1.976	0.060	0.914
x_2 -> Digitalization	0.350	0.608	0.387	0.240	1.579	-0.109	0.830
x_3 -> Digitalization	0.205	0.393	0.160	0.229	0.846	-0.279	0.589
x_4 -> Digitalization	-0.354	0.527	-0.391	0.241	-1.494	-0.947	0.020
x_5 -> Digitalization	0.599	0.883	0.521	0.219	2.634	0.061	0.894
z_1 -> EdMarket	0.501	0.826	0.438	0.101	5.013	0.192	0.592
z_2 -> EdMarket	0.070	0.220	0.106	0.147	0.796	-0.225	0.342
z_4 -> EdMarket	0.119	-0.054	0.005	0.157	0.128	-0.279	0.311
z_5 -> EdMarket	-0.228	-0.387	-0.194	0.129	-1.712	-0.391	0.102
z_6 -> EdMarket	0.548	0.883	0.525	0.316	5.674	0.360	0.619

Як бачимо, факторні навантаження лише підтверджують обрані індикатори на основі показників t -статистики та довірчих інтервалів. Результати свідчать, що статистично значимими та релевантними можна вважати такі індикатори: x_1 – рівень доступу до Інтернету серед домогосподарств, x_5 – зайняті ІТ спеціалісти, z_1 – державні витрати на освіту, z_6 – частка населення з вищою освітою.

Тепер можна перейти до другого етапу аналізу отриманих результатів та оцінювання їх адекватності – оцінювання структурної моделі – що в певному сенсі подібне до оцінювання моделі вимірювання, проте має свою специфіку. Основними складовими такого оцінювання є:

- вивчення потенційних проблем колінеарності в структурній моделі; –
- оцінювання значимості та важливості відносин в структурній моделі; –
- оцінювання пояснювальної сили моделі.

Враховуючи, що наша модель PLS-SEM є достатньо простою, бо в основі структурної моделі лежить лише дві латентні змінні – процеси цифровізації (Digitalization) та ринок освітніх послуг (EdMarket) – питання колінеарності та суміжних проблем не є нагальним, та не досліджувалося.

Аналогічно до вимог оцінювання статистичної значимості та важливості індикаторів в моделях вимірювання вимірюються і структурні моделі. Для нас важливо оцінити чи відповідає значення *t*-статистики критичним значенням та чи задовільний довірчий інтервал. Деталі наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Аналіз статистичної значущості та релевантності ваг структурної моделі

	Original Est.	Bootstrap Mean	Bootstrap SD	T Stat.	2.5% CI	97.5% CI
Digitalization -> EdMarket	0.893	0.918	0.207	4.310	0.872	0.987

Отримані значення свідчать про статистичну значимість та важливість структурної моделі оцінювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації. Тобто, при зміні в процесах діджиталізації на 1 одиницю, стан ринку освітніх послуг збільшиться на 0.893 одиниць.

Для виявлення пояснювальної сили моделі необхідно проаналізувати коефіцієнти шляху та коефіцієнт детермінації, а також розмір ефекту конструкції. Результати наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Перевірка основних показників пояснювальної та прогностичної сили структурної моделі

1. Коефіцієнти шляхів моделі			
	EdMarket		
R ²	0.797	AdjR ²	0.789
Digitalization	0.888		
	2. Коефіцієнт розміру ефекту (f ²)		
	Digitalization	EdMarket	
Digitalization	0.000	3.922	
EdMarket	0.000	0.000	

Отримане значення коефіцієнту детермінації складає 0,789 і є значним, тобто 78,9% варіації ринку освітніх послуг обумовлена змінами внаслідок процесів цифровізації. Розмір ефекту f² свідчить, що процеси цифровізації спричиняють значний ефект на ринок освітніх послуг, при цьому, оберненого ефекту не спостерігається.

На основі цього, фінальна діаграма шляхів для досліджуваної нам системи структурних рівнянь матиме наступний вигляд (рис. 3.1). Стрілочки з пунктиром свідчать про обернений напрям зв'язку, пряма лінія – прямий.

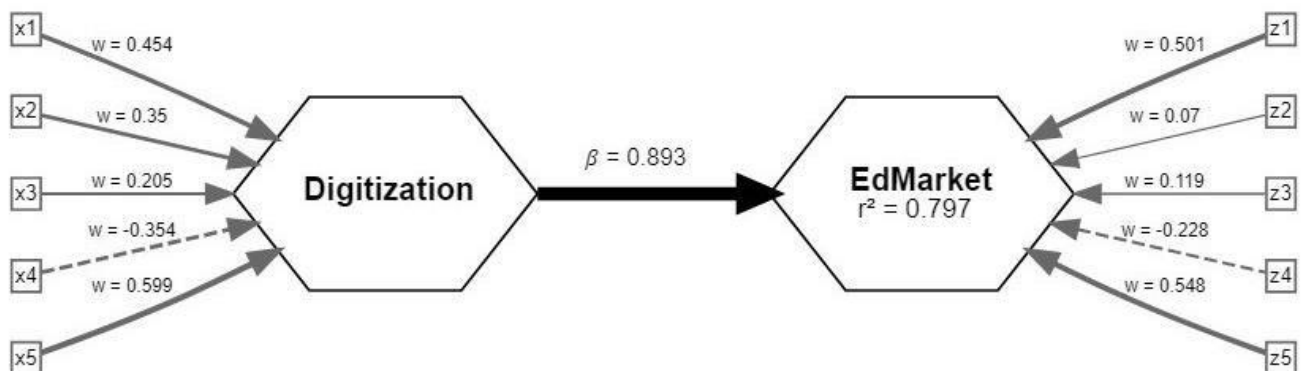


Рисунок 3.1 – Фінальна діаграма шляху в рамках PLS-SEM, що вимірює залежність ринку освітніх послуг і процесів цифровізації

Як бачимо, дана діаграма, що побудована в Rstudio, відповідає діаграмі шляхів на рисунку 2.5. Увесь процес роботи в програмному комплексі RStudio, що включає написання R-скриптів і отримання результатів їх роботи, наведено в Додатках Г та Д.

На основі проведеного дослідження слід відмітити, що процеси цифровізації, зумовлені в основному рівнем доступу до Інтернету серед домогосподарств та зайнятими ІТ спеціалістами, має адекватний статистично значимий вплив на розвиток ринку освітніх послуг, зокрема на його фінансування та частку населення з вищою освітою.

3.2 Розробка рекомендацій за результатами проведених розрахунків

В ході даної роботи змодельовано та підтверджено існування статистично значимих та адекватних зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації на прикладі 27 європейських країн. При цьому, відібрані країни характеризувалися різним рівнем розвитку як в контексті цифровізації, так і розвитку ринку освітніх послуг. Враховуючи умовно усереднений результат відібраного масиву та євроінтеграційний вектор України, отримані напрацювання можуть використовуватися нашою державою та місцевими органами влади задля гармонізації процесів цифровізації економіки та реформування ринку освітніх послуг.

При цьому, цифрові трансформації визнано одними із головних векторів розвитку економіки України в «Плані відновлення» на міжнародній конференції з питань відновлення України (URC 2022) в м. Лугано, Швейцарії. Саме цифровізація державних послуг, що мають місце в усіх сферах господарювання, мають сприяти ефективному та прискореному відновленню країни на національному рівні.

Стимулювання процесів цифровізації може здійснюватися різними шляхами, проте поширення рівня доступу до Інтернету та стимулювання зайнятості в ІТ-сфері мають бути пріоритетними. У свою чергу, це вплине на державні витрати на освіту, та частку населення з вищою освітою. Тут слід відмітити, що дані явища знаходяться у тісному взаємозв'язку, адже саме система освіти, хоч у формальному, хоч і неформальному вигляді, відповідає за формування інформаційної та цифрової грамотності, необхідної для користування Інтернетом та іншими цифровими послугами, а також формує кваліфіковані кадри у сфері ІТ.

Підсумовуючи дане дослідження слід відмітити, що суспільство знаходиться на етапі становлення нового типу економічних відносин – постіндустріальної економіки, яка неможлива без цифровізації всіх сфер та напрямів діяльності. Пандемія COVID19 та нагальна війна в Україні через вторгнення росії лише довели, що без налагодження діяльності в режимі онлайн, переходу на віртуальний тип відносин, неможливо досягти будь-якого розвитку та відновлення в країні.

ВИСНОВКИ

В даній роботі поставлено за мету розробити методику структурного моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації. Задля цього сформовано масив вхідних даних на основі відкритої інформаційної бази даних Євростат, на якій було відібрано 27 європейських країн для подальшого аналізу. За часовий період обрано 2020 рік (один показник як виключення взято за 2019 рік), що зумовлено наявністю співставних даних. Процеси цифровізації оцінено за допомогою

показників рівня доступу до Інтернету серед домогосподарств та підприємств, продажі за допомогою електронної комерції, наявність веб-сайтів у підприємств, частка зайнятості IT спеціалістів, е-урядова діяльність, тощо. Стан ринку освітніх послуг в країні оцінено за допомогою показників державних річних витрат на освіту, тривалості обов'язкової освіти, загальної кількості учнів та студентів серед населення, співвідношення учнів/студентів та вчителів/викладачів у класах, а також частки населення з вищою освітою. Всі розрахунки в межах даного дослідження проводилися в програмному комплексі RStudio.

Порівняння різних методів виявлення зв'язків між окремими явищами дозволило обрати за основу метод моделювання структурних рівнянь часткових найменших квадратів або моделювання шляхів (PLS-SEM). На його основі побудовано діаграму шляхів, що складалася із латентних та явних змінних та відповідно з структурної та моделей вимірювання.

Аналіз результатів побудованих моделей вимірювання свідчить про їх значимість, адже спостерігається наявність конвергентної валідності в моделі, в цілому задовільні коефіцієнти рівня надійності, мультиколінеарність була усунена шляхом виключення з моделі індикаторів е-урядова діяльність фізичних осіб через веб-сайти та частка учнів та студентів серед населення. Аналіз статистичної значущості та релевантності ваг індикаторів підтверджений для наступних показників: рівень доступу до Інтернету серед домогосподарств, зайняті IT спеціалісти, державні витрати на освіту, частка населення з вищою освітою.

Аналіз результатів побудованих структурних моделей також підтверджує статистичну значимість та важливість структурної моделі оцінки зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації з високими коефіцієнтами шляху та детермінації.

Проведені розрахунки системи структурних рівнянь зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації дозволяють сформулювати певні рекомендації для уряду України та місцевих органів влади. Зокрема, це стосується гармонізації процесів

цифровізації економіки та реформування ринку освітніх послуг, адже цифрові трансформації визнано одними із головних векторів розвитку економіки України на майбутній післявоєнний період. Подальше поширення доступу до мережі Інтернет та розвиток ІТ сфери мають бути серед пріоритетних у розвитку цифровізації в країні, що матиме позитивні результати і на ринку освітніх послуг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bond M., Marín V., Dolch C., Bedenlier S., Zawacki-Richter O. Digital transformation in German higher education: student and teacher perceptions and usage of digital media. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2018. №15(1). Pp. 1-20. doi: 10.1186/S41239-018-0130-1.
2. Chin W. W., Cheah J.-H., Liu Y., Ting H., Lim X.-J., & Cham T. H. Demystifying the role of causal-predictive modeling using partial least squares structural equation modeling in information systems research. *Industrial Management & Data Systems*. 2020. № 120(12),. pp. 2161–2209.
3. Class Central. ANALYSIS By The Numbers: MOOCs in 2021. URL: <https://www.classcentral.com/report/mooc-stats-2021/> (дата звернення 15.10.2022).
4. Dash G., Paul J. CB-SEM vs PLS-SEM methods for research in social sciences and technology forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*. 2021. №173. 121092. 10.1016/j.techfore.2021.121092.
5. Djakona A., Kholiavko N., Dubyna M., Zhavoronok A., Fedyshyn M. Educational dominant of the information economy development: a case of Latvia for Ukraine. *Economic Annals-XXI*. 2021. №192(7-8(2)). pp 108-124.
6. European Commission. 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade Brussels, 9.3.2021 URL: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0118> (дата звернення 25.10.2022).
7. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI). 2022. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi> (дата звернення 05.10.2022).

8. European Commission. Digital Education Action Plan 2021-2027. Resetting education and training for the digital age. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/ALL/?uri=CELEX:52020DC0624> (дата звернення 21.10.2022).
9. Eurostat: Data Browser. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/popul?lang=en&subtheme=educ.educ_uoe_fin&display=list&sort=category (дата звернення 05.11.2022).
10. García-Morales V.J., Garrido-Moreno A., Martín-Rojas R. The Transformation of Higher Education After the COVID Disruption: Emerging Challenges in an Online Learning Scenario. *Front Psychol.* 2021 12, 616059.. doi: 10.3389/fpsyg.2021.616059.
11. Govindarajan V., Srivastava, A. What the Shift to Virtual Learning Could Mean for the Future of Higher Education. *Harvard Business Review.* 2020. URL: <https://hbr.org/2020/03/what-the-shift-to-virtual-learning-could-mean-for-the-future-of-higher-ed> (дата звернення 12.10.2022).
12. Haenlein, M., & Kaplan, A. M. A beginner's guide to partial least squares analysis. *Understanding Statistics.* 2004. №3(4). pp. 283–297.
13. Hair J. F., Hult T., Ringle C. M., & Sarstedt M. A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage, 2022.
14. Hair J., Matthews L., Matthews R., Sarstedt M. PLS-SEM or CB-SEM: updated guidelines on which method to use. *International Journal of Multivariate Data Analysis.* 2017. №1:2. pp. 107-123
15. Hair J.F., Hult G.T.M., Ringle C.M., Sarstedt M., Danks N.P., Ray S. An Introduction to Structural Equation Modeling. In: *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R. Classroom Companion: Business.* Springer, Cham, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7_1
16. Hanafiah M.H. Formative Vs. Reflective Measurement Model: Guidelines for Structural Equation Modeling Research. *International Journal of Analysis and Applications.* 2020. №18. Pp. 876-889.

17. Ihaka R., Gentleman R. R: a language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics. 1996. №5. Pp. 299–314
18. Kline R. Principles and Practice of Structural Equation Modeling. N.-Y. : The Guilford Press. 2010. 427 p.
19. Kornelakis A., Petrakaki D. Embedding employability skills in UK higher education: Between digitalization and marketization. Industry and Higher Education. 2020. №34(5). Pp. 290–297. <https://doi.org/10.1177/0950422220902978>.
20. Kotarba M. Measuring digitalization: Key metrics. Foundations of Management. 2017. Vol. 9, Iss. 1. pp. 123-138.
21. Krotov V. A Quick Introduction to R and RStudio. Technical Report. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/321111041_A_Quick_Introduction_to_R_and_R_Studio. (дата звернення: 22.10.2022).
22. Mihai M., Țițan E., Manea D., Nechifor A. & Cotenescu A. Digital innovation in education in Romania quantitative approach. Proceedings of the International Conference on Applied Statistics. 2020. №2(1). pp. 154-165. <https://doi.org/10.2478/icas-2021-0014>.
23. Mubarak F., Suomi R., Kantola S.-P. Confirming the links between socioeconomic variables and digitalization worldwide: the unsettled debate on digital divide. Journal of Information, Communication and Ethics in Society. 2020. №18 (2020). Pp. 415430. 10.1108/JICES-02-2019-0021.
24. Network Readiness Index 2021. URL: <https://networkreadinessindex.org/> (дата звернення 07.11.2022).
25. Petrova P., Kostadinova I. Higher education in the era of digital transformation. 2017. 10.21125/edulearn.2017.1436.

26. Sarstedt, M., Hair, J. F., Cheah, J. H., Becker, J. M., & Ringle, C. M. How to specify, estimate, and validate higher-order constructs in PLS-SEM. *Australasian Marketing Journal*. 2019. №27(3). Pp. 197–211.
27. Sima V., Gheorghe I.G., Subić J., Nancu D. Influences of the Industry 4.0 Revolution on the Human Capital Development and Consumer Behavior: A Systematic Review. *Sustainability*. 2020. №12(10):4035. <https://doi.org/10.3390/su12104035>.
28. Tapscott D. *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*. New York; Monreal: McGraw Hill, 1995. 432 p.
29. The ICT Development Index. 2017. URL: <https://www.itu.int/en/ITUDE/Statistics/Pages/IDI/default.aspx> (дата звернення 07.11.2022).
30. UNESCO, UNICEF, the World Bank and OECD. *What's Next? Lessons on Education Recovery: Findings from a Survey of Ministries of Education amid the COVID-19 Pandemic*. Paris, New York, Washington D.C.: UNESCO, UNICEF, World Bank, 2021.
31. Vasilescu M.D., Serban A.C., Dimian G.C., Aceleanu M.I., Picatoste X. (2020) Digital divide, skills and perceptions on digitalisation in the European Union—Towards a smart labour market. *PLOS ONE*. 2020. №15(4), e0232032. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232032>.
32. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*. 2019. Vol. 28, Issue 2. P. 118-144.
33. Vuorikari R, Punie Y, Carretero Gomez S and Van Den Brande G. *DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens. Update Phase 1: the Conceptual Reference Model*. EUR 27948 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2016.
34. Антохов А. А. Ринок освітніх послуг у світлі класичного та новітніх підходів до дослідження. *Регіональна економіка*. 2009. №1(51). С. 251-259.

35. Апалькова В. В. Концепція розвитку цифрової економіки в Євросоюзі та перспективи України. Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Менеджмент інновацій. 2015. № 4. С. 9-18.

36. Арешонков В. Ю. Цифровізація вищої освіти: виклики та відповіді. Вісник НАПН України. 2020. № 2 (2). С. 1-6.

37. Ахновська І. О. Сучасні тенденції розвитку освітніх послуг на ринку сімейної освіти України. Теоретичні та прикладні питання економіки. 2018. Вип. 1. С. 131-139.

38. Белл Д. Прихід постіндустріального суспільства. Сучасна зарубіжна соціальна філософія. Київ : Либідь, 1996. 251 с.

39. Бородкіна І., Бородкін Г. Модель цифрової компетенції студентів. Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2018. Вип. 1. С. 27–41.

40. Іванов С. В., Вишневський О. С. Електронні платформи як інструмент модернізації економіки України. Вісник економічної науки України. 2017. № 1. С. 47-

53.

41. Каленюк І.С., Цимбал Л.І. Особливості регулювання ринку освітніх послуг : монографія. Черніг. держ. ін-т економіки і упр. Чернігів: ЧДІЕіУ, 2011. 183 с.

42. Карплюк С.О. Особливості цифровізації освітнього процесу у вищій школі. Інформаційно-цифровий освітній простір України: трансформаційні процеси і перспективи розвитку. Матеріали методологічного семінару НАПН України. 4 квітня 2019 р. / За ред. В.Г. Кременя, О.І. Ляшенка; укл. А.В. Яцишин, О.М. Соколюк. К, 2019. С. 188–197.

43. Козьменко О.В., Кузьменко О.В. Економіко-математичні методи та моделі (економетрика) : навчальний посібник. Суми : Університетська книга, 2014. 406 с.

44. Кухарська Л. В. Ринок освітніх послуг в Україні: реалії та перспективи. Соціально-правові студії. 2020. Випуск 3 (9). С. 184–191.

45. Кучерак І. В. Цифровізація та її вплив на освітній простір у контексті формування ключових компетентностей. Інноваційна педагогіка. 2020. Вип. 22. Т. 2. С. 91–94. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2020/22-2.20>.

46. Лондар С. Л., Шаповалова О. О., Пронь Н. Б. Ринок освітніх послуг в Україні: конкурентні переваги та сучасні виклики для іноземних студентів.

Управління освітою. 2020. №1(8). С. 5-22.

47. Лугінін О.Є. Економетрія: навч. пос. 2-е видання, перероб. та доп. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 278 с.

48. Ляшенко В.І. Цифрова модернізація економіки України як можливість проривного розвитку: монографія / В.І. Ляшенко, О.С. Вишневський; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. К.: 2018. 252 с.

49. Майборода Р.Є., Сугакова О.В. Аналіз даних за допомогою пакета R. Навчальний посібник. Київ, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, 2015 65 с.

50. Майборода Т. М. Особливості регулювання освітньої сфери в системі національного господарства. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія : Економічні науки. 2019. № 2. С. 30–40.

51. Манойленко Н. В., Кононенко С. О., Крамаренко Н. М. (2021). Цифровізація освітнього процесу в умовах дистанційного навчання в закладах вищої освіти. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2021. №201. с.108-112.

52. Матюк Т. В. Соціальний характер освітніх послуг та економічна політика держави. Економічний вісник Національного гірничого університету. 2015. № 3. С. 61-67.

53. Мельникова О., Олійник Ю. Особливості функціонування ринку онлайн-освіти у світі та в Україні. Економічний дискурс. 2020. № 3. С. 16-27.

54. Наконечний С.І., Терещенко Т. О., Романюк Т. П. Економетрія: підручник : вид. 2-ге, доповн. та перероб. Київ : КНЕУ, 2000. 296 с.

55. Остаповський І., Остаповська Т. Рейтинг закладів вищої освіти як важлива складова їхнього іміджу. Педагогічний часопис Волині. №1(8). 2018. С. 29-34.

56. Павленко О.В. Розвиток ринку освітніх послуг ВНЗ: актуальні тренди та прогнози. Стратегія економічного розвитку України: Збірник наукових праць. 2017.

№41. С. 89-98.

57. Пантелеєва Н.М. Цифрова економіка як ключовий тренд розвитку постіндустріального суспільства: монографія / за ред. Н.М. Пантелеєвої, С.Ю. Колодія, М.А. Ребрика. К.: ДВНЗ "Університет банківської справи", 2019. 299 с.

58. Поліванов В. Є., Дмитрієва Н. О. Економічна сутність та генезис світового електронного бізнесу. Актуальні проблеми міжнародних відносин. 2018. № 134. С. 111-129.

59. Присвітла О. В. Домінанти розвитку вищої освіти в умовах глобального ринку освітніх послуг. дис. канд. екон. наук. Дніпропетровськ, 2016. 276 с.

60. Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 р. №

67-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80#Text>. (дата звернення:

22.10.2022).

61. Руденко М. В. Аналіз позицій України в глобальних індексах цифрової економіки. Економіка та держава. 2021. № 2. С. 11–18.

62. Руденко М.В. Цифровізація економіки: нові можливості та перспективи. Економіка та держава. 2018. № 11. С. 61–65.

63. Семенов А.Ю. Аналіз світових рейтингів оцінки формування та розвитку цифрової економіки та місце України в них. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. 2020. Вип. 43. С. 38–43.

64. Синяков А.В. Ринок освітніх послуг в Україні. Поняття та визначення. Стратегія розвитку України: фінансово-економічний та гуманітарний аспекти: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. К.: ДП «Інформаційноаналітичне агенство», 2018. С. 429-432.

65. Скок П. О. Сучасні тенденції розвитку ринку освітніх послуг. Державне

управління: удосконалення та розвиток. 2013. № 8. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Duur_2013_8_10. (дата звернення: 20.10.2022).

66. Соколова Н.Л. Цифрова культура чи культура у цифрову епоху. Міжнародний журнал досліджень культури. 2012. № 3. С. 6–10.

67. Український інститут майбутнього: офіційний сайт. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyucifrovoyu-ekonomikoju.html> (дата звернення 25.10.2025).

68. Фіщук В. Цифрова інфраструктура економічного зростання. Новое время. 2017. URL: [https://biz.nv.ua/ukr/experts/fichuk/tsifrova\\$infrastruktura\\$ekonomichnogo\\$ zrostannja\\$1408403.html](https://biz.nv.ua/ukr/experts/fichuk/tsifrova$infrastruktura$ekonomichnogo$ zrostannja$1408403.html) (дата звернення 12.10.2022)

69. Цимбал Л.І. Проблеми регулювання ринку освітніх послуг на сучасному етапі. Науковий вісник ЧДІЕУ. 2010. № 2 (6).С. 43–48.

70. Шевченко Д.О. Маркетингові стратегії ціноутворення у вузі (на досвіді відділу маркетингу та реклами РДГУ). Практичний маркетинг. 2002. № 68 (10). С. 7–

14.

ДОДАТКИ ДОДАТОК А

SUMMARY

Sydorenko A.A. Structural modeling of the links of the educational services market and digitization processes. – Masters-level Qualification Thesis. Sumy State University, Sumy, 2022

The master's thesis analyzes the essence of digitization processes and their impact on the transformation of the educational services market. The requirements for the system of structural equations of the links of the market of educational services and digitalization processes have been formulated. The obtained results and the verification of the adequacy of the built model made it possible to develop recommendations for state and local authorities to harmonize the processes of digitalization of the economy and reform the market of educational services.

Keywords: structural modeling, path diagram, educational services market, digitization process.

АНОТАЦІЯ

Сидоренко А.А. Структурне моделювання зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації. – Кваліфікаційна магістерська робота. Сумський державний університет, Суми, 2022 р.

У роботі проаналізовано сутність процесів цифровізації та їх вплив на трансформацію ринку освітніх послуг. Сформовано вимоги до системи структурних рівнянь зв'язків ринку освітніх послуг і процесів цифровізації. Отримані результати та перевірка адекватності побудованої моделі дозволили розробити рекомендації для органів державної та місцевої влади задля гармонізації процесів цифровізації економіки та реформування ринку освітніх послуг

Ключові слова: структурне моделювання, діаграма шляху, ринок освітніх послуг, процес цифровізації.

ДОДАТОК

Б

Таблиця Б.1 – Основні вектори розвитку процесів цифровізації в країнах ЄС відповідно до Цифрового компасу Європи

Освіта та навички	Стратегічні напрями досягнення до 2030 року
Безпека та стала цифрова інфраструктура	<p>Базові цифрові навички: мінімум 80% серед дорослого населення.</p> <p>ІТ спеціалісти: 20 мільйонів зайнятих, зберігаючи гендерну рівність</p>
Захищені та стійкі цифрові інфраструктури	<p>Зв'язок: всі домогосподарства ЄС повинні мати гігабітний зв'язок, а всі населені пункти повинні бути охоплені 5G.</p> <p>Виробництво передових та стійких напівпровідників: 20% світового виробництва.</p> <p>Дані – Edge & Cloud: 10 000 кліматично нейтральних високозахищених крайових вузлів.</p> <p>Обчислювальна техніка: квантовий комп'ютер.</p>
Цифрова трансформація бізнесу	<p>Розвиток технологій: 75% компаній ЄС використовують хмарні технології, штучний інтелект, великі дані</p> <p>Новатори: розширення масштабів діяльності та фінансування, щоб подвоїти Єдинорогів ЄС</p> <p>Пізні користувачі: понад 90% МСП досягають принаймні базового рівня цифрової інтенсивності</p>
Цифровізація державних послуг	<p>Основні державні послуги: 100% онлайн</p> <p>e-Health: 100% громадян мають доступ до медичної документації</p> <p>Цифрова ідентифікація: 80% громадян використовують цифрову ідентифікацію</p>

Джерело: [6].

В

ДОДАТОК

Таблиця В.1 – Основні індекси, що вимірюють процеси цифровізації

Назва індексу	Часовий проміжок аналізу / Географія поширення	Основні складові
Індекс цифрової економіки та суспільства (DESI) [7]	Європа	<ul style="list-style-type: none"> – розвиток людського капіталу (цифрові навички), – рівень зв'язку (фіксований широкопasmовий та мобільний зв'язок), – рівень інтеграції цифрових технологій (в діяльність підприємств) – рівень розвитку цифрових публічних послуг
Індекс розвитку інформаційнокомунікаційних технологій (ICT Development Index – IDI) [29]	2009-2017 / Увесь світ	<ul style="list-style-type: none"> – доступ до ІКТ, що вимірюється кількістю абонентів фіксованого телефонного та мобільного стільникового зв'язку на 100 жителів, пропускною спроможністю міжнародного Інтернету на користувача, % домогосподарств з комп'ютером і % домогосподарств з доступом до Інтернету; – використання ІКТ, що вимірюється % осіб, які користуються Інтернетом, кількістю підписок на фіксований широкопasmовий доступ до Інтернету на 100 жителів і активних підписок на мобільний широкопasmовий зв'язок на 100 жителів; – навички ІКТ приблизно оцінюються середніми роками навчання, валовим коефіцієнтом охоплення середньою школою та загальним коефіцієнтом охоплення вищою освітою.

ДОДАТОК

<p>Індекс мережевої готовності (Networked Readiness Index – NRI) [24]</p>	<p>2016- сьогодні / Увесь світ</p>	<p>– технології: їх доступність (рівень розвитку ІКТ у країнах, комунікаційна інфраструктура), вміст (тип цифрових технологій, вироблених у країнах, і вміст/програми, які можна розгорнути на місцевому рівні), технології майбутнього (ступінь готовності країн до майбутнього мережевої економіки та нових технологічних тенденцій, таких як AI та Інтернет речей (IoT)).</p> <p>– люди, підприємства та уряд: рівень використання технологій та навичок для участі в мережевій економіці.</p> <p>– управління: рівень довіри населення в контексті мережевої економіки; ступінь, до якого уряд сприяє участі в мережевій економіці шляхом регулювання; цифровий розрив у країнах, де управління може вирішити такі проблеми, як нерівність за статтю, інвалідністю та соціально-економічним статусом. – вплив: економічний та соціальний вплив участі в мережевій економіці, вплив участі в мережевій економіці в контексті ЦСР.</p>
---	--	--

Г

ДОДАТОК

```

1 library(semInR)
2 #Load the data
3 DE_data <- read.csv(file = "dig.csv", header = TRUE, sep = ",")
4 #To inspect data + descriptive statistics
5 head(DE_data)
6 install.packages("psych")
7 library(psych)
8 describe(DE_data)
9 library(ggplot2)
10 ggplot(DE_data, aes(x1)) +
11   geom_histogram()
12 ggplot(DE_data, aes(z1)) +
13   geom_histogram()
14
15 # Create measurement model
16 simple_mm <- constructs(
17   composite("Digitization", multi_items("x", 1:6), weights = mode_B),
18   composite("EdMarket", multi_items("z", 1:6), weights = mode_B))
19 # Create structural model
20 simple_sm <- relationships(
21   paths(from = c("Digitization"), to = c("EdMarket")))
22 # Estimate the model
23 Dig_simple_model <- estimate_pls(data = DE_data,
24                                 measurement_model = simple_mm,
25                                 structural_model = simple_sm,
26                                 inner_weights = path_weighting,
27                                 missing = mean_replacement,
28                                 missing_value = "-99")
29 #visualisation
30 plot(Dig_simple_model)
31 # summarize the model results
32 summary_simple_Dig <- summary(Dig_simple_model)
33 summary_simple_Dig
34 plot(summary_simple_Dig$reliability)
35
36 # collinearity analysis
37 summary_simple_Dig$validity$viv_items
38 #Correlation analysis
39 res <- cor(DE_data)
40 round(res, 2)
41 install.packages("corrplot")
42 library(corrplot)
43 corrplot(res, type = "upper", order = "hclust",
44          tl.col = "black", tl.srt = 45)
45 # Iterations to converge
46 summary_simple_Dig$iterations
47

```

```

48 #Load the 2data
49 DE2_data <- read.csv(file = "dig1.csv", header = TRUE, sep = ",")
50 #To inspect data
51 head(DE2_data)
52 # Create measurement model
53 simple_mm <- constructs(
54   composite("Digitization", multi_items("x", 1:5), weights = mode_B),
55   composite("EdMarket", multi_items("z", 1:5), weights = mode_B))
56 # Create structural model
57 simple_sm <- relationships(
58   paths(from = c("Digitization"), to = c("EdMarket")))
59 # Estimate the model
60 Dig_simple_model <- estimate_pls(data = DE2_data,
61                                 measurement_model = simple_mm,
62                                 structural_model = simple_sm,
63                                 inner_weights = path_weighting,
64                                 missing = mean_replacement,
65                                 missing_value = "-99")
66 #Visualisation
67 plot(Dig_simple_model)
68 # Summarize the model results
69 summary_simple_Dig <- summary(Dig_simple_model)
70 summary_simple_Dig
71 plot(summary_simple_Dig$reliability)
72
73 # Collinearity analysis
74 summary_simple_Dig$validity$vif_items
75 #Correlation analysis
76 res <- cor(DE_data)
77 round(res, 2)
78 # Iterations to converge
79 summary_simple_Dig$iterations
80
81 # Bootstrap the model
82 boot_simple_Dig <- bootstrap_model(seminr_model = Dig_simple_model,
83                                   nboot = 1000,
84                                   cores = NULL,
85                                   seed = 123)
86 # Summarize the results of the bootstrap
87 # alpha sets the specified level for significance, i.e. 0.05
88 sum_boot_Dig <- summary(boot_simple_Dig, alpha = 0.05)
89 # Inspect the bootstrapping results for indicator weights
90 sum_boot_Dig$bootstrapped_weights
91 # Inspect the bootstrapped indicator loadings
92 sum_boot_Dig$bootstrapped_loadings
93
94 # Inspect the structural model collinearity VIF
95 summary_simple_Dig$vif_antecedents
96 # Inspect the structural paths
97 sum_boot_Dig$bootstrapped_paths
98 # Inspect the total effects
99 sum_boot_Dig$bootstrapped_total_paths
100 # Inspect the model RSquares
101 summary_simple_Dig$paths
102 # Inspect the effect sizes
103 summary_simple_Dig$fSquare

```

Рисунок Г.1 – Скриншот з програмного комплексу RStudio, що включає R-скрипт ДОДАТОК Д

```

Console Terminal × Background Jobs ×
R 4.2.1 · ~/RStudio/projects/dig-ed/
> library(semnr)
> #Load the data
> DE_data <- read.csv(file = "dig.csv", header = TRUE, sep = ",")
> #To inspect data + descriptive statistics
> head(DE_data)
  x1  x2  x3  x4  x5  x6  z1  z2  z3  z4  z5  z6
1 95  99  23  91  4.5  7.3  4.71 13 19.5 10.1 16.2 31.8
2 92 100  31  87  5.6  7.0  6.25 12 26.2 10.4 19.5 39.7
3 84  96  10  52  3.5  2.7  4.20 11 16.8 11.4 11.9 25.9
4 86  96  30  68  3.6  4.5  3.92  8 18.6  9.3 13.0 21.8
5 93  98  17  69  3.9  5.7  5.24 10 21.7 10.4 26.9 41.9
6 89  96  25  83  4.6  6.8  4.50  9 19.8 13.5 16.2 23.4
> library(psych)
> describe(DE_data)
  vars  n  mean  sd median trimmed  mad  min  max range  skew kurtosis  se
x1     1  27  91.78  4.36  92.00  91.91  4.45 82.00  99.00 17.00 -0.18   -0.47 0.84
x2     2  27  97.89  2.17  98.00  98.17  1.48 91.00 100.00  9.00 -1.29    1.56 0.42
x3     3  27  21.33  7.80  20.00  21.09  8.90  9.00  38.00 29.00  0.26   -0.99 1.50
x4     4  27  76.15 11.95  77.00  76.74 11.86 51.00  96.00 45.00 -0.35   -0.76 2.30
x5     5  27  4.76  1.32  4.50  4.67  1.04  2.60  8.00  5.40  0.77   -0.21 0.25
x6     6  27  64.07 20.99  69.00  65.39 19.27 15.00  92.00 77.00 -0.54   -0.65 4.04
z1     7  27  4.79  1.01  4.61  4.71  0.90  3.16  7.09  3.93  0.84   -0.17 0.19
z2     8  27 10.74  1.53 10.00 10.78  1.48  8.00 13.00  5.00  0.05   -1.10 0.30
z3     9  27 20.84  3.07 20.00 20.70  2.52 16.50 27.10 10.60  0.60   -0.91 0.59
z4    10  27 11.59  2.02 11.20 11.55  1.63  7.10 16.50  9.40  0.31    0.01 0.39
z5    11  27 14.64  4.57 14.00 14.50  3.26  4.50 26.90 22.40  0.43    0.51 0.88
z6    12  27 31.67  7.71 34.20 31.93  8.30 16.40 44.50 28.10 -0.29   -1.10 1.48
> library(ggplot2)
> ggplot(DE_data, aes(x1)) +
+   geom_histogram()
`stat_bin()` using `bins = 30`. Pick better value with `binwidth`.
> ggplot(DE_data, aes(z1)) +
+   geom_histogram()
`stat_bin()` using `bins = 30`. Pick better value with `binwidth`.
> # Create measurement model
> simple_mm <- constructs(
+   composite("Digitization", multi_items("x", 1:6), weights = mode_B),
+   composite("EdMarket", multi_items("z", 1:6), weights = mode_B))
> # Create structural model
> simple_sm <- relationships(
+   paths(from = c("Digitization"), to = c("EdMarket")))
> # Estimate the model
> Dig_simple_model <- estimate_pls(data = DE_data,
+   measurement_model = simple_mm,
+   structural_model = simple_sm,
+   inner_weights = path_weighting,
+   missing = mean_replacement,
+   missing_value = "-99")
Generating the semnr model
All 27 observations are valid.
> #Visualisation
> plot(Dig_simple_model)
> # summarize the model results
> summary_simple_Dig <- summary(Dig_simple_model)
> summary_simple_Dig

```

Results from package seminr (2.3.1)

Path Coefficients:

	EdMarket
R ²	0.851
AdjR ²	0.845
Digitization	0.923

Reliability:

	alpha	rhoC	AVE	rhoA
Digitization	0.847	0.846	0.497	1.000
EdMarket	0.536	0.606	0.390	1.000

Alpha, rhoC, and rhoA should exceed 0.7 while AVE should exceed 0.5

```
> plot(summary_simple_Dig$reliability)
> # collinearity analysis
> summary_simple_Dig$validity$vif_items
```

Component 1 :
[1] 2.958

Component 2 :
[1] 1.904

Component 3 :
[1] 1.717

Component 4 :
[1] 2.597

Component 5 :
[1] 2.814

Component 6 :
[1] 4.365

Component 7 :
[1] 5.775

Component 8 :
[1] 1.067

Component 9 :
[1] 9.094

Component 10 :
[1] 1.701

Component 11 :
[1] 1.164

Component 12 :
[1] 2.71

```
> #Correlation analysis
> res <- cor(DE_data)
> round(res, 2)
```

```

      x1    x2    x3    x4    x5    x6    z1    z2    z3    z4    z5    z6
x1  1.00  0.30  0.08  0.45  0.64  0.74  0.50  0.31  0.60  0.06 -0.31  0.65
x2  0.30  1.00  0.40  0.64  0.42  0.48  0.49  0.14  0.49 -0.08  0.09  0.56
x3  0.08  0.40  1.00  0.48  0.32  0.41  0.50 -0.30  0.48 -0.05 -0.02  0.24
x4  0.45  0.64  0.48  1.00  0.59  0.50  0.44  0.10  0.42  0.04 -0.16  0.37
x5  0.64  0.42  0.32  0.59  1.00  0.76  0.67  0.12  0.68  0.10 -0.46  0.61
x6  0.74  0.48  0.41  0.50  0.76  1.00  0.67  0.15  0.74  0.07 -0.34  0.75
z1  0.50  0.49  0.50  0.44  0.67  0.67  1.00  0.00  0.89  0.09 -0.08  0.56
z2  0.31  0.14 -0.30  0.10  0.12  0.15  0.00  1.00  0.04  0.08 -0.07  0.16
z3  0.60  0.49  0.48  0.42  0.68  0.74  0.89  0.04  1.00  0.28  0.01  0.65
z4  0.06 -0.08 -0.05  0.04  0.10  0.07  0.09  0.08  0.28  1.00  0.21 -0.16
z5 -0.31  0.09 -0.02 -0.16 -0.46 -0.34 -0.08 -0.07  0.01  0.21  1.00 -0.23
z6  0.65  0.56  0.24  0.37  0.61  0.75  0.56  0.16  0.65 -0.16 -0.23  1.00
> library(corrplot)
> corrplot(res, type = "upper", order = "hclust",
+         tl.col = "black", tl.srt = 45)
> # Iterations to converge
> summary_simple_Dig$iterations
[1] 45
> #Load the 2data
> DE2_data <- read.csv(file = "dig1.csv", header = TRUE, sep = ",")
> #To inspect data
> head(DE2_data)
  x1  x2 x3 x4  x5  z1 z2  z3  z4  z5
1 95  99 23 91 4.5 4.71 13 10.1 16.2 31.8
2 92 100 31 87 5.6 6.25 12 10.4 19.5 39.7
3 84  96 10 52 3.5 4.20 11 11.4 11.9 25.9
4 86  96 30 68 3.6 3.92  8  9.3 13.0 21.8
5 93  98 17 69 3.9 5.24 10 10.4 26.9 41.9
6 89  96 25 83 4.6 4.50  9 13.5 16.2 23.4
> # Create measurement model
> simple_mm <- constructs(
+   composite("Digitization", multi_items("x", 1:5), weights = mode_B),
+   composite("EdMarket", multi_items("z", 1:5), weights = mode_B))
> # Create structural model
> simple_sm <- relationships(
+   paths(from = c("Digitization"), to = c("EdMarket")))
> # Estimate the model
> Dig_simple_model <- estimate_pls(data = DE2_data,
+                                 measurement_model = simple_mm,
+                                 structural_model = simple_sm,
+                                 inner_weights = path_weighting,
+                                 missing = mean_replacement,
+                                 missing_value = "-99")
Generating the seminr model
All 27 observations are valid.
> #Visualisation
> plot(Dig_simple_model)
> # summarize the model results
> summary_simple_Dig <- summary(Dig_simple_model)
> summary_simple_Dig

```

Results from package seminr (2.3.1)

Path Coefficients:

	EdMarket
R ²	0.797
AdjR ²	0.789
Digitization	0.893

Reliability:

	alpha	rhoC	AVE	rhoA
Digitization	0.792	0.788	0.445	1.000
EdMarket	0.230	0.419	0.328	1.000

Alpha, rhoC, and rhoA should exceed 0.7 while AVE should exceed 0.5

```
> plot(summary_simple_Dig$reliability)
>
> # Collinearity analysis
> summary_simple_Dig$validity$vif_items
Component 1 :
[1] 1.816

Component 2 :
[1] 1.735

Component 3 :
[1] 1.411

Component 4 :
[1] 2.396

Component 5 :
[1] 2.145

Component 6 :
[1] 1.563

Component 7 :
[1] 1.059

Component 8 :
[1] 1.135

Component 9 :
[1] 1.092

Component 10 :
[1] 1.683
```

```

> #Correlation analysis
> res <- cor(DE_data)
> round(res, 2)
  x1    x2    x3    x4    x5    x6    z1    z2    z3    z4    z5    z6
x1  1.00  0.30  0.08  0.45  0.64  0.74  0.50  0.31  0.60  0.06 -0.31  0.65
x2  0.30  1.00  0.40  0.64  0.42  0.48  0.49  0.14  0.49 -0.08  0.09  0.56
x3  0.08  0.40  1.00  0.48  0.32  0.41  0.50 -0.30  0.48 -0.05 -0.02  0.24
x4  0.45  0.64  0.48  1.00  0.59  0.50  0.44  0.10  0.42  0.04 -0.16  0.37
x5  0.64  0.42  0.32  0.59  1.00  0.76  0.67  0.12  0.68  0.10 -0.46  0.61
x6  0.74  0.48  0.41  0.50  0.76  1.00  0.67  0.15  0.74  0.07 -0.34  0.75
z1  0.50  0.49  0.50  0.44  0.67  0.67  1.00  0.00  0.89  0.09 -0.08  0.56
z2  0.31  0.14 -0.30  0.10  0.12  0.15  0.00  1.00  0.04  0.08 -0.07  0.16
z3  0.60  0.49  0.48  0.42  0.68  0.74  0.89  0.04  1.00  0.28  0.01  0.65
z4  0.06 -0.08 -0.05  0.04  0.10  0.07  0.09  0.08  0.28  1.00  0.21 -0.16
z5 -0.31  0.09 -0.02 -0.16 -0.46 -0.34 -0.08 -0.07  0.01  0.21  1.00 -0.23
z6  0.65  0.56  0.24  0.37  0.61  0.75  0.56  0.16  0.65 -0.16 -0.23  1.00
> # Iterations to converge
> summary_simple_Dig$iterations
[1] 47
> # Bootstrap the model
> boot_simple_Dig <- bootstrap_model(seminr_model = Dig_simple_model,
+                                   nboot = 1000,
+                                   cores = NULL,
+                                   seed = 123)
Bootstrapping model using seminr...
SEMINR Model successfully bootstrapped
> # Summarize the results of the bootstrap
> # alpha sets the specified level for significance, i.e. 0.05
> sum_boot_Dig <- summary(boot_simple_Dig, alpha = 0.05)
> # Inspect the bootstrapping results for indicator weights
> sum_boot_Dig$bootstrapped_weights
      Original Est. Bootstrap Mean Bootstrap SD T Stat. 2.5% CI 97.5% CI
x1 -> Digitization      0.454      0.432      0.318  1.430 -0.265  0.957
x2 -> Digitization      0.350      0.362      0.282  1.240 -0.179  0.943
x3 -> Digitization      0.205      0.168      0.287  0.714 -0.422  0.670
x4 -> Digitization     -0.354     -0.360      0.288 -1.228 -0.969  0.112
x5 -> Digitization      0.599      0.538      0.289  2.073 -0.084  1.019
z1 -> EdMarket          0.501      0.464      0.307  1.631 -0.235  0.959
z2 -> EdMarket          0.070      0.049      0.167  0.423 -0.285  0.378
z3 -> EdMarket          0.119      0.094      0.196  0.608 -0.322  0.417
z4 -> EdMarket         -0.228     -0.157      0.274 -0.831 -0.592  0.520
z5 -> EdMarket          0.548      0.525      0.316  1.731 -0.152  1.077
> # Inspect the bootstrapped indicator loadings
> sum_boot_Dig$bootstrapped_loadings
      Original Est. Bootstrap Mean Bootstrap SD T Stat. 2.5% CI 97.5% CI
x1 -> Digitization      0.796      0.717      0.185  4.291  0.249  0.933
x2 -> Digitization      0.594      0.549      0.230  2.579 -0.021  0.883
x3 -> Digitization      0.403      0.346      0.279  1.446 -0.286  0.772
x4 -> Digitization      0.528      0.479      0.185  2.850  0.053  0.758
x5 -> Digitization      0.893      0.812      0.181  4.938  0.391  0.965
z1 -> EdMarket          0.838      0.747      0.203  4.124  0.215  0.968
z2 -> EdMarket          0.184      0.162      0.258  0.713 -0.383  0.616
z3 -> EdMarket          0.037      0.023      0.265  0.139 -0.482  0.548
z4 -> EdMarket         -0.374     -0.329      0.225 -1.665 -0.661  0.176
z5 -> EdMarket          0.872      0.799      0.177  4.924  0.390  0.973

```

```

> # Inspect the structural model collinearity VIF
> summary_simple_Dig$vif_antecedents
EdMarket :
Digitization
.

> # Inspect the structural paths
> sum_boot_Dig$bootstrapped_paths
              Original Est. Bootstrap Mean Bootstrap SD T Stat. 2.5% CI 97.5% CI
Digitization -> EdMarket      0.893      0.918      0.207  4.310  0.872  0.987
> # Inspect the total effects
> sum_boot_Dig$bootstrapped_total_paths
              Original Est. Bootstrap Mean Bootstrap SD T Stat. 2.5% CI 97.5% CI
Digitization -> EdMarket      0.893      0.918      0.207  4.310  0.872  0.987
> # Inspect the model RSquares
> summary_simple_Dig$paths
              EdMarket
R^2           0.797
AdjR^2        0.789
Digitization  0.893
> # Inspect the effect sizes
> summary_simple_Dig$fsquare
              Digitization EdMarket
Digitization  0.000      3.922
EdMarket      0.000      0.000
~ |

```

Рисунок Д.1 – Скриншот з програмного комплексу RStudio, що включає R-скрипт