

Л.О. Чаговець¹, С.В. Прокопович¹, С.М. Вознюк², В.В. Чаговець³

¹Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Україна

²Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна

³Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ БАЗИС МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ МЕТОДАМИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

У роботі розглянуто питання цифровізації та телекомунікаційного розвитку регіонів України. Запропоновано концептуальний базис оцінювання телекомунікаційного розвитку (ТКР) методами системного аналізу: статистичними методами формалізованого подання систем і процесів – багатовимірною аналізу та стохастичного моделювання. Розроблено моделі класифікації станів регіону за рівнем ТКР, марковські моделі з дискретними станами прогнозування рівня ТКР регіону.

Ключові слова: методи багатовимірною аналізу, системний аналіз, цифровізація, телекомунікаційний розвиток, регіональна система.

Постановка проблеми

Швидкість розгортання сучасних процесів цифрової трансформації суспільства, окремих територій, регіональних систем та країн посилюється впливом низки зовнішніх та внутрішніх чинників, яким притаманні стохастичний та динамічний характер дії. Явища останнього часу, викликані пандемією Covid-19, торкнулася усіх країн світу. За даними Міністерства фінансів на січень 2021 року в усьому світі захворіло понад 100 млн. осіб. Суттєві наслідки людських втрат та жорстоких карантинних заходів вимагають переосмислення можливого перебігу цифровізації виробничих та технологічних процесів виробництв у кожному регіоні, державі та в усьому світі. Це підтверджують нові хай-тек сегменти, які активно розгортаються у переважній більшості розвинутих країн. Створення актуальних цифрових рішень засобами телекомунікацій позбавляють регіони від значних проблем у сфері житлово-комунального господарства, соціального забезпечення, надзвичайних ситуацій та інших важливих галузей регіонального управління. У цих умовах перспективи розвитку телекомунікаційних технологій та відповідні моделі їх оцінки й аналізу, як базису цифрового розвитку регіонів, потребують особливого дослідження, що надає можливість виявити шляхи цифрового зростання та кроки подолання кризи регіональної ділової активності. Крім того, обґрунтування з точки зору системного підходу та оцінки сталого телекомунікаційного розвитку (ТКР) країн із застосуванням сучасних методів системного аналізу та багатовимірною аналізу, Data Science, як одних з найбільш

ефективних у вирішенні математичного моделювання станів і оцінки досліджуваних процесів не набуло достатньо розвитку в наукових роботах і вимагає подальшого вдосконалення.

Складність теперішнього етапу розвитку держави, викликана пандемією Covid-19, обговорюється щоденно у засобах масової інформації, на засіданнях Кабінету міністрів України, у Верховній Раді, і необхідність розробки радикальних заходів щодо його поліпшення відмічаються багатьма експертами, політологами і провідними фахівцями. За даними Державної служби статистики України протягом 2019-2020 років спостерігається суттєве зниження показників розвитку України [1]. Так, головний індикатор розвитку країни – валовий внутрішній продукт (ВВП) є фактично результатом агрегування виробничої діяльності резидентів у межах країни та свідчить про річні зміни розвитку. Зміну реального ВВП у процентах до відповідного кварталу попереднього року наведено на рисунку 1, з якого бачимо, що у третьому кварталі 2020 року порівняно з третім кварталом 2019 року реальний валовий внутрішній продукт зменшився на 3,5%, а у другому кварталі 2020 року порівняно з таким же кварталом 2019 року мало місце зменшення навіть на 11,4%.

Карантинні обмеження мали суттєвий вплив і на зовнішню торгівлю: у січні-листопаді 2020 року товарів було експортовано на суму 44 346,5 млн. дол. США, або 96,5% у порівнянні із таким же періодом попереднього року. Імпорт склав 48 243,8 млн. дол., тобто 87,1%. Отже має місце від'ємне сальдо у розмірі 3 897,3 млн. дол. У січні-листопаді 2019 року воно також було від'ємним і склало 9416,5 млн. дол.

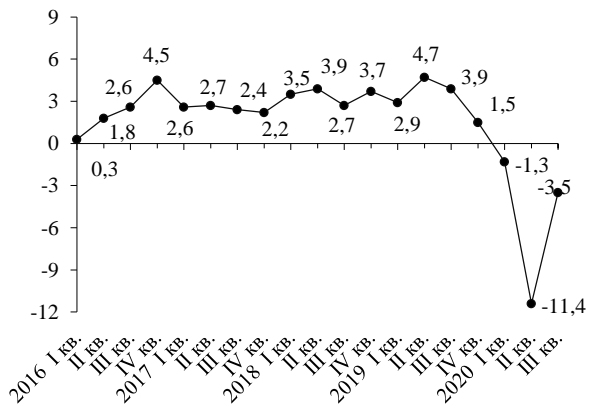


Рис. 1. Зміна реального ВВП (у % до відповідного кварталу попереднього року)

Крім того, у січні-листопаді 2020 року коефіцієнт покриття експортом імпорту становив 0,92, а у цьому ж періоді 2019 року він був на рівні 0,83 [1]. Тобто реальний сектор економіки зазнав дуже значних збитків. У цих умовах для підтримки належного рівня розвитку країни необхідно стрімко нарощувати темпи саме в галузях, що є територіально незалежними, та є ключовими у цифровій економіці – підтримують телекомунікаційні трансформації країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання світового розвитку у контексті цифровізації країн піднімалися у роботах закордонних вчених Değerli A., Aytekin Ç. [2], Appiah-Otoo I., Na Song, [3], Kallal R., Ftiti Z., Haddaji A. [4], Osman I. H., Zabli F. [5], Ravanos P., Karagiannis G. [6], Rorissa A., Demissie D., Pardo T. [7], Francisco J. [8], Whitmore A. A. [9] та інших. Над проблемами оцінки стану цифрового та телекомунікаційного розвитку України працювали вітчизняні вчені Гавкалова Н.Л. [10], Ткалич Т.А. [11], Тутова О.В. [12], Подольчак Н.Ю., Білик О.І., Левицька Я.В. [13], Варламова М., Дем'янова Ю. [14], Пищуліна О. [15], Сенкевич О.Ф. [16], Ночвай В. [17], Апалькова В.В. [18], Семенов А.Ю. [19] та інші. Аналіз існуючих досліджень і публікацій в галузі оцінювання рівня телекомунікаційного прогресу в контексті сучасних процесів цифровізації країн [2–23] дозволив виявити існування низки окремих підходів, спрямованих на дослідження питань ефективності цифровізації країн, питань побудови їх ІКТ-рейтингу (The Information and Communication Technology Development Ranking).

Так, у роботах [5, 6, 9] акцентується увага на тому, що існуючі моделі оцінки рівня цифровізації країни, що базуються на традиційних індикаторах економічного добробуту на основі ВВП, не враховують інші важливі соціальні чинники. Це

зумовило створення низки спеціальних узагальнюючих індикаторів цифрового розвитку: глобальний індекс розвитку електронного уряду, індекс мережної готовності та індекс розвитку інформаційних і комунікаційних технологій. У дослідженні [3] в контексті теорії поширення інновацій доведено необхідність удосконалення існуючих інструментів порівняльного аналізу і рейтингу електронного уряду, показано сильні та слабкі сторони шести напрямків оцінки індексу електронного уряду, а напрямки, що містять розширення функцій і можливостей сайтів електронного уряду, мають більшу перевагу над іншими.

За визначеною методологією [26] оцінку глобального індексу розвитку електронного уряду (Global E-Government Development Index – GEDI) можна подати через комплексний показник, який оцінює готовність і можливості національних державних структур у використанні інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для надання громадянам державних послуг. Існує також альтернативний показник – індекс мережної готовності (Networked Readiness Index) – комплексний показник, що характеризує рівень розвитку інформаційно-комунікаційних технологій і мережевої економіки в країнах світу [24]. Як зазначають багато дослідників, найбільш повним з точки зору оцінки темпів розвитку інформаційних технологій, моніторингу та порівняння розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) між країнами у часі слід використовувати індекс розвитку ІКТ (The ICT Development Index) [27]. Це інтегральний індекс, який інтегрує в собі 11 підіндексів та використовується для вимірювання:

- рівня розвитку ІКТ країн відносно інших;
- прогрес розвитку ІКТ як у розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються;
- цифровий розрив, тобто відмінності між країнами відносно рівня розвитку ІКТ;
- потенціал розвитку ІКТ та ступінь використання їх для посилення розвитку в контексті наявних можливостей та навичок.

Досліджуючи світові рейтинги та аналізуючи Україну в світлі цих глобальних індексів [20–22, 24–29], слід зазначити, що наша країна в 2020 році у наскрізному рейтингу GDEI посідає лише 79 місце. Але в групі країн за рівнем доходів на одну особу нижче середнього перебуває у першій п'ятірці (рис. 2). За іншими показником цифрового розвитку – індексу ICT Україна посіла 67 місце у 2017 році [27], NRI – 66 місце у 2019 році [24]. Перевагою цих індексних оцінок є широке охоплення та позиціонування країни за рівнем телекомунікаційного розвитку на макрорівні, але водночас суттєвим недоліком є неможливість проаналізувати вплив

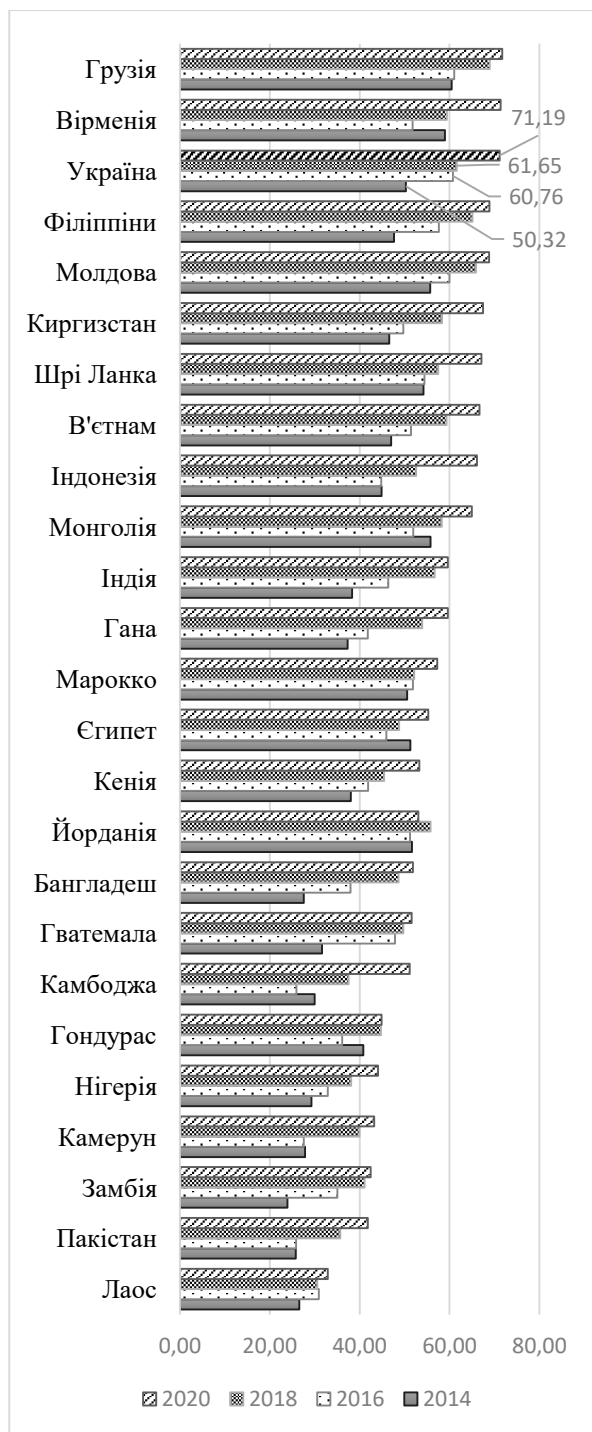


Рис. 2. Рівень цифрового розвитку групи країн за індексом GEDI

Джерело: складено автором за [26]

окремих регіонів країни на загальний її рівень її розвитку та оцінку стійкості перебування регіонів у певному стані. Доцільність такої деталізації є корисною і підтверджується під час формування та ухвалення управлінських рішень з імплементації стратегій цифрового розвитку.

Метою статті є розробка концептуального базису оцінювання й аналізу рівня телекомунікаційного розвитку регіонів із використанням окремих методів системного аналізу, зокрема

методів багатовимірного статистичного аналізу та визначення ймовірнісних характеристик випадкових процесів. Це дозволяє побудувати моделі прогнозування траєкторії цифрового розвитку регіонів, оцінити міжрегіональні відмінності, що відіграє важливу роль в оцінюванні готовності країни до викликів індустрії 4.0 в цілому.

Викладення основного матеріалу

Об'єктивна взаємозумовленість внутрішніх і зовнішніх явищ у розвитку регіонів визначає необхідність застосування системного підходу до дослідження цих процесів, тобто необхідність розглядати процеси, що відбуваються в регіонах, не як у самостійних системах, але як у підсистемах деякої більш складної системи – країни. Все це передбачає побудову концептуальної схеми дослідження, що віддзеркалює логіку досягнення поставленої мети. Розглянемо концептуальну модель детальніше (рисунок 3).

Дослідження потрібно розпочати з формування інформаційного простору, необхідного для подальшого прогнозування ТКР країни (блок 1). Першими кроками у цьому є аналіз показників ТКР регіонів, який визначає наявний стан процесів, що відбуваються, та необхідність його корегування, а також формування просторово-динамічної матриці вихідних даних для подальшого аналізу.

Другий блок передбачає побудову моделей комплексної оцінки стану телекомунікаційного розвитку регіонів із використанням комплексу методів багатовимірного аналізу та стохастичного моделювання для оцінки ТКР регіонів. Розглянемо головні етапи цього блоку.

На етапі 2.1. відбувається побудова моделі формування набору станів ТКР. На цьому етапі перевірка гіпотези про кількість станів ТКР здійснюється за допомогою ієрархічних агломеративних методів Уорда та повних зв'язків, а також ітеративного методу кластерного аналізу. Поєднання такого апарату дає можливість провести оцінку стійкості сформованого набору станів та визначити характеристики сформованих станів.

На наступному етапі 2.2 здійснюється кластеризація регіонів та аналіз розподілу їх за кластерами. На етапах 2.3 – 2.4 виконується розробка моделей оцінки ймовірностей зміни станів ТКР та дослідження динаміки їх зміни на основі методів стохастичного моделювання. Результати етапу є підставою для виконання етапу 2.5 – побудова моделі прогнозування стану ТКР регіону.

Для визначення ймовірнісного стану регіонів за рівнем ТКР як інструмент, ефективно використовуються моделі на базі ланцюгів Маркова. Ці етапи є складовими блоку 2 концептуальної схеми дослідження (рисунок 3). Розглянемо їх детальніше.

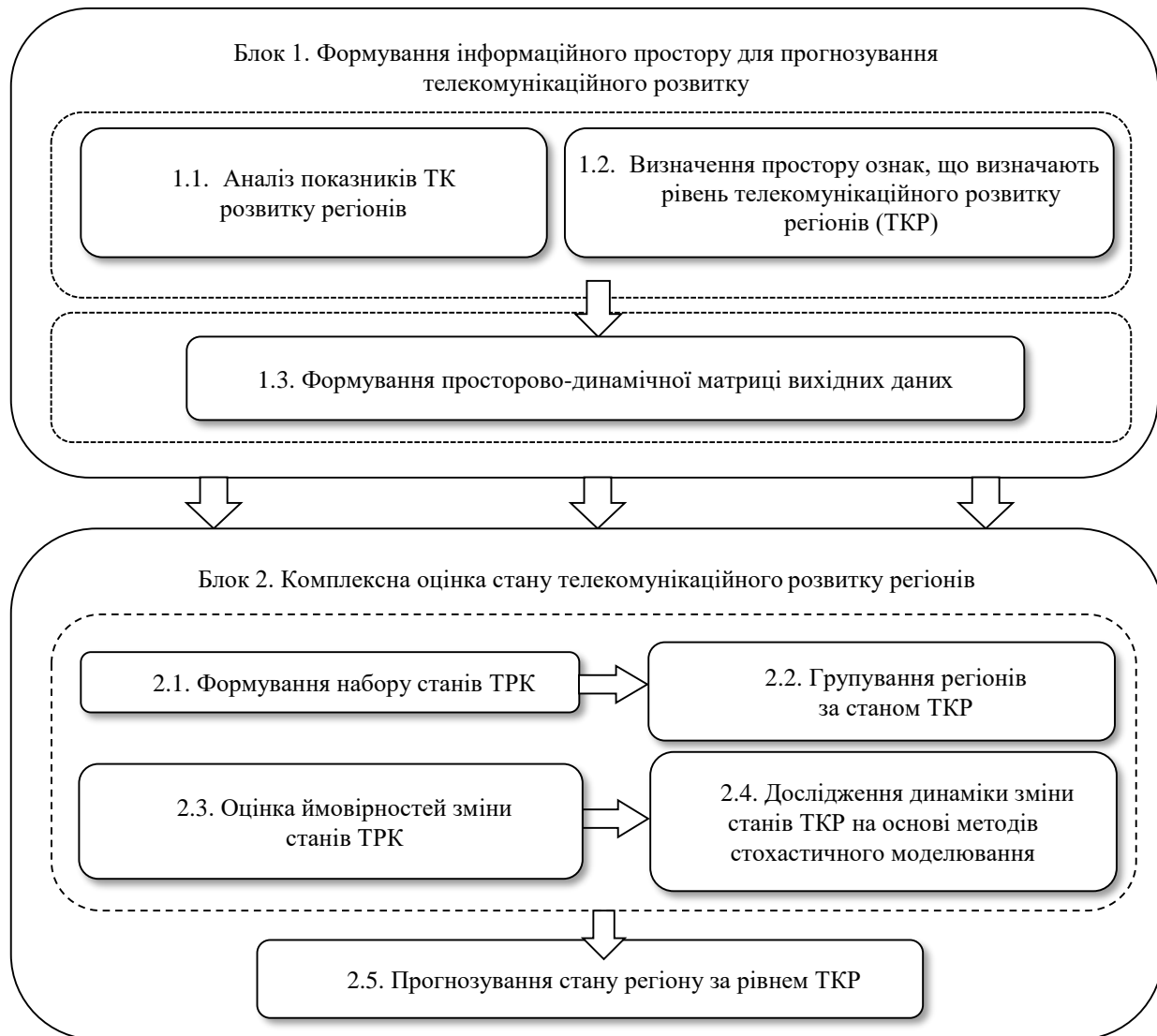


Рис. 3. Концептуальна схема дослідження

Процес зміни станів є випадковим процесом з дискретним часом. Кількість можливих станів системи – скінчена, тому процес зміни станів є також випадковим процесом з дискретними станами. Тобто його можна розглядати як випадковий марковський процес з дискретним часом і дискретними станами. Марковську модель зміни станів ТКР у загальному вигляді можна записати як [30]:

$$\lambda = (P, B, \omega), \quad (1)$$

де $P = \{p_{ij}\}_{l \times l}$, $i, j = [1, l]$ – розподіл ймовірностей переходів між станами, l – кількість станів;

$B = \{b_j(k)\}$, $j = [1, l]$, $k = [1, M]$ – розподіл ймовірностей появи значення даного показника, $b_j(k)$ – ймовірність появи значень даного показника з k -го інтервалу за умови, що система знаходилась в j -му стані, M – кількість різних інтервалів значень даного показника;

$w = (w_1, w_2, \dots, w_l)$ – початковий розподіл ймовірностей станів, w_i – ймовірність того, що система знаходилась в початковому стані S_i , $i = [1, l]$.

У спрощеному поданні процес, що відбувається в системі оцінки ТКР, можна подати як послідовність (ланцюг) подій: $S_1^{(0)}, S_2^{(1)}, S_3^{(2)}, S_1^{(1)}, S_2^{(2)}, \dots$, де $S_i^{(k)}$ – подія, що через k кроків система буде перебувати в стані S_i . Для кожного кроку ймовірність переходу з визначеного стану ТКР S_i в будь-який інший стан S_j не залежить від того, як система прийшла в стан S_i . Якщо позначити $w_i(k) = P(S_i^{(k)})$ – ймовірність того, що на k -му кроці система опиниться в стані S_i , а для будь-якого k : $w_1(k) + w_2(k) + w_3(k) = 1$.

Для кожного стану ТКР оцінюється ймовірність переходу в будь-який інший стан за один крок. Матриця перехідних ймовірностей має вигляд:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{pmatrix} \quad (2)$$

де P_{ij} – ймовірність переходу за один крок зі стану S_i в стан S_j .

P_{ii} – ймовірність затримки системи в стані S_i .

Перехідні ймовірності P_{ij} можна записати як умовні ймовірності: $P_{ij} = P(S_j^{(k)} / S_i^{(k-1)})$. Оцінюючи початковий стан ТКР, обчислюють ймовірності станів $w_1(k), w_2(k), \dots, w_n(k)$ для k -го року:

$$w_i(k) = \sum_{j=1}^n w_j(0)P_{ji}^{(k)}, \text{ або } w(k) = w(0)P^{(k)}, \quad (3)$$

де $p_i(k)$ – ймовірність того, що система буде перебувати в стані S_i через k кроків;

$w_i(k) = (w_1(k), w_2(k), \dots, w_n(k))$ – вектор-рядок ймовірностей станів системи через k кроків;

$w(0) = (w_1(0), w_2(0), \dots, w_n(0))$ – вектор-рядок ймовірностей станів системи для $k = 0$;

$w_j(0)$ – ймовірність того, що початковий стан системи – це стан S_j ;

$P_{ji}^{(k)}$ – ймовірність переходу системи зі стану S_j в стан S_i за k кроків;

$P^{(k)}$ – матриця ймовірностей переходу системи зі стану в стан за k кроків.

Результатом реалізації першого етапу дослідження є сформована просторо-динамічна матриця вихідних даних $X=(x_{ijt})$, де x_{ijt} – значення j -го показника для i -го регіону в t -й момент часу. Отримана матриця має розмірність $24 \times 4 \times 11$. У якості початкових даних було використано інформацію про рівень телекомунікаційного розвитку регіонів України за 2009-2019 рр.

На масив вихідних даних було накладено певні обмеження внаслідок об'єктивних причин та специфіки формування статистичних звітів Держкомстату. З метою забезпечення однорідності та співставності вихідних даних об'єктами даного дослідження було обрано регіони (області) України за виключенням АР Крим, м. Севастополя та м. Києва (табл. 1).

На першому етапі дослідження за результатами монографічного аналізу та статистичної інформації відкритих джерел було сформовано такий набір показників, що характеризують рівень телекомунікаційного розвитку регіонів: x_1 – відсоток населення, що користувалось послугами Інтернет (% до наявного населення регіону), x_2 – кількість абонентів кабельного телебачення (осіб на 1 тис. наявного населення), x_3 – кількість абонентів рухомого (мобільного) зв'язку (на 100 осіб наявного населення), x_4 – обсяг реалізованих послуг у сфері телекомунікацій та поштового зв'язку (грн на 1 тис. наявного населення). Дані показники були приведені до відносної форми запису, що дає змогу проводити порівняльний аналіз різних за розміром регіонів.

Таблиця 1.

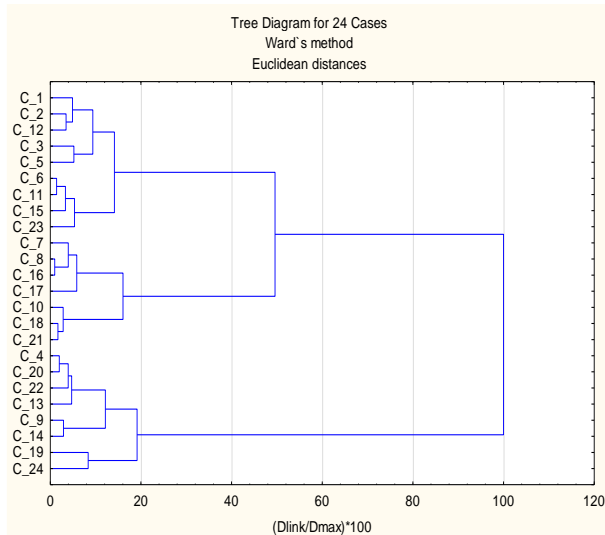
Кодування об'єктів дослідження

Позначення регіону	Назва регіону
C1	Вінницька
C2	Волинська
C3	Дніпропетровська
C4	Донецька
C5	Житомирська
C6	Закарпатська
C7	Запорізька
C8	Івано-Франківська
C9	Київська
C10	Кіровоградська
C11	Луганська
C12	Львівська
C13	Миколаївська
C14	Одеська
C15	Полтавська
C16	Рівненська
C17	Сумська
C18	Тернопільська
C19	Харківська
C20	Херсонська
C21	Хмельницька
C22	Черкаська
C23	Чернівецька
C24	Чернігівська

На другому етапі дослідження було проведено групування регіонів у кожному році окремо та за просторово-динамічною вибіркою із застосуванням двох ієрархічних агломеративних методів кластерного аналізу – методу Уорда та методу повного зв'язку, а також ітеративного методу k -середніх. Візуальний аналіз отриманих графіків дерев кластеризації за обома ієрархічними методами за різні роки дозволив дійти висновку про стійке та якісне розбиття на три кластери, що відповідають високому, середньому та низькому рівню телекомунікаційного розвитку регіональних систем, приклад дендрограм кластеризації різними методами за окремими роками наведено на рис. 4–5.

Обчислені статистичні характеристики дисперсійного аналізу для кожної кластеризації за ітеративним методом – F -критерій зі ступенями свободи (2,21) дозволили стверджувати про значущість та адекватність ітеративним методом підтверджується результатами, приклад за окремими роками наведено у табл. 2.

Таблиця 2.



C_1, C_2...C_24 – позначення коду регіону;
Dlink/Dmax – відносна евклідова відстань

Рис. 4. Результат кластеризації за методом Уорда за 2009 рік

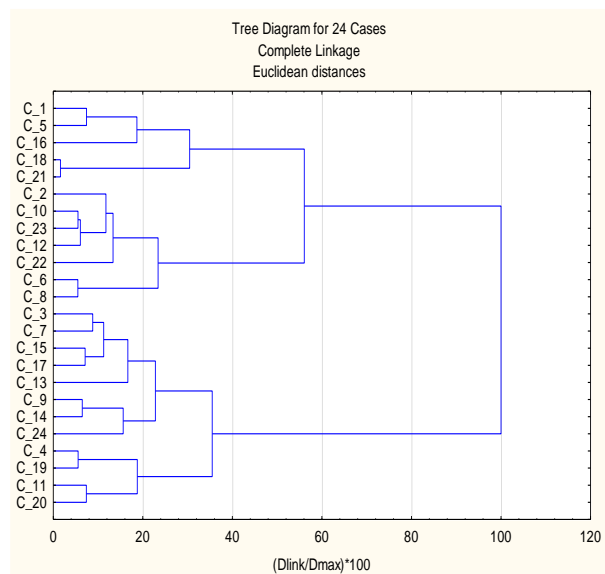


Рис. 5. Результат кластеризації за методом повного зв'язку за 2015 рік

Аналіз ітеративного розбиття на кластери за просторово-динамічною вибіркою підтвердив гіпотезу про можливість виокремлення трьох груп регіонів. Аналіз значень центрів кластерів дозволив дійти висновку, що перший кластер регіонів характеризується найвищими значеннями за показниками, другий кластер має середню частку населення, що користувалось послугами Інтернет, обсягом реалізованих послуг у сфері телекомунікацій та поштового зв'язку, та найменшим значенням за кількістю абонентів кабельного телебачення. Для третього кластера є характерним найнижчі значення усіх індикаторів, окрім абонентів кабельного телебачення.

Результати дисперсійного аналізу

Показник	Між-групова дисперсія	Внутрішньо-групова дисперсія	F-критерій (2,21)	Рівень значущості
2015 рік				
x1	234,08	676,013	3,636	0,044
x2	27,90	92,142	3,179	0,062
x3	10956,47	1335,185	86,163	0,000
x4	41,02	61,746	6,976	0,005
2016 рік				
x1	358,807	772,493	4,877	0,018
x2	26,257	81,672	3,376	0,054
x3	8581,998	1259,500	71,545	0,000
x4	22,068	51,929	4,462	0,024

Таке розбиття свідчить про існування частки регіонів із значним ступенем проникнення телекомунікаційних технологій та інтернету, та регіонів із низьким станом ТКР. Також слід зазначити, що найбільш значущий внесок у результат кластеризації протягом всього періоду дослідження мала змінна x_3 – кількість абонентів рухомого (мобільного) зв'язку, тоді як x_2 – найменший. Формування однорідних груп регіонів відбувалось шляхом визначення частот перебування регіонів у відповідних кластерах за різними методами. Якщо хоча б два з трьох методів відносять регіон до відповідного кластеру, то такий результат і приймається за остаточний. Слід зазначити, що найбільша кількість розбіжностей за результатами роботи різних методів кластеризації спостерігалась у 2011 і 2013 роках. Тоді як у 2014 – 2016 роках усі три методи дали ідентичні результати. По два «спірні» регіони зустрілися у 2010, 2012 та 2019 роках.

Результати визначення приналежності кожної регіональної системи до групи з високим (в), середнім (с) та низьким (н) рівнем телекомунікаційного розвитку наведені у табл. 3.

Проаналізувавши отримане групування можна помітити, що є ряд регіонів, які за 11 років жодного разу не змінили приналежність до відповідної групи. Так, наприклад, Волинська область постійно потрапляла до групи регіонів із середнім рівнем ТКР, Харківська – з високим, а Хмельницька – з низьким. Але для більшості регіонів протягом досліджуваного періоду все ж таки притаманна зміна рівня.

Прийнявши процес зміни рівня ТКР регіональною системою за випадковий марковський процес з дискретним часом та дискретним простором станів, тобто ланцюгом Маркова, отримуємо можливість на четвертому етапі дослідження оцінити частоти переходів регіональних систем зі стану до стану та визначити матриці перехідних імовірностей для кожного року окремо.

Таблиця 3.

Результати групування регіонів за рівнем ТКР

Номер регіону	Рік										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	с	н	н	с	н	с	н	н	н	н	н
2	с	с	с	с	с	с	с	с	с	с	с
3	с	с	н	с	с	с	в	в	с	в	в
4	в	с	в	в	в	с	в	в	в	в	в
5	с	с	с	с	н	с	н	н	н	н	н
6	с	с	в	в	с	с	с	с	с	с	с
7	н	н	н	с	с	с	в	в	в	с	с
8	н	н	н	с	с	с	с	с	с	с	с
9	в	с	в	в	с	с	в	н	н	н	н
10	н	н	н	н	н	н	с	с	с	с	с
11	с	с	в	в	в	с	в	в	в	в	в
12	с	н	н	с	с	с	с	с	с	в	с
13	в	с	в	в	в	в	в	в	в	в	в
14	в	с	в	в	в	в	в	в	в	в	в
15	с	с	в	с	с	с	в	в	в	в	в
16	н	н	н	с	н	н	н	н	н	н	н
17	н	н	с	с	с	с	в	в	в	в	в
18	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н
19	в	в	в	в	в	в	в	в	в	в	в
20	в	в	в	в	в	в	в	в	в	в	в
21	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н	н
22	в	с	в	в	с	с	с	с	с	н	с
23	с	с	в	в	в	с	с	с	с	с	с
24	в	в	в	в	в	в	в	в	с	в	в

На рис. 8 наведено матриці перехідних імовірностей для кількох окремих років.

Рік	2011			2014		
	н	с	в	н	с	в
н	0,889	0,111	0	0,667	0,333	0
с	0,083	0,167	0,75	0	1	0
в	0	0	1	0	0,375	0,625
Рік	2015			2018		
	н	с	в	н	с	в
н	0,75	0,25	0	1	0	0
с	0,133	0,4	0,467	0,111	0,556	0,333
в	0	0	1	0	0,111	0,889

Рис. 8. Матриці перехідних імовірностей

Спираючись на закон великих чисел було отримано загальну матрицю перехідних імовірностей шляхом визначення математичних сподівань значень імовірностей для кожного року окремо. Результативна матриця має вигляд (рис. 9).

Таким чином, імовірність переходу за один крок з групи регіонів з низьким рівнем ТКР до групи регіонів з високим рівнем – дорівнює нулю. За всі одинадцять років дослідження такої події жодного разу не сталося.

Стан	н	с	в
н	0,850	0,150	0,000
с	0,085	0,760	0,155
в	0,008	0,174	0,818

Рис. 9. Результативна матриця перехідних імовірностей

Найбільші значення ймовірностей розташовані на головній діагоналі, тобто найбільш ймовірно, що систем збереже свій стан за один крок. На п'ятому етапі дослідження було здійснено прогнозування рівня ТКР для трьох регіонів на 2 кроки (роки) вперед. Задаємо у якості вектору ймовірностей початкового стану такий: $p(0) = (1, 0, 0)$, відповідно до якого регіональна система у 2019 р. знаходиться у стані з низьким рівнем ТКР. Тоді через 2 кроки у 2021 р. будемо мати такі ймовірності станів:

$$p(2) = p(0)P^{(2)} = (0,735, 0,242, 0,023).$$

Отже можна помітити, що за два кроки у системи з низьким рівнем ТКР з'являється малий шанс потрапити до групи регіонів з високим рівнем, але ця ймовірність трохи більша за 2 %.

Якщо у якості вектору ймовірностей початкового стану задати таким чином: $p(0) = (0, 1, 0)$, відповідно

до якого регіональна система у 2019 р. знаходиться у стані із середнім рівнем ТКР. Тоді через 2 кроки у 2021 р. будемо мати такі ймовірності станів:

$$p(2) = p(0)P^{(2)} = (0.138, 0.617, 0.245).$$

Тобто, ймовірність того, що система із середнім рівнем розвитку за 2 кроки залишиться у тій самій групі складає 61,7 %, ймовірність того, що стан погіршиться складає 13,8 %, а що покращиться – 24,5 %. Прогноз є досить оптимістичним.

Якщо у якості вектору ймовірностей початкового стану задати наступний: $p(0) = (0, 0, 1)$, відповідно до якого регіональна система у 2019 р. знаходиться у стані із високим рівнем ТКР. Тоді через 2 кроки у 2021 р. будемо мати такі ймовірності станів:

$$p(2) = p(0)P^{(2)} = (0.029, 0.276, 0.695).$$

Отже, для регіону з високим рівнем розвитку ймовірність залишитись у цій самій групі за 2 кроки складає 69,5 %, перейти до групи регіонів із середнім рівнем – 27,6 %, а з низьким – 2,9 %.

Висновки

У роботі досліджено особливості телекомунікаційного розвитку регіонів. На підставі системного підходу розроблено комплекс математичних моделей для оцінювання, аналізу та прогнозування рівня ТКР регіонів України. Досліджено міжрегіональні особливості, сформовано групи регіонів, однорідних за показниками ТКР. Досліджено динаміку переходу регіональних систем із станів низького, середнього та високого рівня. На основі використання методів стохастичного моделювання здійснено прогнозування і визначені ймовірності потрапляння регіонів у 2021 р. до різних станів. Перспективами подальших досліджень є розвиток комплексу моделей у напрямку побудови системи прийняття управлінських рішень, які дозволяють визначити ключові напрямки розробки стратегій регіонального телекомунікаційного розвитку за окремими складовими та здійснити вирівнювання нерівномірності розвитку регіонів за темпами діджиталізації.

Література

1. Макроекономічні показники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Degerli A. *Analyzing Information Technology Status and Networked Readiness Index in Context of Diffusion of Innovations Theory* / A. Degerli, Ç. AYTEKİN, B. DEĞERLİ // *World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship. Istanbul, Turkey. 2015.* – Pp.1553–1562.
3. Appiah-Otoo I. *The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries* / I. Appiah-Otoo, Na Song. // *Telecommunications Policy.* – 2021. – Vol. 45(2).
Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308596120301725>.
4. Kallal R. *ICT diffusion and economic growth: Evidence from the sectorial analysis of a periphery country* / R. Kallal, A. Haddaji, Z.Fiiti // *Technological Forecasting and Social Change.* – 2021. – Vol. 162, Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162520312294>.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120403>.
5. Osman I. H. *Re-evaluating electronic government development index to monitor the transformation toward achieving sustainable development goals* / I. H. Osman, F. Zablith // *Journal of Business Research.* – 2020. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296320306858>.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.027>.
6. Ravanos P. *Tricks with the BoD model and an application to the e-Government Development Index* / P. Ravanos, G. Karagiannis // *Socio-Economic Planning Sciences.* – 2020. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012120307928>.
7. Rorissa A. *Benchmarking e-Government: A comparison of frameworks for computing e-Government index and ranking* / A. Rorissa, D. Demissie, T. Pardo // *Government Information Quarterly.* – 2012. – Vol. 28(33). – Pp. 354–362. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740624X11000359>.
8. Joaquim Francisco de Carvalho. *Measuring economic performance, social progress and sustainability using an index* / Joaquim Francisco de Carvalho // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – 2011. – Vol. 15(2). – Pp. 1073–1079. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004090>.
9. Whitmore A. *A statistical analysis of the construction of the United Nations E-Government Development Index* / A. Whitmore // *Government Information Quarterly.* – 2012. – Vol. 29(1). – Pp. 68–75. Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740624X11001043>.
10. Gavkalova N. *Influence of the Country's Information Level on Its Economic Development* / N. Gavkalova, Y. Lola, S. Prokopovych, D. Mykhailenko // *Proceedings of the 2019 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019).* Mode of access: <https://www.atlantispress.com/article/125919217.pdf>.
<https://doi.org/10.2991/mdsmes-19.2019.40>
11. Ткалич Т.А. *Оценка и прогнозирование показателей результативности цифровой экономики методом ABC-анализа* / Т.А. Ткалич // *Економіка та держава.* – № 3. – 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.economy.in.ua/pdf/3_2017/4.pdf.
12. Tutova O.V. *Ukraine in The Information and Communication Technology Development Ranking* / O.V. Tutova, Ye.A. Savchenko // *Control systems and computers.* – 2019. – № 3. – Pp. 70–78. Mode of access: <http://usim.org.ua/arch/2019/3/9.pdf>.
13. Подольчак Н. Ю. *Сучасний стан цифровізації в Україні* / Н.Ю. Подольчак, О.І. Білик, Я.В. Левицька // *Ефективна економіка* – 2019. – № 10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/10_2019/6.pdf.

14. Варламова М. Основні тенденції діджиталізації у глобальному вимірі / М. Варламова; Ю. Дем'янова // Галицький економічний вісник. – № 2(63). – 2020 – С. 251–260 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://galicianvisnyk.tntu.edu.ua/pdf/63/829.pdf>.

15. Пищуліна О. Цифрова економіка: тренди, ризики та соціальні детермінанти / О. Пищуліна. – К.: Центр Разумкова, Вид-во "Заповіт", 2020. – 274 с.

16. Сенкевич О.Ф. Трансформація територіально-економічних систем в умовах розвитку цифрової економіки та суспільства: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.05 / Сенкевич Олександр Федорович; Одеська національна академія харчових технологій. – Одеса, 2020. – 198 с. – Бібліогр. : С. 62–67, 119–123, 185–188.

17. Проблеми та перспективи гармонізації цифрового ринку України з ринками ЄС та країн СхП. Інформаційно-аналітичний звіт / В. Ночвай, М. Корявець, І. Кульчицький, Л. Олексюк, О. Приходько, К. Гороховський, В. Грига [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.civic-synergy.org.ua/analytics/problemu-ta-perspektyvu-garmonizatsiyi-tsyfrovogo-rynku-ukrayiny-z-rynkaty-yes-ta-krayin-shp/>

18. Апалькова В.В. Концепція розвитку цифрової економіки в Єврозоюзі та перспективи України / В.В. Апалькова // Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Менеджмент інновацій». – 2015. – Вип. 4. – С. 9–18.

19. Семенов А.Ю. Аналіз світових рейтингів оцінки формування та розвитку цифрової економіки та місце України в них / А.Ю. Семенов // Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету С. 38–43 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2020/43-2020/8.pdf>

20. Платформа промислових та хайтек секторів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.industry4ukraine.net/>

21. Україна 2030Е – країна з розвинутою цифровою економікою [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoju.html>.

22. Цифрова адженда України – 2020 («Цифровий порядок денний» – 2020). Концептуальні засади [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://icci.org.ua/uploads/files/58e78ee3c3922.pdf>

23. Chagovets L. Machine Learning Methods Applications for Estimating Unevenness Level of Regional Development / L. Chagovets, V. Chahovetsa, N. Chernova // Data-Centric Business and Applications. Evolvments in Business Information Processing and Management (Volume 3): Springer; Cham, 2020. – Рр. 115–139.

24. Рейтинг стран мира по индексу сетевой готовности. Гуманитарная энциклопедия: Исследования // Центр гуманитарных технологий, 2006–2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gtmarket.ru/ratings/networked-readiness-index>.

25. Network Readiness Index 2020. Mode of access: <https://networkreadinessindex.org/nri-2020-countries/#navigate>.

26. Рейтинг стран мира по индексу развития электронного правительства // Гуманитарная

энциклопедия: Исследования. Центр гуманитарных технологий, 2006–2021 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gtmarket.ru/ratings/e-government-development-index>.

27. The ICT Development Index (IDI): conceptual framework and methodology. Mode of access: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis/methodology.aspx>.

28. 2020 Social Progress Index. Global Index: Methodology. Mode of access: <https://www.socialprogress.org/index/global/methodology>.

29. Де в Україні айтішнику жити добре. Рейтинг міст DOU [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dou.ua/lenta/articles/ratings-best-cities-2020/?from=doufp>

30. Неравномерность и цикличность динамики социально-экономического развития регионов: оценка, анализ, прогнозирование / Т. С. Клебанова, Н. А. Кузим, Л. С. Гурьянова и др. / Под ред. Т.С. Клебановой, Н. А. Кузима – Х.: ФЛП Александрова К.М.; ИД «ИНЖЭК», 2012. – 512 с.

References

1. Appiah-Otoo, I. & Na Song. (2021). The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries. *Telecommunications Policy*, 45(2). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308596120301725>.

2. Gavkalova N., Lola Y., Prokopovych S. & Mykhailenko, D. Influence of the Country's Information Level on Its Economic Development. *Proceedings of the 2019 7th International Conference on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019)* Retrieved from <https://www.atlantispress.com/article/125919217.pdf>. <https://doi.org/10.2991/mdsmes-19.2019.40>.

3. Degerli, A., AYTEKİN, Ç., & DEĞERLİ, B. (2015). Analyzing Information Technology Status and Networked Readiness Index in Context of Diffusion of Innovations Theory. *World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship* (pp.1553–1562). İstanbul, Turkey Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815036691#>.

4. Kallal, R., Haddaji, A., & Friti, Z. (2021). ICT diffusion and economic growth: Evidence from the sectorial analysis of a periphery country. *Technological Forecasting and Social Change*, 162. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162520312294>.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120403>.

5. Makroekonomichni pokaznyky` [Macroeconomic indexes] Retrieved from: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

6. Osman, I. H. & Zablith, F. (2020). Re-evaluating electronic government development index to monitor the transformation toward achieving sustainable development goals. *Journal of Business Research*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296320306858>.

<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.027>.

7. Ravanos, P. & Karagiannis, G. (2020). Tricks with the BoD model and an application to the e-Government Development Index. Retrieved from

8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038012120307928>.
9. Rejting stran mira po indeksu setevoy gotovnosti [Ranking countries of the world by the Networked Readiness Index]. *Humanitarian Encyclopedia: Research. Center for Humanitarian Technologies, 2006–2021*. Retrieved from <https://gmarket.ru/ratings/networked-readiness-index> [in Russian].
10. Network Readiness Index 2020. Retrieved from <https://networkreadinessindex.org/nri-2020-countries/#navigate>.
11. Rejting stran mira po indeksu razvitiya e`lektronnogo pravitel'stva [Ranking countries by the E-Government Development Index]. *Humanitarian Encyclopedia: Research. Center for Humanitarian Technologies, 2006–2021*. Retrieved from <https://gmarket.ru/ratings/e-government-development-index> [in Russian].
12. Rorissa, A., Demissie, D. & Pardo, T. (2012). Benchmarking e-Government: A comparison of frameworks for computing e-Government index and ranking. *Government Information Quarterly*, 28(33), 354–362. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740624X11000359>.
13. The ICT Development Index (IDI): conceptual framework and methodology. Retrieved from <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis/methodology.aspx>.
14. Tkalich, T. A. (2017). Ocenka i prognozirovanie pokazatelej rezul'tativnosti cifrovoj e`konomiki metodom AVS-analiza [Assessment and forecasting of the digital economy performance indexes by the ABC-analysis method]. *Economy and state*, 3. Retrieved from http://www.economy.in.ua/pdf/3_2017/4.pdf [in Russian].
15. Tutova, O. V. & Savchenko, Ye.A. (2019). Ukraine in The Information and Communication Technology Development Ranking. *Control systems and computers*, 3, 70–78. Retrieved from <http://usim.org.ua/arch/2019/3/9.pdf>.
16. Joaquim Francisco de Carvalho (2011). Measuring economic performance, social progress and sustainability using an index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1073–1079. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004090>.
17. 2020 Social Progress Index. Global Index: Methodology. Retrieved from <https://www.socialprogress.org/index/global/methodology>.
18. Whitmore, A. (2012). A statistical analysis of the construction of the United Nations E-Government Development Index. *Government Information Quarterly*, 29(1), 68–75. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740624X11001043>.
19. Platforma promyslovykh ta khaitek sektoriv [The platform of industrial and high-tech sectors]. Retrieved from <https://www.industry4ukraine.net> [in Ukrainian].
20. Ukraina 2030E – kraina z rozvynutoiu tsyfrovou ekonomikoiu [Ukraine 2030E – the country with a developed digital economy]. Retrieved from <https://strategy.uifuture.org/kraina-z-rozvinutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html> [in Ukrainian].
21. Podolchak, N. Yu., Bilyk, O. I. & Levytska, Ya. V. (2019). Suchasnyi stan tsyfrovizatsii v Ukraini [The current state of digitalization in the Ukraine]. *Efficient economy*, 10. Retrieved from http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/10_2019/6.pdf [in Ukrainian].
22. Varlamova; M. & Demianova, Yu. (2020). Osnovni tendentsii didzhitalizatsii u hlobalnomu vymiri [The main trends of digitalization in the global dimension]. *Galician Economic Bulletin*, 2(63), 251–260. Retrieved from <https://galicianvisnyk.mtu.edu.ua/pdf/63/829.pdf> [in Ukrainian].
23. De v Ukraini aitishnyku zhyty dobre. Reitynh mist DOU [Where in Ukraine IT people live well. DOU Ranking of cities]. Retrieved from <https://dou.ua/lenta/articles/ratings-best-cities-2020/?from=doufp> [in Ukrainian].
24. Tsyfrova adzhenda Ukrainy – 2020 («Tsyfrovyi poriadok denniy» – 2020) [Digital Agenda of Ukraine – 2020 Conceptual principles Retrieved from <https://ucc.org.ua/uploads/files/58e78ee3c3922.pdf> [in Ukrainian].
25. Pyshchulina, O. (2020). Tsyfrova ekonomika: trendy, ryzyky ta sotsialni determinanty [Digital economy: trends, risks and social determinants]. Kyiv: Razumkov Center, PH “Zapovit” [in Ukrainian].
26. Sienkevych, O. F. (2020). Transformatsiia terytorialno-ekonomichnykh system v umovakh rozvytku tsyfrovoy ekonomiky ta suspilstva [Transformation of territorial and economic systems in the development of digital economy and society]. (Candidate's thesis). Odessa: Odessa National Academy of Food Technologies [in Ukrainian].
27. Nochvai, V., Koriavets, M., Kulchytskyi, I., Oleksiuk, L., Prykhodko, O., Horokhovskiy, K. & Hryha, V. Problemy ta perspektyvy harmonizatsii tsyfrovoho rynku Ukrainy z rynkamy YeS ta krain SkhP [Harmonization problems and prospects of the Ukraine digital market according to the EU markets and Eastern countries]. Retrieved from <https://www.civic-synergy.org.ua/analytics/problemy-ta-perspektyvy-garmonizatsiyi-tyfrovogo-rynku-ukrayiny-z-rynkamy-yes-ta-krayin-shp/> [in Ukrainian].
28. Apalkova, V. V. (2015). Kontseptsiia rozvytku tsyfrovoy ekonomiky v Yevrosoiuzi ta perspektyvy Ukrainy [The concept of the digital economy in the European Union and the prospects Ukraine]. *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Innovation Management Series*, 4, 9–18 [in Ukrainian].
29. Semenoh, A. Yu. (2020). Analiz svitovykh reitynhiv otsinky formuvannia ta rozvytku tsyfrovoy ekonomiky ta mistse Ukrainy v nykh [Analysis of the world rankings assess the formation and development of the digital economy and place them in Ukraine]. *Scientific Bulletin of the International Humanities University*, 38–43. Retrieved from <http://www.vestnik-econom.mgu.od.ua/journal/2020/43-2020/8.pdf> [in Ukrainian].
30. Chagovets, L., Chahovets, V. & Chernova, N. (2020). Machine Learning Methods Applications for Estimating Unevenness Level of Regional Development. In *Data-Centric Business and Applications. Evolvments in Business Information Processing and Management*, Vol. 3 (pp. 115–139). Cham: Springer.
31. Neravnomyernost' i ciklichnost' dinamiki social'no-ekonomicheskogo razvitiya regionov: ocnka, analiz, prognozirovanie / T. S. Klebanova, N. A. Kizim, L. S. Gur'yanova i dr. / Pod red. T.S. Klebanovoj, N. A. Kizima – KH.: FLP Aleksandrova K.M.; ID «INZHEHK», 2012. – 512 s.

Рецензент: д-р. екон. наук, проф. Л.С. Гур'янова, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця, Україна.

Автор: ЧАГОВЕЦЬ Любов Олексіївна
кандидат економічних наук, доцент, доцент каф. економічної кібернетики і системного аналізу Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця
E-mail – liubov.chahovets@hneu.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4064-9712>

Автор: ПРОКОПОВИЧ Світлана Валеріївна
кандидат економічних наук, доцент, доцент каф. економічної кібернетики і системного аналізу Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця
E-mail – prokopovichsv@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6333-2139>

Автор: ВОЗНЮК Сергій Миколайович
старший викладач кафедри вищої математики та системного аналізу Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
E-mail – s.voznyuk@khai.edu

Автор: ЧАГОВЕЦЬ Віта Віталіївна
кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри енергетичного машинобудування, фізико-математичних та інженерних дисциплін Харківський державний університет харчування та торгівлі
E-mail – chagovec.v@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0066-2760>

MODELLING CONCEPTUAL BASIS OF REGIONAL TELECOMMUNICATIONS DEVELOPMENT BY SYSTEM ANALYSIS METHODS

L. Chahovets¹, S. Prokopovych¹, S. Voznyuk², V. Chahovets³

¹Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

²Mykola Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine

³Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine

The article is devoted to the question of regional digitalization and telecommunication development of Ukraine. The conceptual basis of telecommunication development (TCD) assessment by system analysis methods is provided. The status classification model of the region according to the TCD level was investigated. The forecasting models of the TCD level of the region are developed by Markov chain with discrete status. The regional features have been studied. The homogeneous groups of TCD regions have been formed. Visual analysis of the obtained clustering trees by hierarchical methods allowed to conclude about a stable and high-quality division into three clusters. There are clusters of the high, medium and low level of telecommunication. The dynamics of regional clusters moving is estimated. There is set of regions that have never changed their position all the time. Thus, Volyn region was included in the cluster of regions with the medium TCD level. Kharkiv region was included in the high level TCD cluster. The most regions were characterized by a change in level. We get the opportunity at the next stage of the study to estimate the frequency of transitions of regional systems from state to state and to determine the matrices of transition probabilities for each year separately. The forecast of TCD level has been made by stochastic modeling methods, the probabilities of regions falling into different states in 2021 have been estimated. The status of systems with low TCD are likely to be in the high-level group of regions with a probability of slightly more than 2 % for two years. The probability that the system with medium level of development for two years will remain in the same group is 61,7%. The probability that the status will worsen is 13,8 %, and that will improve – 24,5 %. The probability that the region is stayed in the same group the next two years is 69.5 %. The probability that the high level TCD region is moved to the medium level cluster of regions is 27,6 %, and probability to the low level TCD is 2,9 %.

Keywords: multidimensional analysis methods, system analysis, digitization, telecommunication development, regional system.