

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ВЕРЕТЮК СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ**



**УДК 004.942**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ  
ЦИКЛОМ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**05.13.06 – Інформаційні технології**

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Черкаси-2021**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Черкаському технологічному університеті на кафедрі інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії.

**Науковий керівник**

кандидат технічних наук, доцент  
**Підгорний Микола Володимирович**,  
Черкаський державний технологічний університет,  
декан факультету комп'ютеризованих технологій  
машинобудування і дизайну

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Олізаренко Сергій Анатолійович**,  
Харківський національний університет радіоелектроніки,  
професор кафедри електронних обчислювальних машин

доктор технічних наук, професор  
**Молодецька Катерина Валеріївна**,  
Поліський національний університет (м. Житомир)  
професор кафедри комп'ютерних технологій і  
моделювання систем

Захист відбудеться «20» квітня 2021 року о 12 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 73.052.04 при Черкаському державному технологічному університеті за адресою: 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460 корп. №1, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Черкаського державного технологічного університету (18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460).

Автореферат розіслано «19» березня 2021 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 73.052.04



Ю.Ю. Бондаренко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Наслідком стрімкого розвитку інформаційно-комунікаційних технологій є прискорення інформатизації суспільної, економічної та наукової діяльності. Активізація інформаційних процесів сприяє розширенню спектру цифрових послуг та зростанню рівня проникнення та використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ). Сьогодні ІКТ є одним з основних інструментів для економічного процвітання будь-якої країни. Комплексний вплив ІКТ на соціально-економічний простір змінює саму парадигму життєдіяльності та безпеки людства. Інформаційні технології стали рушійною силою останніх технологічних революцій. Так, сьогодні в економічно розвинених країнах для визначення сучасного технологічного екстер'єру широко застосовують поняття «Індустріальна революція 4.0», яка передбачає масштабне впровадження ІКТ в промисловість, соціальну сферу, економіку, освіту та науку.

Однак, крім очевидних переваг, стрімке впровадження ІКТ несе ризики в сфері безпеки; неоднорідність та затримки з впровадження впливають на процеси розшарування, відставання окремих регіонів та соціальних груп, появу цифрових та соціальних розривів; розроблення та впровадження ІКТ на рівні підприємства безвідносно до змісту процесів та реальних потреб спричинює додаткові витрати.

Виходом з такої ситуації є перехід до застосування методів, які враховують кожний етап становлення ІКТ (життєвий цикл), взаємозв'язок із соціальними та економічними процесами, враховують внутрішні властивості ІКТ, і загалом забезпечують підвищення ефективності управління життєвим циклом з метою подолання зазначених негативних явищ.

Поняття «життєвий цикл» запозичене з біології та описує послідовність конкретних етапів розвитку. Аналіз історичного розвитку ІКТ вказує на принципову можливість застосовувати це універсальне поняття для опису процесів розвитку небіологічних систем, адже процес становлення технології супроводжують еволюційні процеси відбору, конкуренції, зростання різноманіття, адаптація, мутація, відмирання тощо.

Наразі проблемам, пов'язаним із дослідженням життєвого циклу ІКТ та взаємозв'язку з соціальним та економічним середовищем, присвячена значна частина публікацій вітчизняних і зарубіжних вчених як індивідуально, так і в складі наукових колективів. Вагомий внесок у вирішення цієї проблеми належить М. З. Згуровському, І. Г. Ханіну, Н. Д. Панкратовій, Л. Н. Беркман, Г. С. Гайворонській, М. В. Полякову, О. Г. Білорусу, М. В. Борматенко, А. І. Ракітову, Е. Роджерсу, П. Страсману, Ш. Дунгу, Н. Карру, Р. Солоу та іншим.

Проте більшість наукових досліджень мають описовий характер, охоплюють окремі етапи життєвого циклу ІКТ, не враховують особливості процесів взаємодії з соціальними та економічними явищами. Зокрема

---

Висловлюємо подяку к.т.н., професору кафедри акустичних та мультимедійних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Піліньському Володимирі Володимировичу, за консультативну допомогу в процесі виконання дисертаційної роботи.

невирішеними залишаються питання пов'язані з наслідками неоднорідного впровадження ІКТ, впливом скорочення життєвого циклу ІКТ на соціальне та економічне середовище та розробленням дієвого комплексу заходів із підвищення управління життєвим циклом ІКТ.

Отже, на сучасному етапі розвитку цифрової економіки, інформаційного суспільства та інформаційно-комунікаційних технологій існує об'єктивне протиріччя між нагальною проблемою в гармонійному становленні інформаційно-комунікаційних технологій та сталому розвитку суспільства з однієї сторони та поточною недосконалістю управління життєвим циклом ІКТ з іншої.

Отже, оскільки розвиток ІКТ, без перебільшень, є одним із основних факторів сучасного розвитку людства, то створення засад для підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ на основі розроблення концептуальних основ і нових методів оцінювання впливу ендогенних та екзогенних чинників на розвиток ІКТ є актуальним науково-прикладним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Напрям досліджень дисертації роботи пов'язаний з напрямком роботи у Міністерстві економічного розвитку і торгівлі України під час розроблення проекту «Стратегії розвитку високих технологій» відповідно до Плану дій уряду на 2015 р., де автор брав участь у розробці (на посаді позаштатного радника Міністра); наукових роботах кафедри ЗТ та РІ: № 0109U005988 "Програмно-технічна система забезпечення захисту інформаційних ресурсів по колам електроживлення"; № 0114U002194 «Електромагнітна сумісність аудіо, відео та телекомунікаційних систем»; № 0119U103760 «Дослідження стійкості протоколів систем доступу та віддаленого керування», а також в створенні Плану подолання цифрової нерівності для ГО «Асоціація цифрової та інноваційної освіти»; у формуванні Стратегії розвитку КП «Освітній Хаб м. Києва», у створенні інструментів дослідження ринку ІКТ для консалтингової компанії «EnC» (ТОВ «АТМ БІЗНЕС РІШЕНЬ»), що підтверджено відповідними актами впровадження.

**Мета і завдання дослідження:** Метою роботи є підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ на основі аналізу впливу внутрішніх та зовнішніх чинників та впливу ІКТ на соціально-економічне середовище.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі виконані такі наукові завдання:

1. Проведення аналізу історичного розвитку інформаційно-комунікаційних технологій для визначення екзогенних та ендогенних чинників, які визначають розвиток ІКТ.

2. Проведення аналізу моделей життєвого циклу технологій для розроблення схеми управління життєвим циклом ІКТ.

3. Розвиток моделі прийняття рішень стосовно впровадження ІКТ на основі аналізу характеру реакції ІКТ на інноваційний вплив для формування рекомендацій по зменшенню невизначеності на різних етапах життєвого циклу ІКТ.

4. Розроблення математичної моделі технологічного розриву між двома об'єктами впровадження ІКТ для формалізації технологічного відставання в умовах впливу неоднорідного потоку інновацій.

5. Розроблення математичної моделі процесу інфляції знань для формалізації явища інфляції знань в умовах скорочення життєвого циклу ІКТ.

6. На основі запропонованих концепції та моделей розроблення методики підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ для зменшення технологічного розриву між об'єктами впровадження ІКТ.

**Об'єкт дослідження:** процес управління життєвим циклом ІКТ в умовах неоднорідного впровадження інновацій

**Предмет дослідження:** моделі та методи управління життєвим циклом ІКТ.

**Методи дослідження:** методи математичного аналізу, теорії динамічних систем, теорії інформації, синергетики, теорії інформації, диференціального та інтегрального числення, аналізу даних, системного аналізу.

#### **Наукова новизна:**

1. Вперше розроблено математичну модель технологічного розриву між двома об'єктами впровадження ІКТ на основі нелінійного диференціального рівняння еволюції системи, яка функціонує в умовах обмежених ресурсів, що дає можливість формалізувати технологічний розрив між такими об'єктами в умовах впливу неоднорідних потоків інновацій.

2. Вперше розроблено математичну модель інфляції практичних знань в галузі ІКТ, яка враховує зв'язок між темпами розвитку технологій та накопиченням знань як нелінійного процесу та надає можливість формалізувати явище інфляції знань в умовах скорочення життєвого циклу ІКТ.

3. Набула подальшого розвитку модель прийняття рішень щодо управління життєвим циклом ІКТ на основі емпіричної моделі Gartner Hype Cycle завдяки врахуванню процесів ентропійно-інформаційного обміну в ІКТ, що дозволило зменшити рівень невизначеності при впровадженні ІКТ.

4. Набула подальшого розвитку модель життєвого циклу ІКТ, яка враховує залежність між темпом розвитку технологій та потенціалом інновації, що надає можливість аналітично досліджувати еволюцію технології за умов впливу неоднорідної послідовності інновацій.

#### **Практична цінність результатів дослідження:**

1. Розроблено модель технологічного відставання, яка надає можливість проводити якісний та кількісний порівняльний аналіз розвитку двох об'єктів впровадження ІКТ для вибору оптимальної стратегії управління, що забезпечує скорочення рівня відставання між такими об'єктами в умовах неоднорідного впливу інновацій.

2. На основі аналізу ентропійно-інформаційного обміну, який має місце в результаті дії інноваційного впливу на технологію, запропоновано інтерпретацію стадій емпіричної кривої Gartner, яка надає можливість сформулювати перелік рекомендацій із зменшення невизначеності в момент виходу нової ІТ та ІКТ на ринок.

3. Розроблена математична модель інфляції знань надає можливість формалізувати та теоретично обґрунтувати важливий аспект економіки знань - Life Long Learning (навчання впродовж життя), як необхідну умову конкурентоздатності сучасної людини. На основі розробленої моделі запропоновано рекомендації щодо зменшення інфляції знань, а отже і прискорення впровадження ІКТ.

4. Розроблено метод кількісного оцінювання технологічного розриву на основі методу головних компонент, що надає можливість автоматизувати процес оцінювання величини розриву між об'єктами впровадження ІКТ.

5. Розроблено метод формування оптимального сигналу управління для об'єктів впровадження ІКТ, який надає можливість зменшити технологічний розрив на 10% стосовно прогнозованих значень технологічного розриву.

6. Розроблено прототип інформаційної системи з управління життєвим циклом ІКТ, який є основою для розроблення повнофункціонального програмного забезпечення та може використовуватися суб'єктами господарювання для побудови комплексної системи управління життєдіяльністю.

**Реалізація результатів роботи.** Результати дисертації використано в роботі КП «Київський Освітній Хаб» (акт впровадження), Громадського Об'єднання «Асоціація Інноваційної та цифрової освіти» (акт впровадження), консалтингової компанії «EnC» (ТОВ «АТМ БІЗНЕС РІШЕНЬ») та впроваджено в навчальний процес факультету інформаційних технологій і систем Черкаського державного технологічного університету (акт впровадження).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційне дослідження є самостійно виконаною роботою, в якій відображено особистий авторський підхід та персонально отримані теоретичні та практичні результати відповідно до теми напряму дослідження. В роботах, які опубліковані та відображають основний зміст та опубліковані у співавторстві, автору дисертації безпосередньо належать напрацювання стосовно: дослідження розвитку та становлення ІКТ [1, 2, 3], розроблення математичної моделі впливу інновацій на відкриту технічну систему [4], пошук нових підходів для синтезу рекомендацій стосовно ефективного управління впровадженням ІКТ [5, 6, 7], розроблення математичної моделі інфляції знань [8], дослідження явища технологічного відставання та розроблення відповідної моделі [9, 10].

**Публікації за темою дисертації.** Основні положення дисертації опубліковано у 15 друкованих працях, у тому числі: у 8 статтях у фахових виданнях України, 1 статті в періодичному фаховому закордонному виданні, 1 стаття в інших виданнях, а також в матеріалах 5 міжнародних науково-технічних конференцій.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи оприлюднені та обговорені на науково-технічних конференціях: IEEE XXXIII International Scientific Conference «Electronics and Nanotechnology (ELNANO)» (Київ, 2013); Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології» (Київ, 2015); V Міжнар. науково-

практична конференція «Математика в сучасному технічному університеті» (Київ, 2016); International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science TCSET’2018” (Львів, 2018); XXVIII міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я» (Харків, 2020).

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, п’яти розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел та має 150 сторінок основного тексту, 36 рисунків, 26 таблиць, 18 сторінок додатків. Список використаних джерел містить 139 найменувань і займає 12 сторінок. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 168 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** представлена основна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми, визначено: мету, задачі, об’єкт, предмет і методи дослідження; вказано наукову новизну та практичну цінність результатів дисертації; зазначено зв’язок з науковими програмами, планами і темами; надано відомості щодо достовірності, обґрунтованості, реалізації та апробації результатів; наведено перелік публікацій за темою дисертації та особистого внеску здобувача.

У **першому розділі** систематизовано основні етапи становлення сучасних ІКТ, вказано основні тенденції, проаналізовано рушійні сили розвитку, розглянуто вплив ІКТ на соціальний та економічний аспекти, окремо акцентовано увагу на ролі та місці інновації в ІТ.

За хронологічний каркас обрано концепцію індустріальних революцій, яка, на відміну від «хвиль» Кондратьєва та Шумпетера, більш формалізовано віддзеркалює саме технологічну еволюцію. Індустріальна революція – умовне позначення докорінних якісних змін засобів виробництва – перехід на новий рівень організації соціально-економічного устрою. Для кожної індустріальної революції ІТ відігравало вирішальну роль: для першої – поширення досвіду та знань, для другої – створення систем керування виробничими лініями, для третьої – ІТ є інструментом розвитку, для четвертої – ІТ є основним технологічним базисом. Виділено основні чинники розвитку ІКТ.

Описано схему управління життєвим циклом ІКТ (рис.1).

Нехай  $S(t) = f(t, s_1, s_2, \dots, s_M)$  – вектор-функція задана в просторі  $\mathbb{R}^M$ , яка описує стан сервісу,  $s_i$   $i \in (0; M)$  - складові сервісу;  $P(t) = f(t, p_1, p, \dots, p_N)$  – вектор-функція задана в просторі  $\mathbb{R}^N$ , яка описує стан потреби,  $p_j$   $j \in (0; N)$  - складові потреби.

Обмеження: розглянуто лише випадки  $\mathbb{R}^N \subseteq \mathbb{R}^M$ , тобто різноманіття потреби завжди більше різноманіття сервісу.

Тоді цільовою функцією управління життєвим циклом буде:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \sum_{j=1}^N w_j \frac{dS}{dp_j} \right) \rightarrow \min$$

Проведено аналіз методів дослідження життєвого циклу ІКТ. Зроблено висновки, щодо обмежень, переваг та недоліків.

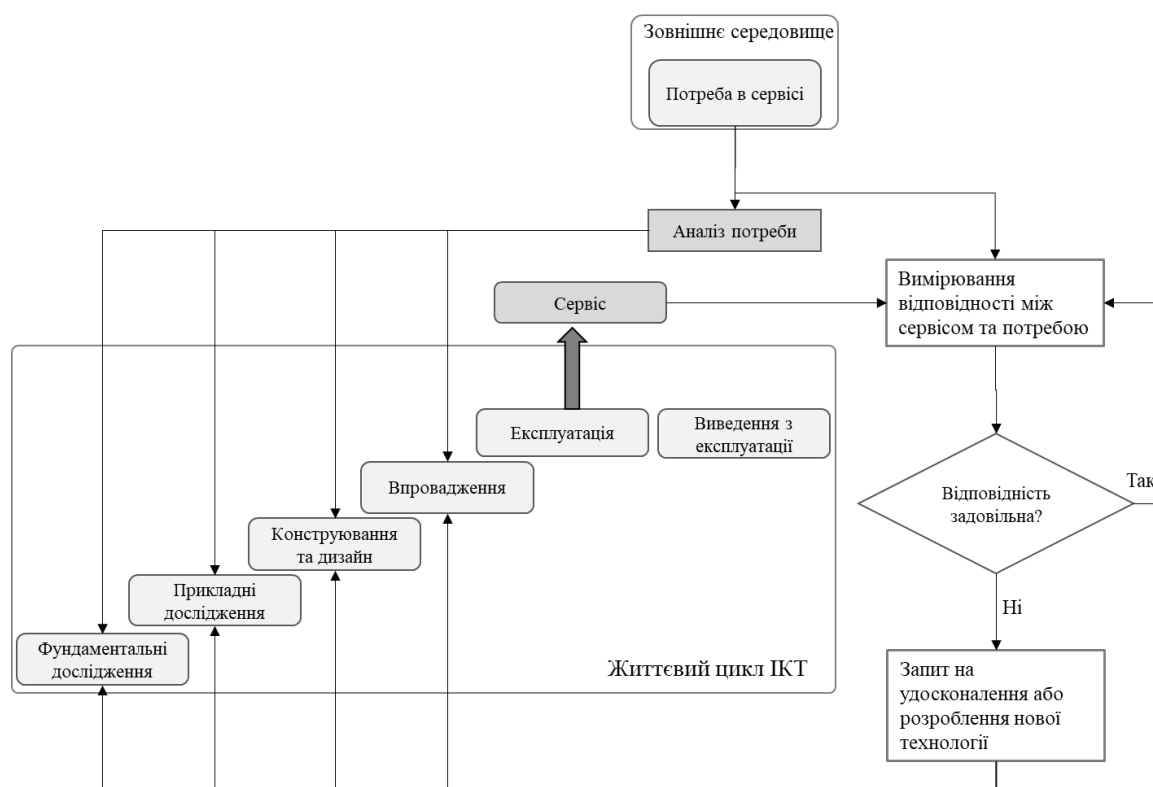


Рисунок 1. Схема управління життєвим циклом ІКТ

У другому розділі зосереджено увагу на дослідженні впливу інновацій на життєвий цикл ІКТ.

Розвиток ІКТ можливий лише за умови обміну інформацією, енергією з зовнішнім середовищем. Одним з видів обміну є потік інновацій. Інновація в даному контексті – впровадження та засвоєння технологічною системою нової інформації. Саме тому актуальним є пошук розв’язку задачі аналізу поведінки системи під впливом інновації.

Запропоновано використовувати підхід на основі теорії біфуркацій. З основних положень синергетики відомо, що еволюція складної системи є послідовністю процесів самоорганізації, внаслідок якої система еволюціонує в напрямку підвищення складності. Впродовж розвитку система проходить через каскад біфуркацій під дією зовнішнього впливу. Внаслідок кожної біфуркації функціональна та структурна складова системи зазнають змін. Прикладом послідовності біфуркацій є класичні біфуркаційні діаграми (логістичне відображення, двобічне відображення, синус-відображення та відображення Гауса).

Комплексним критерієм складності прийнято ентропію системи. Для аналізу обрано узагальнену форму ентропії. Такою формою є ентропія Реньї, яка має вигляд:

$$H = \frac{1}{1-q} \ln \sum_i p_i^q$$



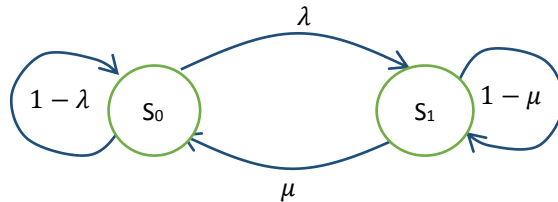


Рисунок 2. Графічна інтерпретація бістабільної системи

Процес зміни стану системи показано на прикладі бістабільної системи, яка під зовнішнім впливом або змінює свій стан або залишається в попередньому. Для опису процесу використано апарат ланцюгів Маркова (рис.2). Зовнішній або внутрішній вплив може спровокувати перехід системи від одного стану  $S_0$  до іншого  $S_1$  відповідно з інтенсивностями  $\lambda$  та  $\mu$ .

Якщо ймовірності перебування системи в станах  $S_0$  та  $S_1$  відповідно є  $p_0(t)$  та  $p_1(t)$ , тоді можна отримати вираз для значення ентропії Реньї бістабільної системи у вигляді:

$$H = \frac{1}{1-q} \ln(p_0(t)^q + p_1(t)^q) = \frac{1}{1-q} \ln\left(\left(\frac{1+\alpha e^{-\beta t}}{1+\alpha}\right)^q + \left(\frac{\alpha(1-e^{-\beta t})}{1+\alpha}\right)^q\right).$$

За різних значень параметру  $\alpha$  можливі такі режими функціонування системи (табл.1)

Таблиця 1

## Режими функціонування системи

Значення параметру $\alpha$	Відношення ймовірностей	Режим (стан)
$\lambda > \mu, \alpha < 1$	$p_0 > p_1$	$S_0$
$\lambda = \mu, \alpha = 1$	$p_0 = p_1$	$S_0$ або $S_1$
$\lambda < \mu, \alpha > 1$	$p_0 < p_1$	$S_1$

Параметр  $\alpha$  зазнає змін через зміни умов функціонування системи – через зовнішній або внутрішній вплив. Для подальшого аналізу введено в модель часову залежність –  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$ . Як функцію, яка якісно

описує поведінку  $\alpha(t)$ , використано S-подібну криву.

На рис. 3 наведено зміну ймовірностей стану системи, а також динаміку ентропії системи.

Показано, що ентропія системи під впливом інновації зростає до максимального значення в певній критичній точці. В цій точці ймовірності перебування в стані  $S_0$  та  $S_1$  однакові ( $p_0 = p_1$ ). Ця точка є точкою біфуркації або точкою максимальної невизначеності (локальний максимум ентропії). В точці біфуркації система під впливом флуктуацій обирає одну з можливих реалізацій, тобто можливий перехід як в новий стан  $S_1$ , так і в попередній  $S_0$ . За умови наступних інноваційних впливів система переходить за вказаним принципом в нові стани  $S_2, S_3, \dots, S_n$  через послідовність біфуркацій. За кожного з цих переходів система спочатку перебуватиме в умовній точці біфуркації з подальшою стабілізацією в певному стані.

Для підтвердження тези щодо локального максимуму ентропії в точці біфуркації визначено ентропію Реньї для класичного двобічного відображення

$$x_{n+1} = r \frac{x_n}{1+x_n^3} \quad (\text{рис.4}).$$

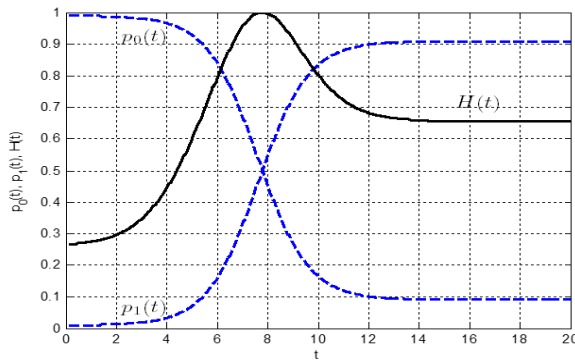


Рисунок 3. Ентропія системи в момент зміни станів

антиентропійних чинників. Рис. 4 також демонструє еволюцію після точки біфуркації (моменту інноваційного впливу, який спричинив стрімке зростання невизначеності в системі). На прикладі двобічного відображення видно, що подвоєння циклу призводить до збільшення кількості можливих траєкторій розвитку, а отже знову зростає (хоча і не так швидко) невизначеність і відповідно ентропія.

Акцентовано увагу, що така поведінка системи в околі точки біфуркації подібна до кривої hure cycle – емпіричною моделлю стадій розвитку, яку запропонувала дослідницька компанія Gartner (рис.5). Основний зміст поняття hure cycle: кожна технологія в процесі досягнення зрілості проходить кілька етапів, кожен з яких характеризують різним ступенем інтересу з боку суспільства і фахівців: технологічний тригер (англ. technology trigger) - поява інновації, перші публікації про нову технологію; пік надмірних очікувань (англ. Peak of Inflated Expectation) - від нової технології очікують революційних властивостей, технологія, завдяки новизні, стає популярною і предметом широкого обговорення в суспільстві; позбавлення від ілюзій (англ. Trough of Disillusionment) - виявляються недоліки технології, а втрата новизни не сприяє зростанню кількості публікацій, відзначається розчарування новою технологією; подолання недоліків (англ. Slope of Enlightenment) - усуваються основні недоліки, інтерес до технології повільно повертається, технологія починає впроваджуватися в комерційних проектах; плато продуктивності (англ. Plateau of Productivity) - зрілість технології, співтовариство сприймає технологію як даність, усвідомлюючи її переваги та недоліки.

Подібність кривих, а також розуміння на якісному рівні процесів, які властиві для розвитку технології, вказує на можливість запропонувати фізичну інтерпретацію кривої Gartner, яка полягає в тому, що окрім класифікації етапів життєвого циклу, вона достатньо якісно описує інформаційно-ентропійний обмін, який має місце у технологічній системі в процесі її становлення: початковий етап відповідає появі потенційного нового стану до якого може прямувати система (поява першої інформації про технологію, наукові статті, перша критика, прототипи); домінування в системі процесу переходу від попереднього стану до наступного (все більше учасників, елементів системи стають задіяними та/або причетними до нової технології); етап зміни станів, для

В точках біфуркації мають місце локальні максимуми ентропії, які є наслідком зростання невизначеності. Подальше зменшення ентропії обумовлено стабілізацією стану. Оскільки розглянуто відкриті системи, то умова «не зменшення» ентропії не є жорсткою і зменшення ентропії відбувається за умови впливу внутрішніх або зовнішніх

якого характерне максимальне напруження, адже відбуваються кількісні/якісні зміни, які впливають на всі елементи систем. Система перебуває в стані максимальної невизначеності; етап зменшення невизначеності.

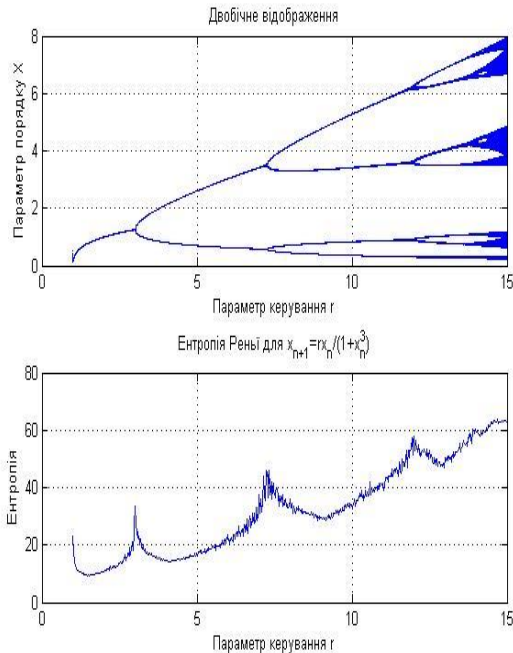


Рисунок 4. Біфуркаційна діаграма та ентропія двобічного відображення

елементами/функціями, які вже існують, тоді можливе згорання технології та розвиток нової; технологія продовжує ефективно функціонувати, в процесі експлуатації до неї вносяться мінімальні корекції. У будь-якому разі технологія продовжує функціонувати, різноманітність можливих сценаріїв дещо збільшують невизначеність (ентропію) системи в цілому.

На основі отриманих результатів розвинуто модель прийняття рішень щодо управління життєвим циклом ІКТ на основі емпіричної моделі Gartner Hype Cycle завдяки врахуванню процесів ентропійно-інформаційного обміну в ІКТ, на основі якої запропоновано практичні рекомендації щодо зменшення невизначеності при впровадженні ІКТ.

Елементи системи зазнавши впливу прямують до стаціонарного стану. Починають діяти зовнішні та внутрішньо системні антиентропійні чинники - протидія інноваціям, реформам, змінам, адаптація нового елемента. Технологія починає діяти в реальних умовах, стає елементом для надсистем, зазнає впливу «знизу» (від нижчих) та «згори» (від вищих ієрархічних рівнів);

- якщо технологія/інновація пройшла фазу адаптації, то можливо декілька подальших сценаріїв (тобто декілька станів): технологія може бути допрацьована з урахуванням особливостей/зауважень/перших невдач; роботи з технології можуть бути згорнуті, в процесі адаптації виникла критична несумісність з

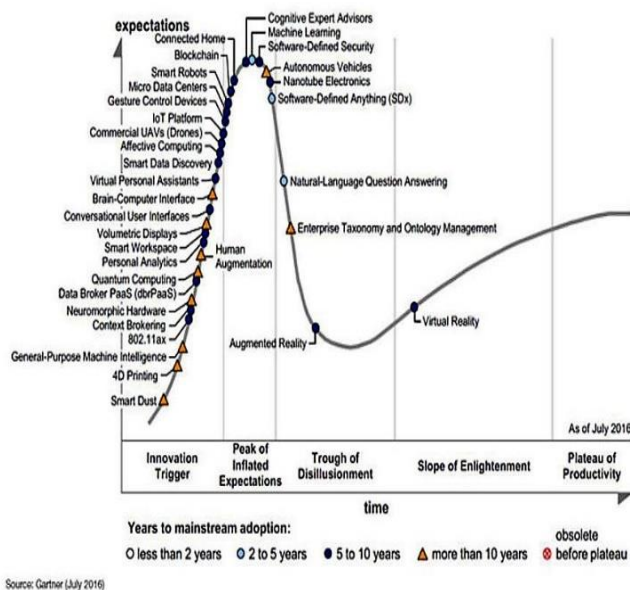


Рисунок 5. Крива «зрілості технологій»

практичні рекомендації щодо зменшення невизначеності при впровадженні ІКТ.

В третьому розділі досліджено неоднорідний розвиток ІКТ та об'єктів впровадження ІКТ під дією впливу послідовності інновацій та формування технологічного розриву, який виникає як реакція на неоднорідні потоки інновацій. Для цього на основі модифікації логістичного рівняння за умов впливу потоку інновацій отримано еволюційне рівняння, яке описує динаміку розвитку ІКТ. Для моделювання потоку інновацій обрано однорідний стаціонарний потік без післядії (пуассонівський потік з інтенсивністю  $\lambda$ ). Розглянуто дві моделі впливу лінійну (а) та експоненціальну (б):

а) у вигляді незалежних від потоку величин  $\alpha$  розподілених за нормальним законом  $N(\mu > 0, \delta < 3\mu)$ ;

б) у вигляді незалежних величин  $\alpha$ , які розподілені за законом Пуассона з інтенсивністю, яка експоненціально залежить від часу.

Тоді зазначений потік можна представити через суму функцій Хевісайда:

$$P_{\text{вх}}(t) = \sum_i \alpha_i \sigma(t - t_i'),$$

де  $\sigma(t)$  – функція Хевісайда,  $t_i'$  – початок  $i$ -тої події,  $\alpha_i$  –  $i$ -те прирощення.

Зокрема показано, що розвиток технологічної системи на обмеженому часовому інтервалі можна описати S-законом, який характеризує поведінку системи в умовах обмеженого ресурсу або наявності опору/протидії середовища. Нехай  $f(t)$  – функція, яка характеризує рівень проникнення технології,  $P$  – змінна, яка визначає потенціал технології,  $r > 0$  – швидкість впровадження/проникнення технології, тоді швидкість зміни технології в момент часу  $t$  буде пропорційна поточному стану технології та остаточному потенціалу. Отримано рівняння, яке описує розвиток системи за умови надходження в систему інновацій, які змінюють значення потенціалу технології  $P(t)$ :

$$\frac{d}{dt} f(t) = rf(t) \left( 1 - \frac{f(t)}{P(t)} \right),$$

Для лінійної моделі отримано розв'язок у вигляді:

$$f_a(t) = \frac{f_0 e^{r(t-t_0)}}{rf_0 \int_{t_0}^t \frac{e^{r(t-t_0)}}{P(t)} dt + 1} = \frac{f_0 e^{r(t-t_0)}}{rf_0 \int_{t_0}^t \frac{e^{r(t-t_0)}}{\mu \lambda t} dt + 1} = \frac{\mu \lambda f_0 e^{r(t-t_0)}}{rf_0 e^{-rt_0} (Ei(rt) - Ei(t_0)) + \mu \lambda}$$

Для експоненціальної:

$$f_b(t) = \frac{f_0 e^{r(t-t_0)}}{rf_0 \int_{t_0}^t \frac{e^{r(t-t_0)}}{P(t)} dt + 1} = \frac{f_0 e^{r(t-t_0)}}{\gamma rf_0 \int_{t_0}^t \frac{e^{r(t-t_0)}}{e^{\gamma t}} dt + 1} = \frac{f_0 (r - \gamma) e^{r(t-t_0)}}{\gamma rf_0 e^{-rt_0} (e^{(r-\gamma)t} - e^{(r-\gamma)t_0}) + r - \gamma}$$

У такий спосіб отримано аналітичні співвідношення, які описують еволюцію технічної системи за умов впливу потоку інновацій за різних сценаріїв,

що дозволяє проводити порівняльний аналіз неоднорідного розвитку ІКТ та об'єктів впровадження ІКТ. Зокрема, запропоновано як функцію відставання/випередження використовувати вираз:

$$\varepsilon(t) = \ln \frac{f_1(t)}{f_2(t)}, \quad f_1(t) > 0, f_2(t) > 0,$$

де  $f_1(t)$  – реакція системи  $T_1$ ,  $f_2(t)$  реакція системи  $T_2$ . Показано, що технологічне відставання між двома системами пропорційне відношенню інтенсивностей впровадження інновацій, а також залежить від їх якості, яка безпосередньо визначає технологічний потенціал кожного нововведення.

В роботі визначено функціональну залежність зміни в часі величини технологічного розриву від параметрів потоку нововведень та від внутрішньої характеристики системи, як здатності сприймати інноваційний вплив, що надає можливість проводити аналіз основних чинників, які визначають технологічний розрив, а отже формувати рекомендації стосовно заходів з подолання розриву та управління життєвим циклом ІКТ.

В **четвертому розділі** визначено вплив скорочення життєвого циклу технологій на знецінення практичних знань та навичок, висвітлено питання впливу тривалості життєвого циклу ІКТ на процеси накопичення та актуалізації знань. Розкрито поняття «процес інфляції знань».

Механізм виникнення процесу інфляції знань представлено на рис. 6.

Нехай  $T(t)$  – функція еволюції технології,  $Z(t)$  – функція, яка описує актуальні знання замкненої соціальної групи, яка використовує технології  $T(t)$ .

Зроблено припущення: знання зазнають трансформації під час, так званої, дифузії/поширення знань або в межах одного покоління, або між різними поколіннями ( $\xi > 0$ ); накопичення знань залежать від поточного рівня технологій та знань ( $\nu > 0$ ); технології з часом втрачають свою актуальність («старіють») ( $\theta > 0$ ); розвиток технологій обумовлений поточним рівнем знань ( $\chi > 0$ ). Отже, синтезовано відповідну динамічну модель:

$$\begin{cases} \frac{dZ}{dt} = -\xi Z + \nu Z T, \\ \frac{dT}{dt} = -\theta T + \chi Z. \end{cases}$$

Проведено аналіз стаціонарних точок системи отриманої, побудовано відповідний фазовий портрет системи (рис.7). Інтерпретація отриманих результатів: забарвлена площина – зона регресу. (якщо рівень технології ( $T$ ) та/або знань ( $Z$ ) перебувають в цій зоні, то має місце поступовий регрес, тобто  $Z \rightarrow 0$ ;  $T \rightarrow 0$ ); незабарвлена – зона прогресу – будь-яка траєкторія фазового простору, яка проходить через точку, що належить цій зоні, неодмінно прямує до нескінченності, тобто має місце взаєморозвиток

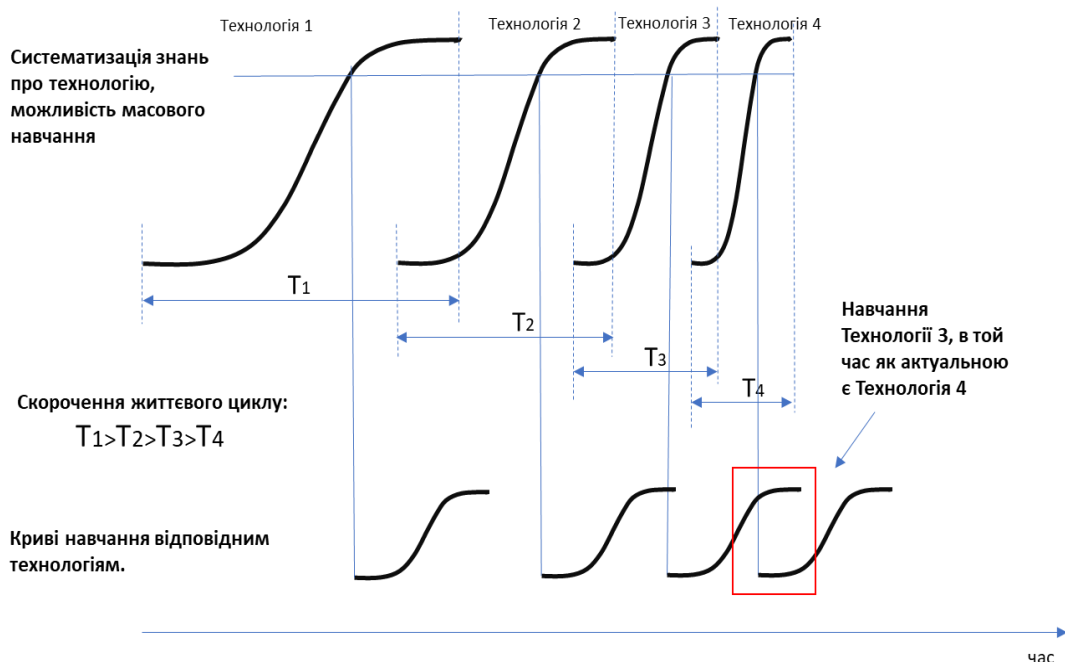


Рисунок 6. Механізм виникнення невідповідності між технологією і практичними знаннями.

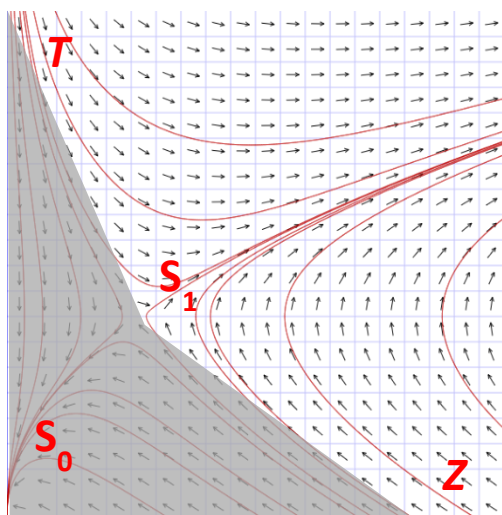


Рисунок. 7. Фазовий портрет системи «технологія-знання» (точками  $S_0$ ,  $S_1$  позначено стаціонарні точки).

Оскільки важливою є «зона прогресу», то наближеним розв’язком системи в цій зоні є:  $Z(t) \sim C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} \sim C_1 e^{\lambda_1 t}$ ;  $T(t) \sim C_{21} e^{\lambda_1 t}$ , оскільки  $\lambda_1 > 0$ .

На основі отриманих результатів в роботі запропоновано визначення та інтерпретація поняття «процес інфляції знань», як процес знецінення практичних знань, через постійне зростання загального рівня інформації та практичних знань щодо нових технологій та засобів виробництва з однієї сторони, та поступова втрата актуальності набутих знань – з іншої. Тим самим отриманий раніше обсяг знань після деякого часу втрачає свою цінність через зменшення актуальності/відповідності до зміненого соціального та технологічного середовища.

Таблиця 2

Дослідження характеру стаціонарних точок  $S_0$ ,  $S_1$ .

Стаціонарна точка	Власні значення характеристичного рівняння:		Тип стаціонарної точки
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	
$S_0(0; 0)$	$-\gamma < 0$	$-\alpha < 0$	Стійкий вузол
$S_1\left(\frac{\gamma\alpha}{\mu\beta}; \frac{\gamma}{\mu}\right)$	$\frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4\alpha^2}}{2\gamma} > 0$	$\frac{-\gamma - \sqrt{\gamma^2 + 4\alpha^2}}{2\gamma} < 0$	Сідлова точка

Можна показати, що знання набуті в процесі навчання  $i$ -того індивіду в момент часу  $t_0$   $V_{i,t_0} = \xi_i z(t_0)$ , де  $\xi_i \in (0; 1)$  – індивідуальні здатності/фільтр щодо освоєння знань. Знання, які могли бути набуті тим самим індивідом через час  $\Delta t$  -  $V_{i,t_1} = \xi_i z(t_1) = \xi_i z(t_0 + \Delta t)$ .

Тоді індекс інфляції:

$$I(t_0, t_1) = \frac{V_{i,t_1}}{V_{i,t_0}} = \frac{\xi_i z(t_0 + \Delta t)}{\xi_i z(t_0)} \sim e^{\lambda_1 \Delta t}$$

Отже, знання втрачають актуальність експоненціально в залежності від інтервалу часу. Процес інфляції знань є природнім явищем, індивід з його знаннями в силу зміни технологічного середовища завжди перебуває у стані нерівноваги. І цей стан за своїм змістом є джерелом розвитку. Можна сприймати інфляцію як стимул до постійного вдосконалення та набуття нових знань та навичок. На макрорівні інфляція знань є фактором «природного добору» - більш сучасні знання є більш конкурентними і затребуваними. В роботі запропоновано практичні рекомендації щодо підвищення актуалізації знань та навичок в умовах стрімкої появи нових технологій, які зроблять можливим підвищити ефективність управління життєвим циклом ІКТ.

В п'ятому розділі для апробації отриманих моделей (математична модель технологічного розриву між двома об'єктами впровадження ІКТ на основі нелінійного диференціального рівняння еволюції системи, яка функціонує в умовах обмежених ресурсів, та математична модель інфляції практичних знань в галузі ІКТ, яка враховує зв'язок між темпами розвитку технологій та накопичення знань як нелінійний процес) виконано: визначення розміру технологічного розриву між Україною та країнами ЄС з позицій становлення цифрової економіки, як результату впровадження ІКТ та ІТ; визначення динаміки значення розриву і на основі запропонованих моделей дано адекватний опис; сформовано перелік рекомендацій з управління життєвим циклом ІКТ з метою скорочення відставання та оцінити їх ефективність.

Проведено кластеризацію країн за рівнем розвитку цифрової економіки рис. 8. (попередньо зменшено розмірність простору ознак методом головних компонент). Для визначення оптимального за критерієм вартості сигналу управління для скорочення технологічного розриву синтезовано цільову функцію з обмеженнями:

$$\begin{cases} C_0(\Delta x) = \sum_i \Delta x_i^2 \rightarrow \min, \\ \varphi_1(x) = \Delta K_1 - |\vec{a} \overline{\Delta x}| = \Delta K_1 - \sum_i a_i \Delta x_i = 0, \\ \varphi_2(x) = \Delta K_2 - |\vec{b} \overline{\Delta x}| = \Delta K_2 - \sum_i b_i \Delta x_i = 0. \end{cases}$$

де  $\varphi_1(x)$ ,  $\varphi_2(x)$  – обмеження,  $\overline{\Delta x} \in \mathbb{R}^5: \{\Delta x_1; \Delta x_2; \Delta x_3; \Delta x_4; \Delta x_5\}$  - вектор зміщень в початковому просторі ознак,  $\Delta K_1, \Delta K_2$  – складові відстані  $\Delta K$  (значення цифрового розриву в просторі головних компонент).

Розв'язок задачі визначить оптимальні, за критерієм вартості, значення зміщень за кожній компоненти у первинному просторі ознак таким чином, щоб у просторі К зміщення відповідали  $\Delta K_1$  та  $\Delta K_2$ .

Для розв'язку задачі запропоновано використати метод множників Лагранжа, відповідно до якого складено відповідну функцію:

$$(\Delta x, \mu) = \sum_i \Delta x_i^2 + \mu_1(\Delta K_1 - \sum_i a_i \Delta x_i) + \mu_2(\Delta K_2 - \sum_i b_i \Delta x_i).$$

Тоді необхідна умова екстремуму:  $grad L(\overline{\Delta x}, \overline{\mu}) = 0$ .

Розв'язок системи дозволяє визначити складові вектору зміщення та визначити відносні значення (табл. 3). У такий спосіб отримано оптимальний за критерієм вартості вплив управління на об'єкт впровадження ІКТ (такий як держава) з метою подолання технологічного розриву.

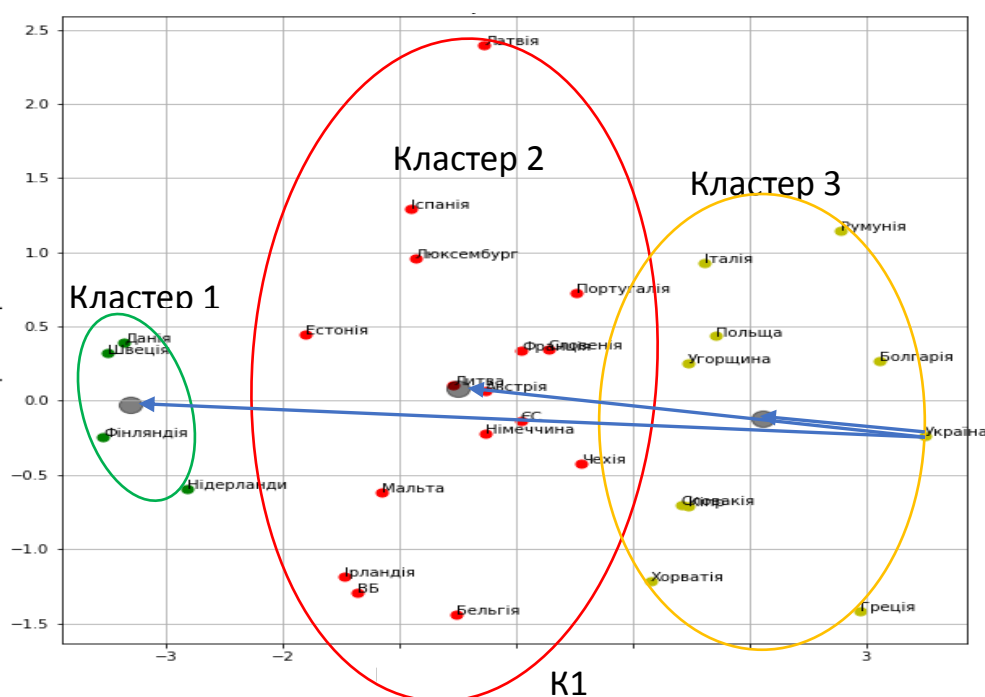


Рисунок 8. Кластеризація за індексом розвитку цифрової економіки DESI в просторі головних компонент К.

Таблиця 3

Складники вектору зміщення та відносні значення

Складники вектору зміщення	Значення	Відносне значення, %
Підключення до Інтернету, $\Delta x_1$	2,3	15%
Розвиток інтелектуального капіталу фактор, $\Delta x_2$	3,36	22%
Використання ІКТ сервісів, $\Delta x_3$	3,41	23%
Впровадження цифрових технологій, $\Delta x_4$	3,13	21%
Розвиток публічних цифрових сервісів, $\Delta x_5$	2,9	19%



Найбільшу питому вагу мають складові розвитку інтелектуального капіталу (22%), використання ІКТ сервісів (23%) та впровадження цифрових технологій (21%). Ці компоненти залежать від відповідності практичних знань та навичок сучасним технологіям, саме тому для подолання цифрового розриву доцільно використовувати рекомендації стосовно зменшення інфляції знань. На основі зазначених вище викладок сформовано метод підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ (рис. 9).



Рисунок 9. Структурна схема методу підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ.

Для доведення дієвості запропонованого методу підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ розглянуто реальну динаміку значення цифрового розриву між Україною та ЄС 2015-2020 рр, визначено прогностичні значення цифрового розриву за умови збереження тенденцій та відповідно до методу проведено моделювання значення цифрового розриву (табл. 4).

Таблиця 4

Порівняльний аналіз прогнозованих та змодельованих значень цифрового розриву

Рік	Прогнозне значення цифрового розриву	Змодельовані значення цифрового розриву	Відносна різниця, %
2021	6,46	5,89	8,8%
2022	6,21	5,62	9,4%
2023	5,96	5,33	10,6%

На основі розробленого методу підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ створено прототип інформаційної системи підтримки

прийняття рішень щодо підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ.

## **ВИСНОВКИ**

Множина теоретичних та практичних положень отриманих в дисертаційній роботі складає нове вирішення науково-прикладного завдання підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ.

1. Встановлено, що завдання підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ в поточних соціально-економічних умовах та в умовах експоненціального технологічного розвитку є надзвичайно актуальним. Неефективне управління етапами життєвого циклу ІКТ призводить до неоднорідного розвитку окремих елементів соціального та економічного середовища – соціальне та економічне розшарування (цифровий розрив) як результат неоднорідності впровадження; втрата суб'єктності користувача, як результат часткової віртуалізації процесів життєдіяльності; парадокс продуктивності ІКТ (невідповідність між ефективністю від впровадження технології та інвестованим ресурсам), як результат впровадження ІКТ безвідносно до фізичних процесів об'єкта впровадження. Результати проведеного аналізу надали можливість сформулювати проблему дисертаційного дослідження щодо розроблення моделей методу підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ.

2. Розроблено концептуальну модель управління життєвим циклом ІКТ, в основу якої покладено функціонал відповідності між поточною потребою та можливостями технології, що дало можливість сформулювати цільову функцію управління життєвим циклом.

3. Використання ентропії як метрики невизначеності системи дало можливість дослідити характер поведінки ІКТ в моменти інноваційного впливу. Зокрема визначено, що під дією інновації ентропія системи зростає, а після введення в дію антиентропійних механізмів спадає. Порівняльний аналіз поведінки системи в точці біфуркації (момент впливу інновації) та емпіричної кривої Gartner надав можливість задати інтерпретацію останньої, що дозволило розвинути модель прийняття рішень щодо управління життєвим циклом ІКТ на основі врахування процесів ентропійно-інформаційного обміну в ІКТ, і на основі якої запропоновано практичні рекомендації щодо зменшення невизначеності при впровадженні ІКТ.

4. Розроблено математичну модель технологічного розриву між двома об'єктами впровадження ІКТ на основі нелінійного диференціального рівняння еволюції системи, яка функціонує в умовах обмежених ресурсів. Модель надає можливість формалізувати технологічний розрив між об'єктами впровадження ІКТ і адекватно описувати технологічний розрив через параметри інтенсивності впровадження інновацій, величини технологічного потенціалу інновації та від внутрішньої властивості об'єкту впровадження ІКТ сприймати інноваційний вплив. Досліджено еволюцію технологічного розриву за умови впливу потоку інновації у вигляді двох моделей: пуассонівського потоку подій з незалежними додатними прирощеннями розподіленими за нормальним законом (лінійна

модель); з експоненціально зростаючим коефіцієнтом впливу (експоненціальна модель). Визначено функціональну залежність зміни в часі величини технологічного розриву від параметрів потоку нововведень (інтенсивність впровадження та величина потенціалу інновації) та від внутрішньої характеристики системи як здатності сприймати інноваційний вплив.

5. Розроблено модель динамічної системи, яка описує співвідношення темпів накопичення знань та технологічного прогресу, визначено характер стаціонарних точок в фазовому просторі, встановлено наявність двох умовних областей фазового простору (зона прогресу, зона регресу), визначено динаміку системи в зазначених областях. На основі аналізу характеру поведінки накопичення знань та розвитку технології, в роботі визначено зміст наукової категорії «процес інфляції знань», що означає постійне зростання загального рівня практичної інформації/знань щодо нових технологій/засобів виробництва – з однієї сторони, та поступової втрати цінності практичних знань через зменшення актуальності/відповідності до зміненого технологічного середовища. Такий підхід до розуміння поняття «процес інфляції знань» надає форму процесам втрати актуальності, знецінення знань тощо. Зазначено, що інфляція знань є природнім процесом, який віддзеркалює нерівноважне положення окремого індивіду по відношенню до технологічної еволюції і так само є стимулом/джерелом індивідуального розвитку. Формалізація процесу інфляції знань надала можливість розробити практичні рекомендації щодо актуалізації набору знань, яка впливає на скорочення темпів впровадження ІКТ.

6. Розроблено метод по визначенню технологічного (цифрового) розриву на основі статистичного аналізу інтегральних показників розвитку цифрової економіки. Розроблений метод надає можливість визначати величину розриву, а також проводити аналіз динаміки розриву в часі, що дає можливість розробити сигнальні індикатори ефективності або неефективності впровадження ІКТ. На основі методу визначено фактичний технологічний розрив між Україною, та країнами ЄС як об'єктами впровадження ІКТ, на основі аналізу інтегральних показників розвитку таких як Digital Economy and Society Index за 2015 р - 2020 р. Встановлено, що за вказаний період Україна скоротила відставання на основі швидкого впровадження двох поколінь зв'язку та ініціативі переведення адміністративних державних послуг в онлайн-режим.

7. Розроблено метод підвищення ефективності управління життєвого циклу ІКТ на основі формування сигналу управління на об'єкт впровадження ІКТ на основі вирішення задачі оптимізації з скорочення технологічного розриву. Розроблений метод разом з методом визначення технологічного розриву надав можливість розробити метод підвищення ефективності управління життєвим циклом технології на основі визначення складових технологічного розриву, вирішенню задачі мінімізації витрат на подолання відставання та формування оптимального сигналу управління. Встановлено, що застосування методу надає можливість зменшити цифровий розрив на 10% відносно прогнозованих значень, отриманих на основі статистичного аналізу динаміки поточного цифрового розриву. На основі розробленого методу підвищення ефективності управління

життєвим циклом ІКТ створено прототип інформаційної системи підтримки прийняття рішень щодо підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ.

8. Мета дослідження щодо підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ на основі розроблення методу підвищення ефективності управління життєвим циклом досягнута, всі часткові завдання вирішено повністю. Наукові положення є вирішенням науково-прикладного завдання підвищення ефективності управління життєвим циклом ІКТ.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Веретюк С. М., Пілінський В. В. Сучасні математичні моделі радіоліній. *Електроніка та зв'язок*. 2006. №3 (32), С. 59–67.
2. Веретюк С. М., Пілінський В. В., Шалілех Шахріяр. Територіальне планування розміщення базових станцій стільникової мережі. *Електроніка та зв'язок*. 2008. №2–3 (49–50). С. 294–297.
3. Веретюк С. М., Кирій О. О. Аналіз тенденцій розвитку безпроводових технологій. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2014. № 4(32). С. 111–119.
4. Веретюк С. М., Пілінський В. В. Модель впливу інновації на технічну систему. Новий підхід до аналізу фізичного змісту кривої Гартнера. *Електротехнические и компьютерные системы*. 2017. № 26 (102), С. 121–130.
5. Веретюк С. М., Панченко І. М. Застосування методу головних компонент для порівняльного аналізу розвитку інформаційного суспільства в Україні друк. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2016. № 1(41). С. 35–43.
6. Веретюк С. М., Пілінський В. В. Визначення пріоритетних напрямків розвитку цифрової економіки в Україні. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2016. № 2(42), С. 52–32.
7. Веретюк С. М., Пілінський В. В. Аналіз стану інфокомунікаційних технологій в Україні за методологією DESI. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2015. № 4(38). С. 5–15.
8. Веретюк С. М., Пілінський В. В. Поняття інфляції знань та механізми актуалізації структури навичок та знань працівника в умовах соціально-технологічних змін. *Електротехнические и компьютерные системы*. 2020. № 32(108). С. 121–130.
9. Veretiuk S. and Pilinsky V. Technological gap between information systems formation. *International independent scientific journal*. 2020. No22 (1), pp. 37–71. (**Kraków, Rzeczpospolita Polska**).
10. Веретюк С. М., Пілінський В. В., Буценко Ю. П. Модель технологічного розриву між двома незалежними системами. *Актуальні проблеми економіки, рубрика: Моделі та інформаційні технології в економіці*. 2017. №2(200). С. 91–107.

11. Veretiuk S., Pilinsky V. and Tkachuk I., 2018. *Cognitive Radio Systems Clustering*. In Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science, Proceedings of the International Conference, 2018, Lviv-Slavske, p. 5.
12. Веретюк С. М., Буценко Ю. П. *Модель технологічного розриву (між двома незалежними системами)*. Математика в сучасному технічному університеті: Матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. / Київ. НТУУ «КПІ», 2017. С. 30-33.
13. Веретюк С. М., Пілінський В. В. *Визначення стану інформаційно-комунікаційних технологій за методологією DESI*. Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.. Том III. Розвиток інформаційних технологій, /Київ, 2015. С. 162-164.
14. Веретюк С. М., Пілінський В. В. *Актуалізація завдань ЕМС в умовах діджиталізації та становлення індустрії 4.0*. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD-2020), СЕКЦІЯ 20. Електромагнітна стійкість: матеріали XXVIII Міжнар. наук.-практ. конф., у 4 ч. Ч. IV. / за ред. проф. Сокола Є. І., Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С. 204.
15. Veretiuk S., Tereshchenko T., Yamnenko Y., Veretiuk A.. *Wavelet transform at oriented basis for network traffic forecasting*. In IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Proceedings of the International Conference, 2013. Kyiv, p.112.

## АНОТАЦІЯ

**Веретюк С.М. Підвищення ефективності управління життєвим циклом інформаційно-комунікаційних технологій. - На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» (12 Інформаційні технології). Черкаський Державний Технологічний Університет, Черкаси, 2021.

Розроблено модель управління життєвим циклом ІКТ, в основу якої покладено функціонал відповідності між поточною потребою та можливостями технології, що дало можливість сформулювати цільову функцію управління життєвим циклом. Розвинуто модель прийняття рішень щодо управління життєвим циклом ІКТ на основі врахування процесів ентропійно-інформаційного обміну в ІКТ, і на основі якої запропоновано практичні рекомендації щодо зменшення невизначеності при впровадженні ІКТ. Розроблено математичну модель технологічного розриву між двома об'єктами впровадження ІКТ на основі нелінійного диференціального рівняння еволюції системи, яка функціонує в умовах обмежених ресурсів. Розроблено модель динамічної системи, яка описує співвідношення темпів накопичення знань та технологічного прогресу. Формалізовано зміст наукової категорії «процес інфляції знань». Розроблено метод по визначенню технологічного (цифрового) розриву на основі статистичного аналізу інтегральних показників розвитку цифрової економіки. Розроблено метод формування сигналу управління на

об'єкт впровадження ІКТ на основі вирішення задачі оптимізації з скорочення технологічного розриву.

*Ключові слова:* життєвий цикл інформаційно-комунікаційних технологій, розвиток ІКТ, інновація, технологічний розрив, інфляція знань.

## АННОТАЦИЯ

**Веретюк С.М. Повышение эффективности управления жизненным циклом информационно-коммуникационных технологий. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.13.06 «Информационные технологии» (12 Информационные технологии). Черкасский государственный технологический университет.

Разработана модель управления жизненным циклом ИКТ, в основу которой положен функционал соответствия между текущей потребностью и возможностями технологии, что позволило сформулировать целевую функцию управления жизненным циклом. Развита модель принятия решений по управлению жизненным циклом ИКТ на основе учета процессов энтропийно-информационного обмена в ИКТ, и на основе которой предложены практические рекомендации по уменьшению неопределенности при внедрении ИКТ. Разработана математическая модель технологического разрыва между двумя объектами внедрения ИКТ на основе нелинейного дифференциального уравнения эволюции системы, которая функционирует в условиях ограниченных ресурсов. Разработана модель динамической системы, описывающей соотношение темпов накопления знаний и технологического прогресса. Формализована содержание научной категории «процесс инфляции знаний». Разработан метод по определению технологического (цифрового) разрыва на основе статистического анализа интегральных показателей развития цифровой экономики. Разработан метод формирования сигнала управления на объект внедрения ИКТ на основе решения задачи оптимизации по сокращению технологического разрыва.

*Ключевые слова:* жизненный цикл информационно-коммуникационных технологий, развитие ИКТ, инновация, технологический разрыв, инфляция знаний.

## ABSTRACT

**Veretiuk S.M. Improving the efficiency of information and communication technology lifecycle management. – Qualifying scientific paper as a manuscript.**

Thesis for the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) degree in specialty 05.13.06 - "Information technologies" (12 Information technologies). – Cherkasy State Technological University, Cherkasy, 2021.

It is demonstrated that imperfect management of ICT life cycles leads to negative phenomena - social and economic stratification (digital divide) as a result of heterogeneous implementation; loss of user subjectivity as a result of partial

virtualization of life processes; the paradox of ICT productivity (mismatch between the efficiency of technology implementation and invested resources), as a result of the technology implementation regardless of the physical processes and business processes of the enterprise.

The thesis compares the life cycle models, points to the universality of this concept, which was borrowed from the biological sciences, but this concept adequately describes the development of non-biological objects, as the formation of technology is accompanied by evolutionary processes of selection, competition, diversity, adaptation, mutation, extinction.

The generalized scheme of the technology life cycle management is proposed, which provides an analysis of the compliance of the service as a form of the technology implementation, and the need that evolves over time. The functionality of the control model is defined as additive convolution of partial derivatives of the vector function, which describes the state of the digital service, by the components of the vector function, which characterizes the need. As a target control function, it is proposed to use the time constancy of the specified functionality.

In the thesis the research of influence of innovation in ICT is carried out, the dynamics of entropy is defined. It is shown that the entropy of the system under the influence of innovation increases to the maximum value at a certain critical point. At this point, the probabilities of being in the state  $S_0$  and  $S_1$  are the same ( $p_0 = p_1$ ). This point is the bifurcation point or the point of maximum uncertainty (and therefore at this point we observe the local maximum of entropy). At the bifurcation point, the system under the influence of fluctuations chooses one of the possible implementations, i.e. a possible transition to both the new state  $S_1$  and the previous  $S_0$ . Under the conditions of the following innovative influences the system passes according to the specified principle to new states  $S_2, S_3, \dots, S_n$  through a sequence of bifurcations.

The decision-making model for ICT life cycle management based on the empirical Gartner Hype Cycle model has been developed, taking into account the processes of entropy-information exchange in ICT, on the basis of which practical recommendations for reducing uncertainty in ICT implementation are proposed.

The paper develops a mathematical model of the technological gap between two objects of ICT implementation based on the nonlinear differential equation of evolution of a system operating in conditions of limited resources, which allows to formalize the technological gap between such objects under conditions of heterogeneous innovation flows. The evolution of the technological gap under the influence of the flow of innovation in the form of two models: Poisson flow of events with independent positive increments distributed according to the normal law (linear model); with an exponentially increasing coefficient of influence (exponential model). The functional dependence of the change in time on the magnitude of the technological gap was defined on the parameters of the flow of innovations (intensity of implementation and the magnitude of innovation potential) and on the internal characteristics of the system as the ability to perceive the innovative impact.

The influence of life cycle reduction on the depreciation of practical knowledge and skills has been studied. A model of a dynamic system is developed, which

describes the ratio of the rates of knowledge accumulation and technological progress, the nature of stationary points in the phase space is determined, the presence of two conditional regions of the phase space is demonstrated. Based on the analysis of the nature of knowledge accumulation behavior and technology development, the content of the scientific category "knowledge inflation process" is determined, which means a constant increase in the general level of information / knowledge about new technologies /means of production. Thus, the previously obtained amount of knowledge over time loses its value due to the reduction of relevance to the changed technological environment.

The mathematical model of the process of inflation of practical knowledge in the field of ICT has been developed, which takes into account the relationship between the pace of technology development and knowledge accumulation as a nonlinear process and allows to formalize the inflation of knowledge in terms of shortening the ICT life cycle. The paper offers practical recommendations for increasing the updating of knowledge and skills in the rapid emergence of new technologies.

The actual technological gap between Ukraine as an object of ICT implementation and EU countries is determined. The possibility of adequate describing the dynamics of lagging on the basis of the main provisions of the developed model of the technological gap is demonstrated.

In the thesis the method of increasing the efficiency of a technology life cycle management is developed on the basis of definition of the components of a technological gap. It is determined that the application of the method allows to reduce the digital gap by 10% in relation to the predicted values. In addition, a model and prototype of software for improving the efficiency of ICT lifecycle management was developed. The prototype of an information system for decision making support to improve the efficiency of ICT lifecycle management was created based on the developed method of improving the efficiency of ICT lifecycle management.

*Keywords:* information and communication technology life cycle, ICT development, innovation, technological gap, knowledge inflation.