

МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ІННОВАЦІЙ НА ТЕХНІЧНУ СИСТЕМУ. НОВИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ФІЗИЧНОГО ЗМІСТУ КРИВОЇ ГАРТНЕРА**С. М. Веретюк¹, В. В. Пілінський²**¹ТОВ «Українські Новітні Технології»²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Анотація. Значна кількість технічних систем підпорядковані експоненціальному розподілу, тому для аналізу впливу інновацій на систему використана уніфікована форма ентропії (ентропія Реньї). Математичний апарат марківських ланцюгів дозволяє визначити динаміку ентропії системи під час фазового переходу. Для моделювання змін в режимах системи використано S-криву. Отримано відповідні аналітичні вирази. Показано, що в точках біфуркації система має локальний максимум ентропії. Для підтвердження тези про локальні максимуми ентропії в точках біфуркації визначена ентропія для класичного двостороннього відображення. Виходячи з подібності кривих ентропії системи, яка зазнає інноваційний вплив і криву Гартнера, зроблено висновок щодо можливої конкретної фізичної інтерпретації. Показані приклади цифрових технологій, динаміка їх розвитку ілюструє адекватність отриманих результатів

Ключові слова: біфуркація, крива зрілості технологій Гартнера, інновація, еволюція, ентропія

Вступ

В контексті стрімкого становлення концепції Індустрії 4.0, а також експоненційного технологічного розвитку [1] постає актуальним питання щодо аналізу впливу інновацій на техніко-економічні системи. Адже саме наукова, інженерна і, як наслідок, інноваційна діяльність перебуває в основі зміни сучасного технологічного ландшафту (у тому числі інформаційно-комунікаційні технології – ІКТ).

Еволюцію технології (системи, інновації) можна трактувати як послідовність фазових переходів від одного стійкого (стаціонарного нерівноважного) стану до іншого. Сучасні технічні та економічні системи в термінах синергетики є відкритими та дисипативними, тобто між ними та зовнішнім середовищем відбувається енергетичний та інформаційний обмін. Внаслідок відкритості система має здатність перебувати в нерівноважному стані, який і є джерелом динаміки, джерелом розвитку.

Метою статті є дослідження основних засад становлення та розвитку технології з використанням інформаційно - ентропійного підходу і аналізу реакції системи на інноваційний вплив. На основі отриманих результатів запропоновано фізичну інтерпретацію кривої зрілості технології (Gartner).

1. Еволюція та ентропія

Експоненційний характер еволюції проявляє себе у двох аспектах: по-перше скорочується час між фазами технологічних змін та впровадженням інновацій (зокрема це впливає з аналізу циклів Кондратьєва та інноваційних хвиль Шумпетера [2,3]), по-друге зростає вплив кожної наступної інновації. Постає питання щодо пошуку адекватної моделі опису еволюції технічних систем, зокрема ІКТ систем.

Іншим не менш важливим маркером глобальної технологічної зміни є постійне зростання складності систем, яка включає зростання функціональної та структурної складової системи. Це суттєво посилює нелінійний характер взаємодії між елементами системи. Нелінійність – властивість системи, яка призводить до складної неоднозначної динаміки, як правило, не відповідає очікуванням сформованим на основі попереднього досвіду. Така динаміка ускладнює аналіз системи детерміністичними та статистичними методами.

Важливим поняттям в контексті аналізу розвитку технічної системи є поняття самоорганізації – явища самоупорядкування, яке має місце у відкритій нелінійній системі. Внаслідок чого система набуває нову більш складну, більш організовану структуру.

Іншими словами поява інновації. Новий елемент (або функціонал) обумовлює нестабільність стану та каталізує новий цикл самоорганізації, в результаті якого система формує нові впорядковані сьогоденні теорія самоорганізації складних систем (синергетика) є самостійним напрямом, який сформулював ряд загальних принципів та закономірностей еволюції [4,5,6]:

- зміни (а отже і розвиток) можливі лише у відкритих системах, внаслідок чого мож-

ливий обмін матерією, енергією та інформацією між системою та навколишнім світом;

- система має перебувати в стані нерівноваги;
- самоорганізація може відбуватись в системах, які містять необхідну кількість елементів, які взаємодіють (тобто умова апіорної достатньої складності). Ця умова формує базис для можливої кооперативної дії.

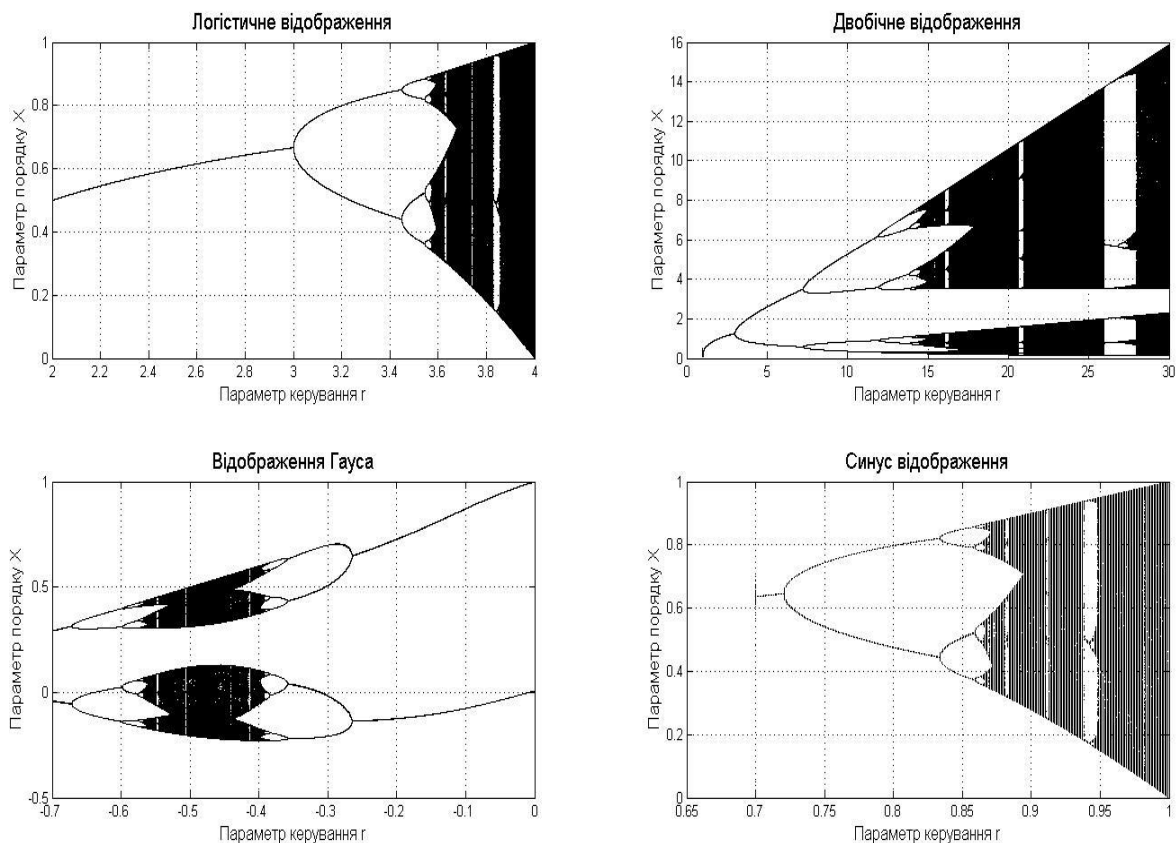


Рис.1. Класичні біфуркаційні діаграми.

З основних положень синергетики еволюція складної системи є послідовність процесів самоорганізації, внаслідок якої система еволюціонує у напрямку підвищення складності. Продовж розвитку система проходить через каскад біфуркацій (біфуркація - термін походить від лат. *bifurcus* - «роздвоєний») і його застосовують в широкому сенсі для позначення якісних перебудов чи метаморфоз різних систем за умов зміни параметрів) під дією зовнішнього впливу, який характеризують параметром керування r . Внаслідок кожної біфуркації функціональна та структурна складова системи (параметр порядку r) зазнають змін. Як приклад послідовності біфур-

кацій є класичні біфуркаційні діаграми (логістичне відображення, двобічне відображення, синус відображення та відображення Гауса) [7] рис.1.

Біфуркайна діаграма еволюційного процесу віддзеркалює той факт, що в системі періодично настають повтори циклу самоорганізації, в результаті чого має місце послідовна зміна станів. Між точками біфуркації система еволюціонує та зберігає відносно стійкий стан. В околі точки біфуркації система втрачає стійкість. Причиною нестійкого стану може бути внутрішній або зовнішній вплив – поява в системі нового елементу (структурна зміна) або поява нової характеристичної структури і переходить на новий якісний рівень. Та-

ким чином в еволюційному циклі можна виділити такі основні особливості:

- відносно тривала плавна зміна структури;
- втрата системою стійкості внаслідок
- інноваційного впливу;
- динаміка процесу самоорганізації.

Приклади еволюції технічних, соціальних та економічних систем під впливом інновацій:

- для пристроїв **стільникового зв'язку** це постійне оновлення процесорів, що надає можливість надавати нові послуги, включення до системи нових елементів таких як сенсорний дисплей, фотокамера тощо. Кожна подібна інновація збільшує рівень складності мобільного телефону як системи. Наразі, для порівняння досить часто використовують тезу, що сучасний телефон має функціональну складність порівнянну з усім апаратно-програмним комплексом програми Аполлон [8];
- для **автомобільної промисловості** заміна двигуна внутрішнього згорання електродвигуном, розроблення та впровадження нових типів акумуляторних батарей, як наслідок збільшення функціональної та структурної складності автомобіля як системи;
- постійне збільшення віртуальних **соціальних мереж** через додавання нових користувачів та зростання зв'язків між суб'єктами мережі, як наслідок зростає, в першу чергу, структурна складова складності;
- впровадження **систем автоматизації на підприємствах** збільшує функціональну складність, виводить на новий рівень систему управління процесами, зменшує собівартість кінцевого продукту, підвищує конкурентоздатність;
- **новообраний керівник або парламент** для країни є також інноваційним чинником, який виводить державу як систему із сталого стану, з подальшою стабілізацією і плавним розвитком на новому якісному рівні;
- **соціальні та економічні потрясіння** є також свого роду інноваційними чинниками, які виводять державу (або держави) із сталого стану, з подальшим проходженням точки біфуркації, за якою майбутній сценарій розвитку не завжди є очевидним.

Наведені приклади підкреслюють універсальність синергетичного підходу. Оскільки синергетика оперує поняттям складності системи, то

корисно використовувати інформаційно-ентропійний понятійний апарат.

2. Ентропія Реньї бістабільної системи

Для адекватного опису процесів еволюції та безпосередньо зростання складності та впорядкованості доцільно ввести метрику. Комплексним критерієм складності можна прийняти ентропію системи. Як відомо [6], класичне поняття ентропії визначає її як міру невизначеності.

Ентропія як міра невизначеності з плином часу перестала бути виключно термодинамічним показником. Шеннон та Вінер [8] обґрунтували поняття інформаційної ентропії як міри невизначеності джерела інформації. Подальші роботи Пригожина, Хакена, Ніколіса, Реньї, Такенса, Клімонтовича [9] використовують ентропію як узагальнену міру складності, невизначеності та впорядкованості для відкритих систем, для яких характерний інтенсивний обмін енергією, інформацією та матерією з навколишнім середовищем.

Класичне визначення ентропії оперує з системами, які підпорядковані розподілу Гіббса. Такий закон розподілу характерний для обмеженого класу систем. Значна кількість соціальних, економічних та технічних систем підпорядковані експоненційному розподілу [11].

В роботі [12] доведено, що принцип максимальності ентропії для ентропії Гіббса-Шеннона може привести до експоненційного розподілу лише за певних штучних обмежень. Отже, експоненційний розподіл, який характерний для реальних складних систем залишається поза межами принципу максимальності ентропії Гіббса-Шеннона. Тому для аналізу таких систем доцільно розглядати більш узагальнену форму ентропії. Такою формою може бути ентропія Реньї [13], яка має вигляд:

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

А.Реньї отримав зазначену форму ентропії як узагальнений клас ентропій. За умови $q \rightarrow 1$ ентропія Реньї співпадає з ентропією Шеннона, саме тому коефіцієнт q можна вважати аналогом параметра керування.

Проаналізуємо систему, яка під впливом зовнішніх сил змінює свій стан. Узагальнено можемо представити цей процес як Марковський ланцюг [14] (рис. 2). Зовнішній або внутрішній вплив може спровокувати перехід системи від одного стану S_0 до іншого S_1 відповідно з інтенсивностями λ та μ

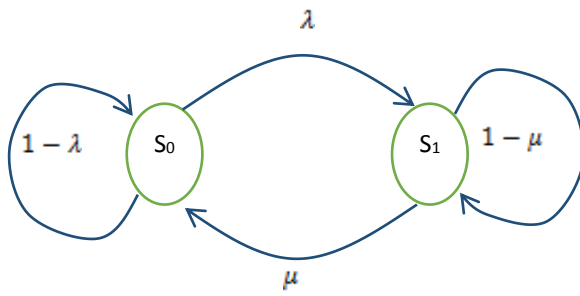


Рис. 2. Графічна інтерпретація станів бістабільної системи

Для зазначеної схеми можемо скласти систему рівнянь Колмогорова-Чепмена [7]. Нехай ймовірності перебування системи в станах S_0 та S_1 відповідно є $p_0(t)$ та $p_1(t)$, тоді:

$$\begin{aligned} p_0(t + \Delta t) &= p_0(t)(1 - \lambda)\Delta t + p_1(t)\mu\Delta t \\ p_1(t + \Delta t) &= p_0(t)\lambda\Delta t + p_1(t)(1 - \mu)\Delta t. \end{aligned}$$

За $\Delta t \rightarrow 0$, маємо:

$$\begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= p_0(t)(1 - \lambda) + p_1(t)\mu \\ \frac{dp_1(t)}{dt} &= p_0(t)\lambda + p_1(t)(1 - \mu). \end{aligned}$$

Розв'язок:

$$\begin{aligned} p_0(t) &= \frac{1 + \alpha e^{-\beta t}}{1 + \alpha}, \\ p_1(t) &= \frac{\alpha(1 - e^{-\beta t})}{1 + \alpha}, \end{aligned}$$

$$\text{де } \alpha = \frac{\lambda}{\mu}, \quad \beta = \lambda + \mu.$$

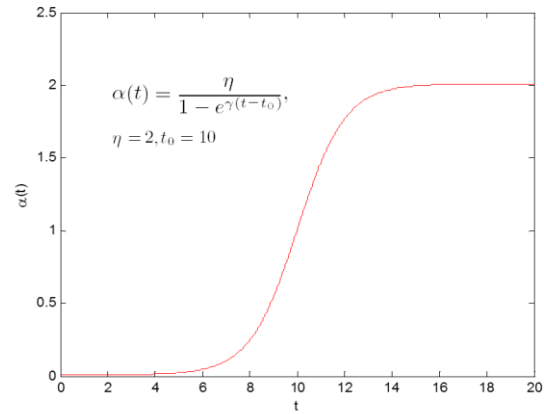
Отримуємо вираз для значення ентропії Реньї бістабільної системи у вигляді:

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

За різних значень параметру α можливі такі режими функціонування системи (табл.1).

Таблиця 1

Режими функціонування системи		
Значення параметру α	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

Рис.3. Залежність $\alpha(t)$

Параметр α зазнає змін через зміни умов функціонування системи – через зовнішній або внутрішній вплив. Для подальшого аналізу введемо в нашу модель залежність від часу – $\alpha(t)$, $\beta(t)$. Як функцію, що якісно описує поведінку $\alpha(t)$ використовуватимемо S-подібну криву (сигмоїду) рис. 3. За умови $\eta > 0, \gamma > 0$ – $\alpha(t) \in (0; \eta)$:

$$\alpha(t) = \frac{\mu}{1 - e^{-\gamma(t-t_0)}},$$

де t_0 – момент зміни режиму функціонування.

Відповідно слушне таке:

$$\beta(t) \sim \eta - e^{-\lambda(t-t_0)}$$

На рис. 4 наведено зміну ймовірностей стану системи, а також динаміку ентропії системи.

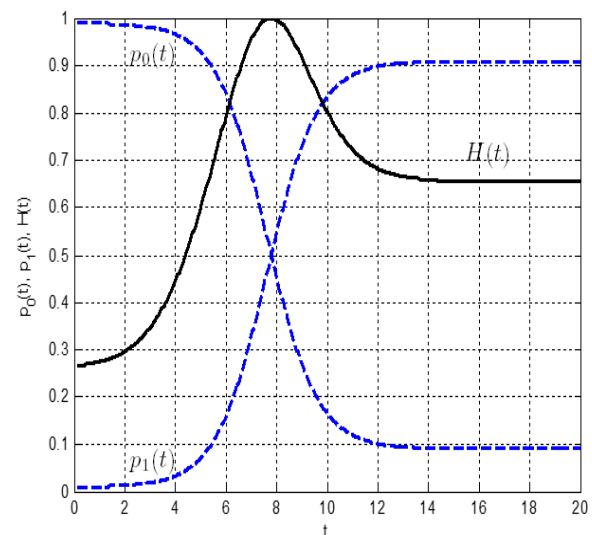


Рис. 4. Ентропія системи у момент зміни станів

Ентропія системи під впливом інновації зростає до максимального значення у певній критичній точці. У цій точці ймовірності перебування в станах S_0 та S_1 однакові ($p_0 = p_1$). Ця точка є точ-

кою біфуркації або точкою максимальної невизначеності (а отже в цій точці спостерігаємо локальний максимум ентропії). У точці біфуркації система під впливом флуктуацій обирає одну з можливих реалізацій, тобто можливий перехід як у новий стан S_1 так і в попередній S_0 . За умови наступних інноваційних впливів система переходить за вказаним принципом у нові стани S_2, S_3, \dots, S_n через послідовність біфуркацій. За кожного з цих переходів (можемо називати їх фазовими) система спочатку перебуватиме в умовній точці біфуркації з подальшою стабілізацією в певному стані.

Для підтвердження тези, щодо локального максимуму ентропії в точці біфуркації визначимо ентропію Ренї для класичного двобічного відображення (рис.5):

$$x_{n+1} = r \frac{x_n}{1 + x_n^3}.$$

Як видно з рис.5 за кожною умовною точкою біфуркації кількість можливих сценаріїв розвитку системи подвоюється. В процесі еволюції ентропія системи поступово зростає, розвиток системи представлено як послідовність переходів від одного стану в інший через точки біфуркації.

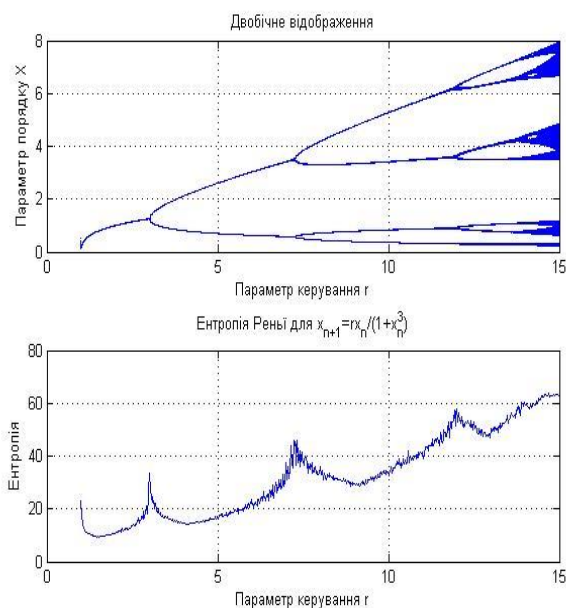


Рис. 5. Біфуркаційна діаграма та ентропія двобічного відображення

У точках біфуркації спостерігаємо сплески (локальні максимуми) ентропії, які є наслідком зростання невизначеності. Подальше зменшення ентропії обумовлено стабілізацією стану. Оскільки розглядаємо відкриті системи, то умова «не зменшення» ентропії не є жорсткою і зменшення ентропії відбувається за умови впливу внутрішніх або зовнішніх антиентропійних чинників.

Рис. 5 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.

Така поведінка системи певною мірою подібна з «циклом зрілості технології» – емпіричною моделлю стадій розвитку, яку запропонувала дослідницька компанія Gartner.

Надалі спробуємо дослідити подібність отриманих результатів та кривої Gartner з огляду на те, що наразі відсутня в відкритих джерелах фізична інтерпретація цієї кривої.

3. Крива зрілості технології (Gartner)

В 1995 році компанія Gartner запропонувала hype cycle - криву зрілості технології, яка якісно представляє стадії, через які проходить технологічне нововведення в ході свого становлення [15].

Основний зміст поняття hype cycle: кожна технологічна інновація в процесі досягнення зрілості проходить кілька етапів, кожен з яких характеризується 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) - наступ зрілості технології, співтовариство сприймає технологію як даність, усвідомлюючи її переваги та недоліки.

Також аналітики Gartner окремо зауважують, що не кожна технологія проходить всі зазначені фази. На рис.6 наведено hype cycle за 2016 р.

Важливо зауважити, що нові технології в даному контексті є удосконалені попередні технології, або такі, які утворені як комбінація попередніх технологій. у будь-якому випадку джерелом становлення та/або трансформації технології з одного стану (як зміну стану можна також розглядати набуття технологією унікальних властивостей) в інший є інноваційний вплив – впровадження нового елементу або нового функціоналу, які в свою чергу є результатом наукової/прикладної/пошукової практичної діяльності.

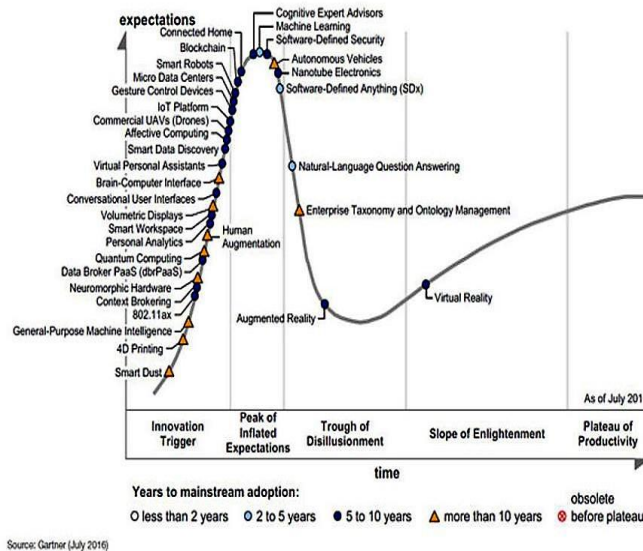
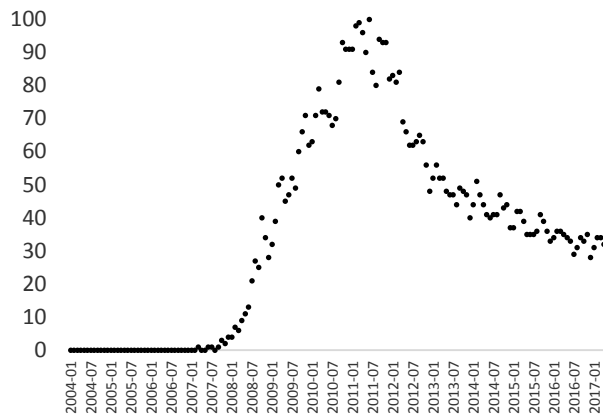
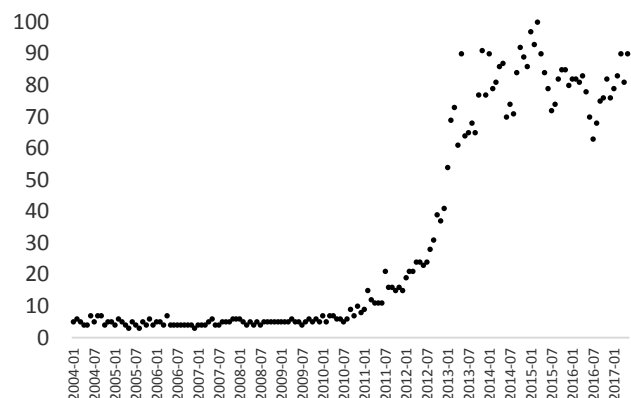


Рис. 6. Крива «зрілості технологій» Gartner для 2016 р.



а) Технологія хмарних обчислень



б) Технологія 3d друку

Gartner формує криву на основі аналізу та узагальнення статистичних даних більше, ніж 2000 технологій. Ця модель класифікації життєвого циклу технології/інновації є емпіричною та побудованою на узагальненні експертних оцінок.

Стадія «пік надмірних очікувань» відповідає перехідному етапу розвитку технології/інновації. Для цього етапу характерна висока невизначеність, яка обумовлена здебільшого суб'єктивним сприйняттям «надможливостей» нової технології та щирою впевненістю, що технологія здатна вирішити всі нагальні проблеми. Більша невизначеність призводить до зростання кількості питань і відповідно більше різних відповідей щодо можливостей технології. Таким чином навколо технології в цій стадії формується інформаційне поле. Але з часом починається фокусування на реальних, а не на бажаних характеристиках нової технології, що певною мірою призводить до розчарувань та втрати довіри. Формування реалістичного бачення перспектив технології, її фактичних можливостей є зменшення невизначеності – все менше питань вимагають відповідей. Таким чином загальна ентропія системи зазнає зменшення.

На рис. 7 наведено статистичні дані, які відображають інтерес користувачів мережі інтернет до різних технологій (за даними сервісу Google Trends [16]).

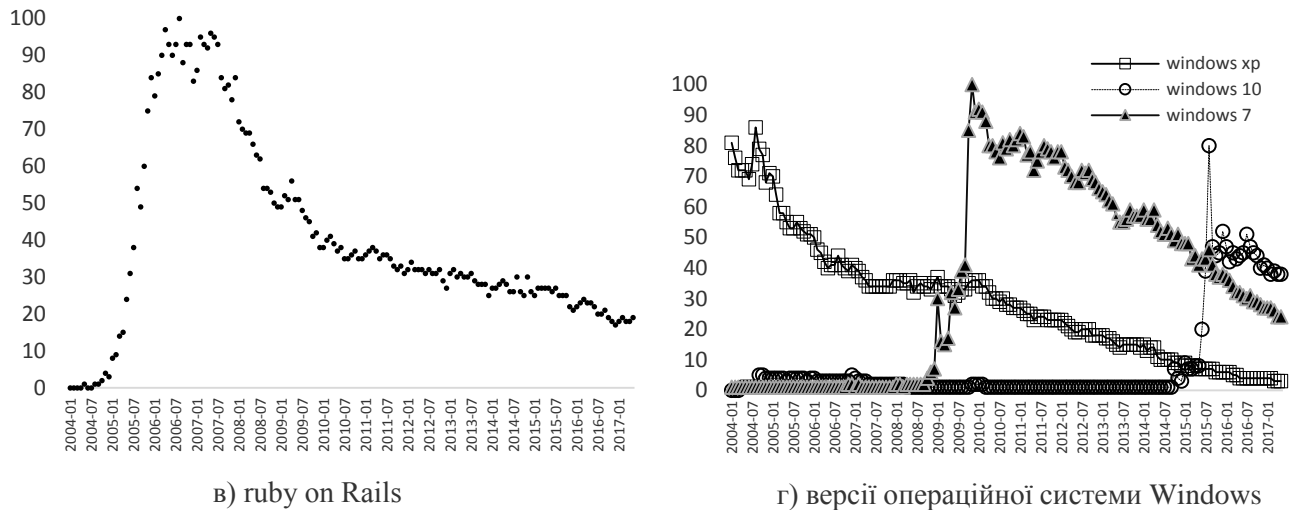


Рис.7 Динаміка зацікавленості до різних технологій (нормований показник, який визначає кількість запитів в пошуковій системі Google)

4. Обговорення отриманих результатів

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 певних етапів розвитку, вона достатньо якісно описує інформаційно-ентропійний обмін, який має місце у 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 якого характерне максимальне напруження, адже відбуваються кількісні/якісні зміни, які впливають на всі елементи систем. Система перебуває в стані максимальної невизначеності;
- етап зменшення невизначеності. Елементи системи зазнавши впливу прямують до стаціонарного стану. Починають діяти зовнішні та внутрішньо системні антиентропійні чинники - протидія інноваціям, реформам, змінам, адаптація нового елементу. Технологія починає діяти в реальних умовах, стає елементом для надсис-

тем, 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 *доопрацьована* з урахуванням певних особливостей/зауважень/перших невдач; роботи з технології можуть бути *згорнуті*, в процесі адаптації виникла критична несумісність з елементами/функціями, які вже існують, тоді можливе згортання 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.

Отримані результати можуть бути використані не лише для прогнозування та аналізу еволюції ІКТ систем, а й в тому числі для дослідження поведінки та динаміки соціальних та економічних систем.

Одним з головних висновків може бути попередження щодо необхідності раціонального та зваженого оцінення ситуації у точці невизначеності, адже саме від дій в цій зоні залежить майбутнє системи. Саме в цій точці доречно застосовувати антиентропійні механізми – фундаментальні та експертні знання, досвід, різні джерела інформації для формування об'єктивної картини.

Висновки

1. Визначено ентропію бістабільної системи у вигляді ентропії Реньї, на основі розв'язку рівняння Колмогорова.
2. Визначено динаміку ентропії за умови інноваційного впливу на систему, зокрема зазначено, що в точці біфуркації ентропія системи сягає локального максимуму (для підтвердження цієї тези визначена ентропія для двобічного перетворення)
3. На основі аналізу подібності форми кривої, яка описує ентропію та кривої «зрілості технології» Gartner, зроблено припущення і доведена можливість фізично інтерпретувати криву Gartner: крива зрілості технології, окрім класифікації певних етапів розвитку, якісно описує інформаційно-ентропійний обмін, який має місце в системі в процесі її становлення.
4. На прикладі статистичних даних про рівень інформаційних запитів по відношенню до технологій можна зробити висновок щодо універсальності отриманих результатів в контексті аналізу інноваційного впливу на систему та застосуванню отриманих результатів для прогнозування розвитку ІКТ систем.

Перелік використаної літератури

1. Kurzweil, R. The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence [Text] / R. Kurzweil. – Viking, New York, 1999.
2. Шумпетер, Й. Теория экономического развития [Текст] / Й. Шумпетер. — М.: Прогресс, 1982.
3. Кондратьев, Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения [Текст] / Н. Д. Кондратьев. — М.: Экономика, 2002. — 767 с.
4. Ilya Prigogine, Isabelle Stengers. ORDER OUT OF CHAOS Man's new dialogue with nature [Text] / I. Prigogine, I. Stengers. — Heinemann, London, 1984.
5. Николис, Дж. Динамика иерархических систем: Эволюционное представление [Текст] / Дж. Николис; пер. с англ. предисл. Б. Б. Кадомцева. — М.: Мир, 1989. — 488 с.
6. Хакен, Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах [Текст] / Г. Хакен — М.: Мир, 1985. — 424 с.
7. Анищенко, В. С., Вадивасона, Т. Е. Лекции по нелинейной динамике: учеб. пособие для вузов [Текст] / В. С. Анищенко, Т. Е. Вадивасона. — М. —Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. — 516 с.

8. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике [Текст] / К. Шеннон. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. — 830 с.
9. Климонтович, Ю. Л. Введение в физику открытых систем. [Текст] / Ю. Л. Климонтович. — М.: Янус-К, 2002. — 284 с.
10. Marc Goodman. Future crimes: inside the digital underground and the battle for our connected world [Text] / M. Goodman. — Anchor Books, a division of Penguin Random House, LLC, New York, 2016.
11. Yaneer Bar-Yam. Concepts: Power Law [Text] / Yaneer Bar-Yam. — Complex Systems Institute, New England, 2015.
12. Башкиров, А. Г. “Энтропия Реньи как статистическая энтропия для сложных систем” [Text] / А. Г. Башкиров. // ТМФ, 149:2 (2006), 299–317.
13. Rényi, A. On measures of information and entropy [Text] / A. Rényi // Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability 1960: 547–561.
14. Тихонов, В.И., Миронов, М.А. - Марковские процессы [Text] / В.И. Тихонов, М.А. Миронов — М.: Советское радио, 1977. - 488 с.
15. Technology Research Gartner Inc. [Electronic resource] // Mode of access: WWW.URL: <http://www.gartner.com/technology/analysts.jsp> - Last access: 2017. — Title from the screen.
16. Google Trends [Electronic resource] // Mode of access: WWW.URL: <https://trends.google.ru/trends> - Last access: 2017. — Title from the screen.

References

1. Kurzweil, R. (1999), “The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence”. – Viking, New York, 1999.
2. Schumpeter, J. (1982), “Theory of economy development” [“Teoriya ekonomicheskogo razvitiya”], Progress, Moscow.
3. Kondratiev, N. (2002), “Large cycles of conjuncture and prediction theory” [“Bolshiye cycly konyuktury i teoriya predvideniya”], Economica, Moscow, 767 p.
4. Prigogine, I., Stengers, I. (1984), “ORDER OUT OF CHAOS Man's new dialogue with nature”, Heinemann, London.
5. Nikolis, J. (1989), “Dynamics of Hierarchical Systems. An Evolutionary Approach” [“Dinamika iyerarhicheskikh system: evolyucionnoye predstavleniye”, per s angl., predisl. Kadomcev, B.], Mir, Moscow, 488 p.

6. Haken, G. (1985), "Synergetics: hierarchy of instabilities in self-organizing systems and devices" ["Sinergetika. Iyerarhii neustoychivostey v samoorganizuyuschisya sistemah i ustroystvah"], Mir, Moscow, 424 p.
7. Anischenko, V., Vadivasova T. (2011), "Nonlinear dynamics. Lectures" ["Lekcii po nelineynoy dinamike", ucheb. posobiye dlya vuzov], Regul'yarnaya i haoticheskaya dinamika, Izhevsk, 516 p.
8. Shannon, K. (1963), "The work on information theory and cybernetics" ["Raboty po teorii informacii i kibernetike"], Izdatel'stvo inostrannoy literatury, Moscow, 830 p.
9. Klimontovich, Y. (2002), "An introduction to open systems physics" ["Vvedeniye v fiziku otkrytyh sistem"], Yanus-K, Moscow, 284 p.
10. Goodman, M. (2016), "Future crimes: inside the digital underground and the battle for our connected world", Anchor Books, a division of Penguin Random House, LLC, New York.
11. Yaneer, B. (2015), "Concepts: Power Law", Complex Systems Institute, New England, 2015.
12. Bashkirov, A. (2006), "Renyi Entropy as statistic entropy for complex systems" ["Entropiya Renii kak statisticheskaya entropiya dlya slozshnih system"], TMF, Vol 149:2, pp. 299-317.
13. Rényi, A. (1960), "On measures of information and entropy", Proceedings of the 4th Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability, pp. 547-561.
14. Tihonov, M., Mironov, V. (1977), "Markov chains" ["Markovskiye procesy"], Sovetskoye Radio, Moscow, 488p.
15. "Technology Research", Gartner Inc., available at: <http://www.gartner.com/technology>
16. "Google Trends", available at: <https://trends.google.ru/trends>.

MODEL OF INNOVATION IMPACT ON TECHNICAL SYSTEM. NEW APPROACH FOR GARTNER CURVE PHYSICAL INTERPRETATION

S. M. Veretiuk¹, V. V. Pilinskiy²

¹LLC «Ukrainian High Technology»

²National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Abstract. A significant number of real systems are subject to an exponential distribution, therefore, in order to analyze the influence of innovation on a bistable system, a unified form of entropy (the Renyi entropy) is used. For this system, using the mathematical apparatus of Markov chains, the Kolmogorov equations are generated, the solution of which makes it possible to determine the dynamics of the system entropy at the time of the phase transition. To simulate changes in system modes, the S-curve is used. The corresponding analytical expressions are obtained. It is shown that at the bifurcation points the system has a local maximum of entropy. To confirm the thesis about local maxima of entropy at bifurcation points, the entropy for the classical two-sided map is determined. Based on the similarity of the entropy curves of a system that experiences an innovative influence and the Gartner curve, it is assumed that a particular physical interpretation is possible. Interpretation is the conclusion that the Gartner curve not only adequately describes the stages of the formation of technology, but also describes the information-entropy exchanges present in the system in the process of its evolution. Examples of digital technologies are shown, the dynamics of their development illustrate the adequacy of the obtained results.

Keywords: evolution., entropy, hype cycle, bifurcations

МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ИННОВАЦИИ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ. НОВЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ФИЗИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ КРИВОЙ ГАРТНЕРА

С. М. Веретюк¹, В. В. Пилинский²

¹ООО «Украинские Новейшие Технологии»

² Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»

Аннотация. Значительное количество реальных систем описываются экспоненциальным распределением, поэтому для анализа влияния инноваций на систему использована унифицированная форма энтропии (энтропия Реньи). Математический аппарат марковских цепей позволяет опреде-

литъ динамику энтропии системы во время фазового перехода. Для моделирования изменений в системных режимах используется S-кривая. Получены соответствующие аналитические выражения. Показано, что в точках бифуркации система имеет локальный максимум энтропии. Для подтверждения тезиса о локальных максимумах энтропии в точках бифуркации определена энтропия для классического двустороннего отображения. Исходя из подобия кривых энтропии системы, которая испытывает инновационное влияние и кривую Гартнера, предполагается, что возможна конкретная физическая интерпретация. Показаны примеры цифровых технологий, динамика их развития иллюстрирует адекватность полученных результатов

Ключевые слова: эволюция, энтропия, бифуркации, кривая зрелости технологии.

Получено 02.10.2017



Веретюк Сергій Михайлович, Директор ТОВ «Українські Новітні Технології», вул. Трьохсвятительська 5/2, Київ, Україна.

E-mail Sergey.veretiuk@gmail.com,

тел +38-098-570-92-11

Sergiy Veretiuk, Director of LLC "Ukrainian High Technology", Triohsvyatska st 5/2, Kyiv, Ukraine.

E-mail Sergey.veretiuk@gmail.com,

моб. +38-098-570-92

ORCID ID: 0000-0002-7915-9991



Пілінський Володимир Володимирович - професор, кандидат технічних наук, професор кафедри звукотехніки та реєстрації інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37,

01001, м. Київ, вул. Хрещатик, 4, кв 15

pww@ukr.net

р. 204-90-76, д. 278-54-15, моб. 095-276-92-70

Vladimir Pilinsky, PhD, Professor Audio Engineering and Registration Information Department of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

Prosp. Pobedy, 37, Kyiv, Ukraine, E-mail: pww@ukr.net,

ph.: +38-044-204-90-76

р.. 278-54-15, mob. 095-276-92-70

ORCID ID: 0000-0002-2569-9503