

# **МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ**

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України

## **Анотація**

*Запропоновано моделі визначення ефективності децентралізованих мереж, зокрема, мереж ланцюгів постачання, інформаційно-комунікаційних мереж, регіонів країни в умовах економічної децентралізації. Приділяється увага як теоретико-методологічним основам, так і практичним прикладним розрахункам на основі реальних статистичних регіональних даних.*

**Ключові слова:** центральний уряд, місцевий уряд, агентська проблема, стимули, економічне зростання.

## **Abstract**

*Models for determining the efficiency of decentralized networks, in particular, supply chain networks, information and communication networks, regions of the country in terms of economic decentralization are proposed. Attention is paid to both theoretical and methodological fundamentals and practical applied computations based on real statistical regional data.*

**Keywords:** central government, local government, agency problem, incentives, economic growth.

## **Вступ**

Одним із сучасних викликів вищої математичної освіти в Україні є помітне зростання попиту на спеціальності комп'ютерних наук та інформаційних технологій порівняно з традиційними механіко-математичними спеціальностями на всіх конкурсних етапах – етапах вступу на бакалаврські, магістерські та докторські програми. Наприклад, з 2016 р. факультет кібернетики (який у 1969 р. заснував академік В. М. Глушков) Київського національного університету імені Тараса Шевченка називається факультетом комп'ютерних наук та кібернетики, а на механіко-математичному факультеті (заснованому у 1940 р. і започаткованому у 1834 р.) з'явилися спеціальності комп'ютерна математика і комп'ютерна механіка. На етапах вступу на магістерські та докторські програм освітньо-наукові установи відчують конкуренцію з роботодавцями галузі інформаційно-комунікаційних технологій. Водночас досвід докторських програм Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України свідчить про конкурентоспроможність спеціальності «Прикладна математика» порівняно із спеціальностями «Комп'ютерні науки» та «Комп'ютерна інженерія». Досягнення міжнародної конкурентоспроможності подібних спеціальностей потребує використання як надбань вітчизняної математики і кібернетики, так і новітніх прикладних можливостей [1–4].

Метою роботи є дослідження децентралізованих систем, аналіз і розробка механізмів підвищення їх ефективності на основі математичних алгоритмів та моделей, застосування запропонованих рішень на реальних економічних даних регіонів України.

## **Децентралізовані мережі**

Змішану економічну структуру, де уряд продовжує відігравати головні ролі в економіці, в якій ринок стає дедалі більшою рушійною силою, можна вбудувати у стандартну модель економічного зростання, враховуючи проблему агентства між центральним і місцевими урядами. Щоб стимулювати місцевих керівників, центральний уряд запроваджує економічне змагання, яке генерує не лише задумані стимули для розвитку місцевих економік, але й короткострокові проекти для отримання швидких результатів. У складній урядовій системі, де центральний уряд співпрацює з регіональними урядами на рівнях провінції, міста, району, селища, регіональні уряди є головними гравцями в економічному розвитку, здійснюючи переважну більшість фіскальних витрат, відповідають за розвиток таких економічних інститутів та об'єктів інфраструктури на регіональних рівнях, як відкриття нових ринків і

побудова доріг, магістралей та аеропортів; незважаючи на свою автономію в економічних і податкових питаннях, керівники регіональних урядів призначаються центральним урядом, а не обираються місцевими виборцями. Ключовим механізмом стимулювання регіональних керівників є встановлене центральним урядом змагання між чиновниками різних регіонів однакового регіонального рівня, яке заохочує тих, хто досягає швидкого економічного зростання, і карає тих, у кого темпи економічного зростання виявляються найменшими. Ця система фіскального федералізму суттєво стимулювала економічне зростання великих держав, надаючи місцевим чиновникам як фіскальні бюджети, так і кар'єрну мотивацію. Однак таке стимулювання може вести також до поведінки місцевих керівників, орієнтованої на швидкі (тактичні) результати за рахунок досягнення стратегічних цілей.

Нехай економіка складається з  $M$  регіонів, а регіон  $i = 1, \dots, M$  у період  $t = 0, 1, 2, \dots$  має інфраструктуру  $G_{it}$  як громадський продукт, створений місцевим урядом і застосований для збільшення місцевої продуктивності. Цим продуктом можна вважати електроенергетику, мости, порти і магістралі. У ширшому сенсі можна інтерпретувати  $G_{it}$  як заходи і стратегії, вжиті урядом для підтримання і стимулювання місцевих ринку й економіки. Можна показати, що фірма вибирає капітал і працю, виходячи з рівня місцевої інфраструктури. Тому  $G_{it}$  служить прямим каналом для впливу урядових інвестицій на економіку. Враховуючи рішення фірм щодо використання праці та капіталу, регіональна економіка виявляє постійний рівень віддачі відносно  $G_{it}$ , що відповідає моделі ендогенного економічного зростання, за яку Пол Ромер (Paul Romer) удостоєний Нобелівської премії 2018 р.

У стандартній постановці місцевий випуск регіону  $i$  визначається виробничою функцією репрезентативної фірми  $Y_{it} = A_{it}(K_{it})^\alpha (L_{it}G_{it})^{1-\alpha}$ , де  $A_{it}$  – місцева продуктивність,  $K_{it}$  – обсяг використаного для виробництва капіталу,  $L_{it}$  – місцеві витрати праці,  $\alpha$  – частка капіталу у випуску,  $(1-\alpha)$  – частка праці у випуску [5]. Можна припустити, що місцева продуктивність  $A_{it}$  є однаково і незалежно розподіленою в часі. Ця продуктивність може мати певну міжрегіональну структуру, наприклад, структуру, залежну від здібностей місцевого керівництва, залежних, у свою чергу, від кар'єрних стимулів, а також від спільного для всіх регіонів шоку продуктивності.

Регіональні уряди є головними гравцями в економічному розвитку: вони можуть здійснювати переважну більшість фіскальних витрат, відповідають за розвиток таких економічних інститутів та об'єктів інфраструктури на регіональних рівнях, як відкриття нових ринків і побудова доріг, магістралей та аеропортів. У стандартній постановці місцевий випуск регіону  $i$  визначається виробничою функцією репрезентативної фірми

$$Y_{it} = A_{it}(K_{it})^\alpha (L_{it}G_{it})^{1-\alpha},$$

де  $A_{it}$  – місцева продуктивність,  $K_{it}$  – обсяг використаного для виробництва капіталу,  $L_{it}$  – місцеві витрати праці,  $\alpha$  – частка капіталу у випуску,  $(1-\alpha)$  – частка праці у випуску. Можна припустити, що місцева продуктивність  $A_{it}$  є однаково і незалежно розподіленою в часі. Ця продуктивність може мати певну міжрегіональну структуру, наприклад, структуру, залежну від здібностей місцевого керівництва, залежних, у свою чергу, від кар'єрних стимулів, а також від спільного для всіх регіонів шоку продуктивності.

У кожний період  $t = 0, 1, 2, \dots$  репрезентативна фірма регіону  $i = 1, \dots, M$  спочатку спостерігає поточну продуктивність  $A_{it}$ , а потім обирає такі обсяги  $K_{it}$ ,  $L_{it}$ , які максимізують її прибуток

$$Y_{it} - \Phi_{it}L_{it} - RK_{it}, \quad (1)$$

де  $\Phi_{it}$  – конкурентна зарплата, а  $R$  – орендна ставка капіталу, рівна відсотковій ставці.

Застосовуючи умови першого порядку максимізації функції (1) отримуємо:

$$0 = \frac{\partial Y_{it}}{\partial L_{it}} = (1-\alpha)A_{it}(K_{it})^\alpha (L_{it})^{-\alpha} (G_{it})^{1-\alpha} - \Phi_{it}, \quad \Phi_{it} = (1-\alpha)A_{it}(K_{it})^\alpha (G_{it})^{1-\alpha} \quad (2)$$

$$0 = \frac{\partial Y_{it}}{\partial K_{it}} = \alpha A_{it}(K_{it})^{\alpha-1} (L_{it}G_{it})^{1-\alpha} - R, \quad K_{it} = \left( \frac{\alpha A_{it}}{R} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} G_{it} \quad (3)$$

Підставляючи отримане значення  $K_{it}$  у функцію (1) дістаємо оптимальний обсяг випуску фірми

$$Y_{it} = A_{it}(K_{it})^\alpha (L_{it}G_{it})^{1-\alpha} = A_{it} \left( \frac{\alpha A_{it}}{R} \right)^{1-\alpha} (G_{it})^\alpha (1 \times G_{it})^{1-\alpha} = G_{it} (A_{it})^{1-\alpha} \left( \frac{\alpha}{R} \right)^{1-\alpha},$$

який є прямо пропорційним обсягу  $G_{it}$ ; в силу рівняння (3) оптимальний обсяг капіталу є прямо пропорційним обсягу  $G_{it}$ , а в силу рівняння (2) оптимальний обсяг зарплати теж є пропорційним  $G_{it}$ :

$$\Phi_{it} = (1 - \alpha) A_{it} \left( \frac{\alpha A_{it}}{R} \right)^{1-\alpha} (G_{it})^\alpha (G_{it})^{1-\alpha} = (1 - \alpha) \left( \frac{\alpha}{R} \right)^{1-\alpha} G_{it} (A_{it})^{1-\alpha} = (1 - \alpha) Y_{it}.$$

Якщо праця є мобільною між регіонами, то обсяг зарплати підвищуватиметься внаслідок міграції трудових ресурсів до регіонів з вищими показниками  $G_{it}$ , а також внаслідок змагання між керівниками регіонів. Щоб стимулювати місцевих керівників, центральний уряд може запровадити економічне змагання, яке генерує не лише задумані стимули для розвитку місцевих економік, але й короткострокові проекти для отримання швидких результатів. Ключовим механізмом стимулювання регіональних керівників є встановлене центральним урядом змагання між чиновниками різних регіонів однакового регіонального рівня, яке заохочує тих, хто досягає швидкого економічного зростання, і карає тих, у кого темпи економічного зростання виявляються найменшими. Розглядається модель відкритої економіки, яка складається з регіонів. У кожному регіоні репрезентативна фірма має виробничу функцію Кобба–Дугласа з виробничими факторами праці, капіталу та місцевої інфраструктури. Фірма наймає працю з місцевих домогосподарств за конкурентною зарплатою й орендує капітал з відкритого капітального ринку за даною відсотковою ставкою. Створюючи більшу інфраструктуру регіону, місцевий уряд може сприяти продуктивності місцевої фірми. Тому інфраструктурні інвестиції служать ключовим каналом прямого стимулювання місцевої економіки від місцевого уряду. Проте місцевий уряд зіштовхується з питанням розподілу свого фіскального бюджету між інвестиціями (у місцеву інфраструктуру) та споживанням (урядових працівників).

У роботі [6] розробляється базова теорія глобальних ланцюгів постачання. Нехай світова економіка складається з довільної кількості країн, які мають один виробничий фактор (фактор праці) і виробляють один кінцевий продукт, що потребує континуум проміжних продуктів. Кінцевий продукт є результатом послідовних стадій виробництва проміжних продуктів, у процесі якого трапляється брак. Можна довести, що існує єдина рівновага вільної торгівлі, в якій країни з нижчими ймовірностями браку на всіх стадіях спеціалізуються на пізніших стадіях виробництва. Спираючись на цю просту теоретичну базу, можна запропонувати форму вертикальної спеціалізації взаємозалежних країн.

Явище вертикальної спеціалізації привертає в однаковій мірі увагу розробників стратегій, ділових лідерів, економістів. Можливість транскордонної фрагментації виробничих процесів впливає на обсяги, риси і наслідки міжнародної торгівлі. Залишаються відкритими питання механізмів впливу глобальних і локальних технологічних змін на участь різних країн в одному й тому самому ланцюгу постачання, а також механізмів впливу вертикальної спеціалізації на взаємозалежність держав.

Оскільки в моделях загальної рівноваги з довільною (великою) кількістю товарів і країн, незалежно від наявності послідовного виробництва, важко отримати зрозумілі передбачення порівняльної статистики, то потрібна проста теорія торгівлі з послідовним виробництвом. Для цього потрібні деякі ідеї щодо ієрархій у моделях часткової рівноваги для закритої економіки. Зосередимося на середовищі, в якому виробництво є послідовним і може містити брак. Моделі ієрархій застосовувалися до вивчення питань міжнародної торгівлі. Наприклад, модель знанневої економіки використовується для дослідження транскордонних паросполучень між агентами з неоднорідними здібностями і відповідних наслідків для нерівності у даній державі. Нерівність у державі внаслідок ієрархій при торгівлі досліджувалася також в інших моделях. Припускається, що все населення даної держави має однакові здібності. Нехай організаційна проблема фірми при виробництві кінцевого товару полягає у виконанні виробничих стадій  $j \in [0, 1]$ , де більший індекс відповідає більшій близькості до кінцевого продукту (нижчій стадії течії ланцюга постачання). Позначимо  $x(j)$  вхідний обсяг (вхід) сумісних (з фірмою) проміжних послуг, які надає фірмі постачальник на стадії  $j$  (якщо ці послуги несумісні, то  $x(j) = 0$ ). Тоді обсяг (quantity) випуску кінцевого товару з урахуванням його якості становить

$$q(m=1) = \theta \left( \int_0^{m-1} [x(j)]^\alpha I(j) dj \right)^\frac{1}{\alpha},$$

де  $\theta$  – параметр продуктивності,  $\alpha \in (0,1)$  – параметр симетричного ступеня заміни серед входів стадій,  $I(j)$  – індикаторна функція, значення якої дорівнює 1 при виконанні всіх попередніх стадій  $i \in [0, j)$  і дорівнює 0 в решті випадків. Хоча виробництво вимагає виконання всіх стадій, додатність  $\alpha$  гарантує додатність випуску при несумісності входів на деяких стадіях: незважаючи на важливість усіх стадій з інженерної точки зору, можна допускати їх деяку замінюваність через те, що характеристики входів формують обсяг кінцевого продукту з урахуванням його якості. Наприклад, виробництво автомобіля вимагає чотири колеса, дві фари, одне кермо тощо, але цінність цього автомобіля для споживачів типово залежатиме від послуг, отриманих від цих різних компонентів, де вища якість певних частин означатиме гіршу якість інших.

Стимул фірми до інтеграції постачальників виявляє систематичну мінливість залежно від відносного положення (вище чи нижче течії ланцюга постачання) постачальника у виробництві. Така залежність визначається еластичністю попиту на кінцевий товар. Можна враховувати різні джерела асиметрії поміж виробників кінцевих товарів і постачальників.

Переваги споживачів на ринках збуту відбивають функції ціни попиту, які залежать від обсягу попиту на продукт і середнього рівня кібербезпеки у мережі ланцюгів постачання (МЛП). Тоді можна оцінювати вразливість до кібератак як МЛП, так і кожного торговця окремо. Відповідні умови рівноваги Неша можна визначати за допомогою задачі розв'язання певної варіаційної нерівності.

Для розв'язання задачі пошуку рівноважних інвестицій у кібербезпеку МЛП можна запропонувати ітеративний алгоритм, який на кожній ітерації дає в явному вигляді співвідношення для трансакцій продукту, рівнів безпеки та множників Лагранжа, пов'язаних з бюджетними обмеженнями. Цей алгоритм можна застосувати до обчислення розв'язків широкого кола чисельних прикладів інвестицій у кібербезпеку МЛП.

Чисельні приклади, скажімо, для кібератаки на Україну 27 червня 2017 р., сприятимуть глибшому розумінню впливу додаткових роздрібних торговців, бюджетних змін, функції ціни попиту, фінансових збитків на рівноважні трансакції продукту та інвестиції у кібербезпеку, а також на вразливість МЛП чи роздрібного торговця при бюджетних обмеженнях.

У роботі [7] розробляється теоретико-ігрова модель МЛП інвестицій у кібербезпеку, яка складається з роздрібних торговців і ринків попиту. Роздрібними торговцями можуть бути продавці споживчих товарів, високотехнологічних або фінансових продуктів. Суттєво, щоб такі торговці працювали в одній галузі та своїми рішеннями могли впливати на рішення інших торговців галузі стосовно обсягу постачання та рівня інвестицій у кібербезпеку. При цьому важливо вірно оцінювати інвестиції у кібербезпеку, формуючи уявлення про справжню цінність активів інтелектуальної власності. Розроблено ігрову модель мережі ланцюгів постачання, що складається з ряду роздрібних торговців продуктом і ряду ринків збуту даного продукту, де роздрібні торговці некооперативно конкурують, максимізуючи свої сподівані прибутки шляхом визначення своїх оптимальних трансакцій для продукту, а також оптимальних інвестицій у кібербезпеку, які входять у нелінійні бюджетні обмеження.

Невід'ємний рівень  $s_i$  кібербезпеки роздрібного торговця  $i$  обмежений зверху заданим значенням  $u_{si}$ :  $0 \leq s_i \leq u_{si} < 1$ , де  $s_i = 1$  відповідає повній безпеці (яка може не досягатися), а  $s_i = 0$  – відсутності безпеки. Набуття рівня безпеки пов'язується з функцією інвестиційних витрат:  $h_i(s_i) = \alpha_i [(1 - s_i)^{-0.5} - 1]$  де множник  $\alpha_i$  дозволяє розрізняти масштаби і потреби роздрібних торговців. Припустимо, що ймовірність успішної кібератаки на роздрібного торговця  $i$  становить

$$p_i = (1 - s_i)(1 - \bar{s})$$

де  $\bar{s} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_k$  – рівень кібербезпеки МЛП,  $\bar{v} = 1 - \bar{s}$  – рівень вразливості (vulnerability) МЛП,

$v_i = 1 - s_i$  – рівень вразливості роздрібного торговця  $i$ . Визначимо функцію ціни попиту на продукт на ринку збуту  $j$

$$\hat{p}_j(Q, s) = \rho_j(d, \bar{s}),$$

де  $Q \in R_+^{mn}$  – матриця трансакцій  $Q_{ij}$  на всіх  $n$  ринках збуту всіх  $m$  роздрібних торговців,  $d \in R_+^n$  – вектор обсягів  $d_j$  попиту на продукт на всіх  $n$  ринках збуту,  $s \in R_+^m$  – вектор рівнів  $s_i$  безпеки всіх  $m$  торговців. Вважаємо, що всі роздрібні торговці некооперативно конкурують і кожний з них максимізує свою сподівану корисність, обираючи свої значення  $Q_i = (Q_{i1}, \dots, Q_{in})$ ,  $s_i$ . Бажано знайти такий набір значень  $(Q^*, s^*) \in K \equiv \prod_{i=1}^m K_i$ , при яких  $m$  роздрібних торговців перебувають у стані рівноваги у сенсі Курно–Неша. Лауреат Нобелівської премії 1994 р. Джон Неш (John Nash) узагальнив поняття рівноваги Курно на кількох гравців, кожний з яких діє виключно у своїх власних інтересах, тобто некооперативно. Набір значень  $(Q^*, s^*) \in K$  називають рівновагою Неша для МЛП, якщо для кожного роздрібного торговця  $i = 1, \dots, m$  має місце  $\forall (Q_i, s_i) \in K_i$  нерівність

$$E(U_i(Q^*, s^*)) \geq E(U_i(Q_1^*, \dots, Q_{i-1}^*, Q_i, Q_{i+1}^*, \dots, Q_m^*, s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_m^*)),$$

тобто будь-який торговець  $i$  не може в односторонньому порядку збільшити свій очікуваний прибуток. Припустимо, у кожного роздрібного торговця  $i = 1, \dots, m$  сподівана корисність неперервно диференційована й увігнута відносно змінних  $Q_i, s_i$ . Тоді рівні трансакцій продукту і безпеки  $(Q^*, s^*) \in K$  є рівноважними за Нешем для МЛП тоді й тільки тоді, коли задовольняється варіаційна нерівність

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{\partial E(U_i(Q^*, s^*))}{\partial Q_{ij}} (Q_{ij} - Q_{ij}^*) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial E(U_i(Q^*, s^*))}{\partial s_i} (s_i - s_i^*) \leq 0 \quad \forall (Q, s) \in K, \quad (4)$$

Оскільки нелінійні обмеження у допустимій множині  $K$  можуть ускладнювати чисельне розв'язання варіаційної нерівності (4) використовується множник Лагранжа  $\lambda_i \geq 0$  для кожного такого обмеження. Вектор  $(Q^*, s^*, \lambda^*)$  є розв'язком варіаційної нерівності (4) тоді й тільки тоді, коли є розв'язком альтернативної варіаційної нерівності

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{\partial L_i(Q^*, s^*, \lambda^*)}{\partial Q_{ij}} (Q_{ij} - Q_{ij}^*) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial L_i(Q^*, s^*, \lambda^*)}{\partial s_i} (s_i - s_i^*) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial L_i(Q^*, s^*, \lambda^*)}{\partial \lambda_i} (\lambda_i - \lambda_i^*) \leq 0 \quad \forall (Q, s, \lambda),$$

де використано лагранжіан (Lagrangian):

$$L_i = E(U_i(Q, s)) + \lambda_i [h_i(s_i) - B_i], \quad \frac{\partial L_i(Q^*, s^*, \lambda^*)}{\partial \lambda_i} = h_i(s_i) - B_i.$$

### Прийняття рішень, невизначеність і хмарні технології

Стохастичне програмування має застосування в різноманітних галузях, потребуючи від розробника інтуїції, розуміння моделювання невизначеності та використання структури проблеми. Кожна модель стохастичного програмування характеризується цілями, процесами рішення та їхніми обмеженнями, взаємозв'язками цілей та обмежень з випадковими елементами. Можна показати, що модель стохастичного програмування має певну перевагу порівняно з аналогічною моделлю детерміністичного математичного програмування. Така перевага є вимірюваною і досить великою для того, щоб вивчати властивості та методи розв'язання задач стохастичного програмування. Хоча загальні моделі стохастичного програмування можна застосовувати до практично всіх задач прийняття рішень з невідомими параметрами, ці моделі залишаються узагальненнями детерміністичних моделей математичного програмування, в яких частина даних не є точно відомою. Типові риси таких даних – множинність допустимих значень багатьох змінних рішення, дискретність часових періодів для рішення, застосування функціоналів математичного сподівання як цільових функцій чи обмежень на основі інформації про ймовірнісні розподіли невідомих параметрів. Проте ці риси не є характерними для суміжних областей прийняття рішень – статистичної теорії прийняття рішень, аналізу рішень, динамічного програмування, марковських або напівмарковських процесів рішень, стохастичного керування. Задачу стохастичного програмування можна задавати як у розширеній формі (коли кожній можливій реалізації випадкового вектора відповідає певний вектор рішення на другому етапі), так і в неявній формі. Показано, що моделі стохастичного програмування дають певні вимірювані переваги порівняно з аналогічними моделями детерміністичного математичного програмування [8].

Бачення обчислювальних комунальних послуг, ґрунтоване на моделі надання послуг, передбачало масштабну трансформацію всієї обчислювальної галузі у ХХІ столітті, завдяки чому обчислювальні послуги стануть доступними на вимогу, як інші комунальні послуги сучасного суспільства – послуги водопостачання, електропостачання, газопостачання, телефонного зв'язку. Аналогічно користувачі (споживачі) мають платити провайдерам лише тоді, коли отримують доступ до обчислювальних послуг. Крім того, споживачам більше не потрібно вкладати великі кошти чи мати труднощі при побудові та підтримці складної ІТ-інфраструктури.

Використання такого підходу є доцільним, коли пошук оптимального розв'язку прямими методами є складною проблемою як в теоретичному сенсі, так і в сенсі необхідного об'єму розрахунків для задач з конкретними даними. У такій моделі користувачі отримують доступ до послуг, виходячи зі своїх вимог, незалежно від місця базування послуг. До 2007 р. ця модель була відома як службові обчислення, а згодом – як хмарні обчислення (ХО). ХО часто означає інфраструктуру як хмару, з якої фізичні та юридичні особи можуть отримувати доступ до застосунків як сервісів у будь-якій точці світу на вимогу. ХО можна класифікувати як нову парадигму для динамічного забезпечення обчислювальних послуг, що підтримуються найсучаснішими центрами обробки даних, які застосовують технології віртуалізації для консолідації та ефективного використання ресурсів. ХО надають не лише надзвичайно гнучке середовище для побудови нових систем і застосунків, але й можливість інтеграції додаткової спроможності чи функції в існуючі системи. Використання динамічно забезпечених ІТ-ресурсів є економічно вигіднішою можливістю, ніж придбання додаткової інфраструктури і ПЗ, потреби в яких є обмеженими в часі, а розмір яких непросто оцінювати: саме це стало вирішальною перевагою ХО і сприяло швидкому поширенню ХО у світі [9].

Розуміння ролі провайдерів хмарних послуг у ланцюгу вартості, визначення ієрархії потрібних об'єктів доходів і витрат, розробка структури моделі, відображення відповідних фінансових даних вимагало первинних даних від спілкування як з керівництвом телекомунікаційних компаній (менеджерами і спеціалістами продуктів), так і з провайдерами хмарних послуг (бізнес-менеджерами, фінансовими керівниками, проектувальниками послуг). Модель брокера хмарних послуг вимагає вторинних даних, що містять технічні характеристики продукції, річні звіти, відкриті дані веб-сайтів учасників ланцюга вартості. Різні хмарні брокери по-різному ставляться до вибору важливих рішень для свого бізнесу. Рішення можуть стосуватися ціноутворення, планування і використання потужностей. По мірі того, як обчислення та Інтернет-з'єднання стають технологіями і послугами загального призначення, спрямованими на широкі глобальні ринки, виникають питання ефективності таких ринків з точки зору суспільного добробуту, участі в них провайдерів диференційованих послуг і кінцевих користувачів. Проект Iridium глобального зв'язку фірми Motorola завершився у 1990-х роках внаслідок подібних питань, вперше досягнувши мети технологічної спроможності такого зв'язку. Оскільки Інтернет-послуги характеризуються високою інноваційністю, диференційованістю та динамічністю, то для них можна застосовувати відомі моделі диференційованих продуктів. Проте функції попиту у таких моделях є гіперболічними, а не лінійними. Крім того, подібні моделі є стохастичними та включають провайдерів з різними способами конкуренції. В екосистемі Інтернету важливими є зв'язки між постачальниками Інтернет-послуг (Internet service providers, ISPs) як операторами телекомунікаційної мережі та провайдерами послуг контенту, особливо потужними провайдерами відеоконтенту, що передбачає високу пропускну здатність. Оскільки підвищення пропускну здатності потребує нових інвестицій у спроможність мережі, то мотивація до таких інвестицій має бути як у провайдерів відеоконтенту, так і у ISPs. Для аналізу взаємозв'язків між провайдерами Інтернет-послуг і контент-провайдерами в Інтернет-екосистемі запропоновано обчислювані (computable) моделі, ґрунтовані на побудові функцій виграшу всіх учасників цієї екосистеми. Введення платного перегляду контенту мотивуватиме провайдерів Інтернет-послуг до інвестицій у підвищення спроможностей мережі, яка має тренд експоненціального зростання. Водночас такий перегляд порушуватиме принципи нейтральності мережі, що дає підстави для розробки нових задач мінімізації порушень умов нейтральності мережі та максимізації суспільного добробуту Інтернет-екосистеми. Моделі вказують на важливість ефективності провайдерів Інтернет-послуг, передбачуваності попиту та високої цінової еластичності інноваційних послуг. Для взаємодії CP та ISPs скористаємося моделлю Штакельберга, де лідер повідомляє своє рішення послідовнику, який оптимізує свою цільову функцію на основі отриманої інформації. CP максимізує свій прибуток (profit) – дохід від надання контенту мінус частка платного перегляду з витратами [10], тобто

$$P_{CP} = [p(1-x) - c]E_{\omega} \min\{W_0 + W; D(p, \omega)\} - eE_{\omega} \max\{0; D(p, \omega) - W_0 - W\},$$

де  $p$  – ціна (price) послуги,  $c$  – витрати (costs) на надання послуг,  $x$  – частка доходу CP, перерахована до ISP,  $W_0$  – існуюча спроможність мережі,  $W$  – можливе розширення спроможності,  $D(p, \omega)$  – (випадковий) попит на послугу за ціною  $p$  для випадкової величини  $\omega$ ,  $e$  – альтернативна вартість незадоволеного попиту,  $E_\omega$  – оператор математичного сподівання (expectation). ISP максимізує свій прибуток – дохід від фіксованої абонплати від клієнтів плюс частка доходу CP, перерахована до ISP через платний перегляд, мінус витрати на обслуговування і розширення мережі, тобто

$$P_{ISP} = C + px E_\omega \min\{W_0 + W; D(p, \omega)\} - rW - q(W_0 + W),$$

де  $C$  – абонентська плата (вважаємо, що вся популяція користувачів підписана до Інтернету за фіксовану плату),  $r$  – витрати на одиницю розширення спроможності мережі,  $q$  – витрати на одиницю обслуговування спроможності мережі.

Припустимо, що CP є лідером з ринковою владою у даній системі. Тоді рішення в системі приймаються у такій послідовності:

1) CP обирає ціну  $p$  послуги та частку  $x$  свого доходу від надання контенту, яка перераховуватиметься до ISP у рамках угоди про перегляд контенту;

2) користувачі, знаючи ціну  $p$ , формують попит на послугу за співвідношенням

$$D(p, \omega) = \frac{M(1 + \omega)}{(a + p)^\gamma};$$

3) ISP, знаючи свою частку  $x$  і попит  $D(p, \omega)$  на послугу для випадкової змінної  $\omega$  з відомим розподілом  $H$ , приймає рішення про обсяг  $W$  розширення спроможності мережі, максимізуючи свій сподіваний прибуток (2);

4) CP, знаючи поведінку користувачів та ISP, обирає такі значення  $p$  та  $x$ , які максимізують сподіваний прибуток.

З цих умов впливає функція реакції послідовника (ISP) на рішення лідера (CP)

$$W^*(p, x) = \max \left\{ 0; \frac{M}{(a + p)^\gamma} \left[ 1 + H^{-1} \left( 1 - \frac{r + q}{px} \right) \right] - W_0 \right\}.$$

### Прийняття рішень в системах економіки, екології, охорони здоров'я

Оцінювання щільності є головною задачею класичної статистики і статистичної теорії навчання. На практиці спостерігається мало вибірок, причому вибірки зсуваються, а шукана щільність пов'язується з іншими щільностями. Це свідчить про важливість ефективного використання навчальних даних. Наприклад, при малій кількості вибірок у багатовимірному просторі слід використовувати інформацію для всіх вимірів, хоча багатьом класичним методам це не вдається. Отже, потрібні методи, які використовують велику кількість вимірів для малих наборів даних. Якщо дані збираються зі зсувом, то будь-які знання про цей зсув поліпшуватимуть ефективність передбачення.

Коли оцінюються декілька щільностей на наборах даних (сигналів), що перетинаються чи впорядковуються, то спільний для щільностей сигнал поліпшуватиме точність окремих оцінок. Таким чином, потрібні методи множинного оцінювання, що збалансовують окрему інформацію про набір даних та спільну інформацію про набори даних.

Якщо питання максимізації ентропії (чи застосування розподілів Гіббса) вивчало багато авторів, то питання вибору підходящих обмежень для шуканого розподілу потребує окремого дослідження.

Для широкого класу методів максимізації ентропії та вірогідності розвивається єдиний підхід, що гарантує їхню збіжність і статистичну ефективність. Наприклад, можна обґрунтувати статистичну ефективність відомих методів регуляризації з цільовими функціями у стандартних нормах, а також із спеціальними цільовими функціями, які мають кращі статистичні властивості, використовуючи інформацію про структуру простору ознак, про зсув отримання вибірки, про інші способи оцінювання щільності. Крім того, для розв'язання загальної задачі про максимальну ентропію (максент) можна запропонувати нові алгоритми й довести їхню збіжність, узагальнюючи методи, основані на теорії компактності, інформаційній геометрії та оптимізації [11].

Загалом проблема максимізації вірогідності полягає у тому, що емпіричні середні ознак майже завжди не дорівнюватимуть їхнім істинним очікуванням, а тому цільовий розподіл не задовольняти-

ме обмеженням, які накладаються на результуюче обмеження. Крім того, проблема ускладнюється малими розмірами вибірок. При інтерпретації максимізації ентропії як максимізації вірогідності та звуженні шуканих розподілів до класу експоненціальних розподілів можлива надлишковість оцінок.

Агроректор України має суттєвий потенціал росту, викликаючи відповідний інтерес серед іноземних інвесторів і вітчизняних політиків, та є локомотивом української економіки, де його частка у валовому внутрішньому продукті України зростає. Більш того, інвестиційна привабливість та інтерес до агровиробництва посилюються з інтенсифікацією євроінтеграційних процесів. Оскільки виробництво може мати негативний вплив на навколишнє середовище, то виникає питання соціальної відповідальності агробізнесу.

Перенасичення водойм поживними речовинами (включаючи фосфор та нітрати), що викликає їх цвітіння, дедалі більше привертає до себе увагу в Україні та світі з огляду на відчутний вплив на всю екосистему, рибальство, туризм, якість питної води.

Забруднення фосфором або його надлишок у водній екосистемі є першопричиною евтрофії. Локальні (точкові) джерела забруднення відносно легко ідентифікувати та взяти під контроль. Основним джерелом забруднення залишався змив з полів. Щонайменше 60% фосфорного забруднення Чорного моря – це вимитий фосфор, донесений річковою системою.

Розроблено інтегровану динамічну модель, що об'єднала в собі аспекти агрономії, гідрології та економіки та вказує на найкращі практики агровиробництва, які варто застосувати відповідно до місцевих умов [12]. Однак детерміністичні моделі не враховують стохастичну природу екосистем.

Представлена інтегрована динамічна стохастична модель відображає вплив різних бізнес-практик агровиробництва на рівень фосфорного забруднення за невизначених погодних умов. Модель має досить узагальнений характер і може модифікуватися під умови конкретної місцевості. Просте порівняння з детерміністичною моделлю свідчить про те, що врахування у моделі стохастичності може суттєво впливати на отримувані результати чи рекомендації.

Аналіз результатів моделі свідчить про можливість досягнення значного зниження рівня забруднення тільки за суворіших заходів порівняно із заходами, які пропонують детерміністичні моделі: стохастична модель пропонує зниження рівня застосування фосфорних добрив на принаймні 14%, а також додаткове обов'язкове більш раннє та тривале вирощування захисних культур. Більш того, якщо брати до уваги зміну клімату, суворість заходів повинна бути ще вищою. Стохастична модель суттєво вдосконалює детерміністичну з точки зору соціального добробуту, який вона намагається максимізувати. Загалом застосування стохастичних оптимізаційних методів в економіці природокористування може надавати надійніші управлінські рішення за умов невизначеності та ризику порівняно з детерміністичними моделями, в яких домінує підхід сценарного аналізу. У роботі [12] представлено стохастичну оптимізаційну модель, що пропонує збалансоване управлінське рішення для агровиробництва як щодо рівня прибутковості, так і щодо рівня забруднення навко-лишнього середовища викидами фосфору. На відміну від широко відомих детерміністичних моделей, враховується фактор невизначеності погодних умов.

У роботі [13] докладно вивчаються передумови та припущення класичної моделі Басса поширення інновацій з метою її застосування до моделювання актуальних стохастичних процесів, пов'язаних з пандемією. Модель Басса довела свою універсальність і застосовність до різних середовищ. У статті наведені ретельні математичні обґрунтування властивостей моделі з метою її подальшого розвитку, пошуку параметрів невизначеності та спостережуваних змінних, ґрунтуючись на теоріях еволюційних рівнянь і стохастичних процесів. У статті отримано реалістичні результати оцінювання параметрів моделі Басса для вакцинацій у Білорусі та Україні на тижневих даних першого півріччя 2021 р. і запропоновано проведення подібних досліджень для інших держав, а також областей і районів України. Класична публікація Френка Басса з дифузії інновацій основана на його препринті із дещо зміненою назвою. У свою чергу, зазначений препринт оснований на його доповіді на конференції: еволюція від доповіді на конференції до препринту й завершеної журнальної публікації є перевіреним шляхом досягнення якісних науково-практичних результатів.

За належної організації науково-практичних досліджень, класичну модель Басса можна застосовувати для моделювання стохастичних процесів, пов'язаних з пандемією, в інших державах, а також в областях і районах України. Таке застосування потребуватиме ретельної перевірки вхідної інформації, верифікації та генерації вхідних даних, можливих модифікацій класичної моделі, розвитку й обґрунтування відповідних методів оцінювання, відповідної комп'ютерної реалізації алгоритмічного і програмного забезпечення, статистичного аналізу результатів оцінювання. При



цьому сучасні розподілені інформаційні технології науково-організаційної діяльності НАН України можна застосовувати для розробки системних засобів і заходів охорони здоров'я.

Основне припущення у дифузійній моделі Басса попиту першої покупки: ймовірність (probability)  $P(T)$  того, що первинні закупівлі здійснюватимуться у момент часу  $T$  за умови, що до цього закупівлі не здійснювалися, є лінійною функцією числа  $Y(T)$  попередніх покупців, тобто

$P(T) = p + \frac{q}{m}Y(T)$ , де  $Y(0) = 0$ ,  $P(0) = p$  – константа, (відображає важливість новаторів у соціальній системі),  $\frac{q}{m}$  – коефіцієнт нахилу лінійної функції, параметр  $q$  називають коефіцієнтом імітації. Як-

що довільно вибрати покупця серед  $m$  покупців, який здійснюватиме первинну закупівлю продукту в деякий момент часу свого життя, то очікувана тривалість  $T$  часу до такої закупівлі, становитиме

$$E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} \frac{t p (p+q)^2 \exp[t(p+q)]}{\{p \exp[t(p+q)] + q\}^2} dt =$$

$$= \int_1^{\infty} \frac{\ln z}{p+q} \times \frac{p(p+q)^2 z}{(pz+q)^2} \times \frac{dz}{(p+q)z} = p \int_1^{\infty} \frac{\ln z}{(pz+q)^2} dz = \frac{1}{p} \int_1^{\infty} \frac{\ln z}{(z+p^{-1}q)^2} dz,$$

де  $z = \exp[t(p+q)]$ ,  $dz = (p+q)z dt$ ,  $\ln z = t(p+q)$ .

Застосовуючи вираз  $\int \frac{\ln x}{(x+a)^2} dx = -\frac{\ln x}{x+a} + \frac{1}{a} \ln \frac{x}{x+a}$  для  $a = p^{-1}q$ , отримуємо

$$E(T) = \frac{1}{p} \left\{ \frac{\ln 1}{1+p^{-1}q} - \frac{p}{q} \ln \frac{1}{1+p^{-1}q} \right\} = \frac{1}{q} \ln(1+p^{-1}q) = \frac{1}{q} \ln \left( \frac{p+q}{p} \right).$$

Водні, енергетичні та продовольчі ресурси є базовими ресурсами, наявність, якість та ефективність використання яких визначає добробут нації. Системи їх забезпечення та використання є надзвичайно пов'язаними. Так, гідроресурси потрібні в енергогенерації практично впродовж всього циклу виробництва, – починаючи від видобутку корисних копалин і закінчуючи очисними заходами. Ті ж водні ресурси необхідні в сільськогосподарській діяльності (головним чином для зрошення полів, виробництва добрив, збереження урожаю). Знову ж таки енергоресурси є необхідними для водопостачання та є ключовими у створенні та збереженні продовольства. Також, до цієї системи варто додати вплив на соціоекономічні процеси в суспільстві та навколишнє середовище. Вищенаведені взаємозв'язки в науковій літературі визначаються як WEF (water-energy-food) nexus. Забезпечення згаданими ресурсами особливо актуальне в сучасному глобалізованому світі з понад 7,6 млрд. населення, яке продовжує швидко зростати: за оновленими оцінками ООН, до 2050 р. населення зросте на 30%.

В роботі [14] розроблено модель інтегрованих взаємозв'язків, яка дозволяє отримувати кількісну оцінку щодо збалансованості потенційної пропозиції ресурсів і суспільного запиту, приймати відповідні оптимальні рішення щодо використання обмежених ресурсів. Розроблено інтегровану динамічну модель, що об'єднала в собі не тільки доволі складні взаємозв'язки систем забезпечення водними, енергетичними та продовольчими ресурсами, а й вплив прийнятих рішень в цих системах на економічні, політичні, соціальні, технологічні та екологічні аспекти суспільства. Модель дозволяє розробляти оптимальну стратегію управління WEF-ресурсами, розуміти, як рішення, прийняті в одній системі, впливатимуть на інші системи, як потенційна шкода докільню обмежуватиме пропозицію цих ресурсів. Ця модель інтегрованих взаємозв'язків дозволяє отримувати кількісну оцінку збалансованості потенційної пропозиції водних, енергетичних та продовольчих ресурсів, а також суспільного запиту на них, приймати відповідні оптимальні рішення щодо використання обмежених ресурсів.

Спалахи інфекційних хвороб та пандемія COVID-19 зокрема є надзвичайно серйозним викликом в сфері охорони громадського здоров'я. Станом на 8 вересня 2020 р., за даними Університету Джона Хопкінса, в світі було інфіковано коронавірусною хворобою понад 27 млн. осіб, та зафіксовано понад 890 тис. летальних випадків. За даними Національної служби охорони здоров'я України (НСЗУ), в Україні було інфіковано понад 140 тис. осіб і зафіксовано понад 3 тис. летальних випадків.

Зворотною стороною викликів завжди є можливості: на сьогодні такими можливостями є інформаційні технології, системи прийняття рішень, найкращі практики проактивного управління і контролю на основі сучасних методик аналізу даних (data driven decision making) та моделювання.

При цьому системний підхід має передбачати взаємовплив рішень в сфері охорони здоров'я та рішень щодо стратегічного економічного розвитку: наприклад, подолання сьогоденних наслідків COVID-19 шляхом суттєвого пом'якшення монетарної політики може вести до зростання боргового навантаження на майбутні покоління.

Для початкового аналізу епідеміологічної ситуації можливо скористатися загальнодоступним програмним забезпеченням, яке має достатньо потужний функціонал. Еволюційний розвиток розробки програмного забезпечення (ПЗ) спільнотами ентузіастів соціально відповідальних інституцій з усього світу на сьогодні забезпечує доступність розробок з відкритим доступом і різних технологій, на додаток до комерційних продуктів. Розробки ПЗ в галузі охорони здоров'я не є винятком.

Відносно широке коло ПЗ у вільному доступі спочатку розроблялося епідеміологічними інституціями для внутрішнього службового використання при прийнятті рішень, а далі було відкрито для широкої громадськості. Загалом дане ПЗ було адаптовано для поліпшення його практичного застосування, зосереджуючись на потенційних викликах з можливостями адаптивного використання.

ПЗ групи детерміністичних методів характеризується достатньою інформативністю та зручністю використання і вузьким функціоналом. Стохастичні моделі надають більше функціоналу, проте дещо втрачають в зручності використання. Максимальну функціональність дають агентно-орієнтовані моделі, але їх ефективніше використання потребує володіння відповідними навичками написання програмного коду. Досить потужною є сервісна архітектура для підтримки інтерактивного епідеміологічного моделювання *Indemics (Interactive Epidemic Simulation)*, що базується на високопродуктивних обчисленнях. В роботі [15] здійснено огляд перспектив використання загальнодоступного ПЗ у моделюванні епідеміологічних трендів. Розглянуто сильні та слабкі сторони, основні характеристики та можливі аспекти застосування такого ПЗ.

Технології, що є рушійною силою застосувань обчислювальних ресурсів, мають передбачувані тренди. Наприклад, за законом Мура, швидкість процесора подвоювалася кожні півтора роки в минулому столітті. Зазначені тренди важливі для передбачення технологічних спроможностей майбутніх обчислювальних систем, які проектуються та програмується. З розвитком інформаційно-комунікаційних технологій закони ефективності обчислювальних систем потребують перевірки і перегляду, враховуючи новітні можливості збору й обробки великих даних [16].

### **Алгоритми оцінки ефективності та цільової структури експорту регіонів України**

Глобальне поширення інформаційно-комунікаційних технологій загострює міжнародну конкуренцію, актуальну для України. Гетерогенність країн спонукає фірми до більшого рівноважного (за Нешем) податку в (більшій) країні 1 (до податкової асиметрії), а відтак до звітування фірмами більшого прибутку в (меншій) країні 2. Якщо країна 1 підвищує свою податкову ставку, то збільшує податкову базу країни 2 і стимулює країну 2 до підвищення своєї податкової ставки, і навпаки: податки країн 1, 2 є стратегічними доповнювачами. Податкова конкуренція веде до втрати податкової бази країни 1. При цьому (сумарний) звітний прибуток фірм у країні 1 перевищує звітний прибуток у країні 2, а фіскальні надходження у країні 1 перевищують фіскальні надходження у країні 2.

Таким чином, міжнародна податкова конкуренція поєднується з міжнародною податковою кооперацією за світові корпорації, які мають можливості зсуву звітних прибутків серед різних країн [17].

КМУ своїм розпорядженням № 77-р від 23.01.2019 затвердив план реалізації нового етапу реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні на 2019–2021 рр. Серед основних заходів варто зазначити: формування нової територіальної основи для діяльності органів влади на рівні громад і районів; передача повноважень органів виконавчої влади органам місцевого самоврядування; створення належної ресурсної бази для здійснення повноважень органів місцевого самоврядування.

Задля успішної реалізації стратегічних рішень такого рівня слід виходити з результатів економіко-статистичного аналізу даних та якісних експертних оцінок. В роботі [18] розглянуто й емпірично оцінено співвідношення ряду ресурсних факторів та обсягів виробництва за географічно суміжними районами Дніпропетровщини, Миколаївщини та Херсонщини. Представлений порівняльний аналіз відображає можливі шляхи розвитку за децентралізації та вказує на найкращі практики його втілення. Географічна близькість досліджуваних регіонів значною мірою виключає гетерогенний вплив зовнішніх факторів, залишаючи ключове місце саме місцевій стратегії розвитку. Політика децентралізації

та максимальної відкритості регіонів на сьогодні визнана в світі найефективнішою для стимулювання економічного зростання, а відтак і підвищення рівня життя населення.

Інвестиції в розвиток транспортної та освітньої інфраструктури виглядають досить непоганим стратегічним рішенням для об'єднаних територіальних громад (ОТГ). Однак для повноцінного успіху цього недостатньо. Кращі шляхи сполучення мають вести до пожвавлення підприємницької діяльності, а інвестиції в освіту – до належно підготовленого кваліфікованого кадрового потенціалу. Інший аспект стратегічного розвитку – прозорість та налагодження відносин з потенційними інвесторами, пошук нереалізованих експортних можливостей регіону, вивчення кращих практик сусідніх успішних ОТГ, створення сприятливих умов ведення бізнесу та прояву підприємницької ініціативи.

Нехай регіон (область)  $i$  України складається з  $n_i$  районів ( $i$  міст), для яких наявна поновлювальна шокквартильна статистика соціально-економічних показників. Алгоритм оцінки ефективності регіонів складається з наступних кроків [19].

**Крок 1.** Обираємо період для проведення оцінки, починаючи з 2016 р. (раніше 2016 року статистика в розрізі районів не оприлюднювалась)

**Крок 2.** Формується вектор даних  $W$ , що містить значення середньомісячної нарахованої заробітної плати (wage)  $W_t$  (грн.) штатних працівників у кожному вказаному кварталі для кожного району  $j=0, 1, 2, \dots, n_i$  (район з індексом 0 відповідає регіону  $i$  в цілому).

**Крок 2.2.** Формується вектор даних  $L$ , що містить значення квартальної нарахованої заробітної плати  $L_t = 3W_t$  (грн.) штатних працівників (обсягу праці (labor)) у кожному вказаному кварталі (для кожного району  $j=0, 1, 2, \dots, n_i$ ).

**Крок 3.** Формується вектор даних  $N$ , що містить значення чисельності  $N_t$  (осіб) наявного населення на кінець кварталу  $t$ .

**Крок 4.** Формується вектор даних  $C_u$ , що містить значення, обсягу освоєних (використаних) капітальних (capital) інвестицій  $C_u = \sum_{t=1}^u C_t$  (тис. грн.) за період  $T$  –  $u$  перших  $u = I, II, III, IV$  кварталів року  $T$ .

**Крок 5.** Якщо для деякого  $u$  не оприлюднено значення  $C_u$  району  $k$ , то обчислюється різниця (difference)  $D_C$  між значенням  $C_u$  (відповідного) регіону і сумою відомих значень  $C_u$  районів, а також різниця  $D_N$  між значенням  $N_0$  регіону і сумою значень  $N_j$  цих районів.

**Крок 5.1.** Генерується значення  $C_u = \frac{N_k D_C}{D_N}$  для кожного такого району  $k$ .

**Крок 6.** Формується вектор даних  $C$ , що містить значення обсягу  $C_t$  (тис. грн.) капітальних інвестицій за квартал  $t$ .

**Крок 6.2.** Формується вектор даних  $K$ , що містить значення обсягу  $K_t = \frac{C_t}{N_t}$  (грн.) капітальних інвестицій на душу населення за квартал  $t$ .

**Крок 7.** Формується вектор даних  $S$ , що містить значення обсягу  $S_t$  (тис. грн.) реалізованих нефінансових послуг (services) в кварталі  $t$ .

**Крок 8.** Якщо для  $t$  не оприлюднено значення  $S_t$  району  $l$ , то обчислюється різниця  $D_S$  між значенням  $S_t$  регіону і сумою відомих значень  $S_t$  районів, а також різниця  $D_{NS}$  між значенням  $N_0$  регіону і сумою значень  $N_j$  цих районів.

**Крок 8.2.** Генерується значення  $S_t = \frac{N_l D_S}{D_{NS}}$  для кожного такого району  $l$ .

**Крок 9.** Формується вектор даних  $I$ , що містить значення обсягу  $I_u = \sum_{t=1}^u I_t$  (тис. грн.) реалізованої промислової (industrial) продукції (товарів, послуг) без ПДВ та акцизу за період  $T$  –  $u$  перших  $u = I, II, III, IV$  кварталів року  $T$ .

**Крок 10.** Якщо для деякого  $u$  не оприлюднено значення  $I_u$  району  $m$ , то обчислюється різниця (difference)  $D_I$  між значенням  $I_u$  регіону і сумою відомих значень  $I_u$  районів, а також різниця  $D_{NI}$  між значенням  $N_0$  регіону і сумою значень  $N_j$  цих районів.

**Крок 10.1.** Генерується значення  $I_u = \frac{N_m D_I}{D_{NI}}$  для кожного такого району  $m$ .

**Крок 11.** Формується вектор даних  $I$ , що містить значення обсягу  $I_t$  (тис. грн.) реалізованої промислової продукції за квартал  $t$ .

**Крок 12.** Формується вектор даних  $Y$ , що містить значення обсягу  $Y_t = \frac{I_t + S_t}{N_t}$  (грн.) реалізованих нефінансових послуг і реалізованої промислової продукції на душу (наявного) населення за квартал  $t$ .

**Крок 13.** З результатів побудови крос-секційної регресії  $\ln Y_t = a \ln K_t + b \ln L_t + c$  обчислюються залишки (residuals)  $R_{jt}$  функції для всіх районних спостережень  $j = 1, 2, \dots, n_j$ .

**Крок 14.** Якщо  $\ln Y_{tr} = a \ln K_{tr} + b \ln L_{tr} + c + R_{tr}$ ,  $R_{tr} > 0$ , то район  $r$  має порівняно вищу економічну ефективність у кварталі  $t$  і навпаки.

Зауважимо, що в емпіричних розрахунках на основі статистичних даних  $a + b \neq 1$ .

За економічною ефективністю стабільними лідерами Тернопільщини є кластери: 1) суміжні Кременецький, Збаразький, Лановецький, Козівський райони, м. Тернопіль, м. Бережани; 2) суміжні Гусятинський, Чортківський Борщівський райони, м. Чортків [20]. Оцінений потенційний експорт області на 64% перевищує спостережуваний.

За економічною ефективністю стабільними лідерами Кіровоградщини є 4 кластери: 1) суміжні м. Кропивницький, Кіровоградський, Новомиргородський, Новоукраїнський райони, м. Знамянка, м. Олександрія, м. Світловодськ, Світловодський район; 2) Долинський район; 3) Голованівський район; 4) Гайворонський район [21]. Потенційно досяжний експорт області на 54% перевищує поточні обсяги експорту.

За ефективністю економіки промисловості та сфери послуг стабільними лідерами Луганщини є два кластери: 1) суміжні м. Рубіжне, Кремінський, Новоайдарський, Старобільський, Біловодський, Попаснянський райони; 2) прикордонні Новопсковський, Марківський і Міловський райони [22]. Загалом потенційний рівень експорту регіону на 43% вище поточного рівня.

Захист від біозагроз, охорона здоров'я, медичне страхування вимагають системної стійкості та інтегрованого менеджменту, що базуються на сучасних інформаційно-комунікаційних технологіях. Подібні технології для соціального страхування успішно розробив і впровадив Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України. На конкретному прикладі районів Запорізької області показано, які заклади охорони здоров'я виявилися без належної державної підтримки та яким чином передбачати й управляти розподіленими мережами на великих даних [23].

Охорона здоров'я характерна тим, що належить до головних державних функцій та основних видів економічної діяльності водночас, а також тим, що в сучасних умовах дає продукти подвійного застосування – використання як для звичайних цілей, так і для цілей оборони від новітніх біозагроз. При реформуванні цієї державної функції в Україні основне фінансування здійснюється НСЗУ, де керівництво змінюється порівняно часто.

## Висновки

Конкуренція є рушійною силою для ефективної роботи як приватного, так і громадського сектору. У приватному секторі конкуренція сприятиме ефективності тому, що фірми, які найкраще задовольняють споживчим перевагам, виживатимуть і процвітатимуть, а інші втрачатимуть споживачів і зазнаватимуть збитків. Оскільки конкуренція дисциплінує всіх, то конкуренція серед урядів та юрисдикцій спонукатиме їх найкраще задовольняти волю їхніх резидентів. Коли уряд або юрисдикція не може задовольняти потреби своїх резидентів, останні голосуватимуть своїми ногами і переходимуть до інших (часто – сусідніх) юрисдикцій, які пропонують кращі умови. Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, можливостей персоналізованих засобів охорони здоров'я, потреб захисту від сучасних біозагроз передбачатиме постійний аналіз великих даних на всіх рівнях – від міжнародного і державного рівнів до рівнів пунктів здоров'я та окремих фізичних осіб.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбачук М. Л., Самоїленко А. М. Михайло Васильович Остроградський і його роль у розвитку математики. *Український математичний журнал*. 2001. Т. 53, № 8. С. 1011–1023.
2. Горбачук В. М. Розвиток математичної економіки європейськими державними діячами. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: економічні науки*. 2014. Вип. 9. Ч. 7. С. 220–225.
3. Горбачук І. Т., Горбачук В. О., Мусієнко Ю. А. Деякі питання сучасного стану фізико-математичної освіти в Україні і перспективи. *Сучасні проблеми фізико-математичної освіти і науки* (25–26 травня 2017 р., Київ, Україна). До 95-річчя від дня народження доктора технічних наук, професора Дуценка В. П. Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2017. С. 120–122.
4. Горбачук М. Л., Пташник Б. Й., Ільків В. С. Життєвий і творчий шлях геніального українського математика Георгія Вороного. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Фізико-математичні науки*. 2018. № 898. С. 26–33.
5. Gorbachuk V., Dunaievskiy M., Suleimanov S.-B. Modeling of agency problems in complex decentralized systems under information asymmetry. *IEEE Conference on Advanced Trends in Information Theory* (December 18–20, Kyiv, Ukraine). Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2019. P. 449–454.
6. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Морозов О. О. Характеристика рівноваг ланцюгів постачання. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: технічні науки*. 2019. Вип. 19. С. 31–37.
7. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Морозов О. О. Рівноважні інвестиції у кібербезпеку мережі ланцюгів постачання. *Вісник Київського університету. Серія: фізико-математичні науки*. 2017. № 2. С. 47–52.
8. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Сирку А. А., Сулейманов С.-Б. Вартості досконалої інформації та стохастичного рішення. *Комп'ютерна математика*. 2017. № 2. С. 108–117.
9. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Сулейманов С.-Б., Батіг Л. О., Симонов Д. І. Моделі прийняття рішень на ринку хмарних послуг. *Кібернетика та комп'ютерні технології*. 2021. № 3. С. 53–64.
10. Гайворонський О. О., Горбачук В. М., Дунаєвський М. С. Стратегічна взаємодія провайдерів диференційованих Інтернет-послуг. *Проблеми управління і інформатики*. 2021. № 6. С. 102–113.
11. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Сирку А. А., Сулейманов С.-Б. Оптимізаційні питання оцінювання щільності на реальних даних. *Штучний інтелект*. 2017. № 3-4. С. 101–110.
12. Дунаєвський М. С. Надійна модель контролю забруднення агропромисловістю за невизначених погодних умов. *Комп'ютерна математика*. 2018. № 1. С. 36–45.
13. Gorbachuk V. M., Dunaievskiy M. S., Syrku A. A., Suleimanov S.-B. Substantiating the diffusion model of innovation implementation and its application to vaccine propagation. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2022. Vol. 58. No. 1. P. 84–94.
14. Дунаєвський М. С. Моделювання системи оптимального використання водних, енергетичних та продовольчих ресурсів. *Комп'ютерна математика*. 2019. № 1 С. 3–9.
15. Дунаєвський М. С., Лефтеров О. В., Большаков В. М. Використання загальнодоступного програмного забезпечення у моделюванні епідеміологічних трендів. *Кібернетика та комп'ютерні технології*. 2020. № 3. С. 32–42.
16. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Сулейманов С.-Б. Прогнозування ефективності багатокомпонентних обчислювальних систем. *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. 2021. 32. С. 96–100.
17. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Сулейманов С.-Б. Податкова конкуренція і кооперація за світової корпорації. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 3 (66). Т. 1. С. 45–54.
18. Дунаєвський М. С. Економічне зростання суміжних районів за децентралізації. *Теорія оптимальних рішень*. 2019. №18. С. 94–99.
19. Кнопов П. С., Горбачук В. М., Кирилюк В. С., Атоєв К. Л., Дунаєвський М. С., Сирку А. А. Інтелектуальні засоби поквартального оцінювання економічної ефективності й цільової структури експорту у 2017–2018 рр. на прикладі Київщини. *Штучний інтелект*. 2018. №3. С. 111–125.
20. Горбачук В. М., Неботов П. Г., Дунаєвський М. С. Поквартальне оцінювання економічної ефективності й структури експорту Тернопільщини у 2017–2018 рр. *Приазовський економічний вісник*. 2018. Вип. 6 (11). С. 574–584.
21. Горбачук В. М., Шпига С. П., Дунаєвський М. С. Поквартальне оцінювання економічної ефективності й структури експорту Кіровоградщини у 2017–2018 рр. *Вісник Одеського національного університету імені І.І.Мечникова. Економіка*. 2018. Т. 23. Вип. 5 (70). С. 177–185.
22. Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Симонов Д. І. Поквартальне оцінювання економічної ефективності й цільової структури експорту Луганщини. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2021. Випуск 3 (30). С. 102–113.
23. Горбачук В. М., Гавриленко С. О., Голоцуков Г. В., Дунаєвський М. С., Ніколенко Д. І. До інтегрованого менеджменту і фінансового забезпечення інфраструктури охорони здоров'я районів Запоріжчини. *Кібернетика та комп'ютерні технології*. 2020. № 4. С. 87–99.

**Горбачук Василь Михайлович** — доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу інтелектуальних інформаційних технологій, Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України, Київ, e-mail: GorbachukVasy1@netscape.net

**Дунаєвський Максим Сергійович** — молодший науковий співробітник відділу інтелектуальних інформаційних технологій, Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України, Київ

**Gorbachuk Vasy1 M.** – Doctor of Science (Physics and Mathematics), Head of Department of Intelligent Information Technologies, V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, e-mail: GorbachukVasy1@netscape.net

**Dunaievskiy Maksym S.** – Junior Research Associate, Department of Intelligent Information Technologies, V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv