

СУЧАСНЕ МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України

Анотація

Поведінкова економіка стає однією з найактуальніших областей економіки, яка має практичні наслідки для автоматизованих смарт-контрактів у технічних системах, алгоритмічної та високочастотної торгівлі, ефективної суспільної організації загалом.

Ключові слова: смарт-контракти, обмін, добробут, зовнішні ефекти, електронні переклади.

Abstract

Behavioral economics is becoming one of the most relevant areas of economics, which has practical implications for automated smart contracts in technical systems, algorithmic and high-frequency trading, and effective social organization in general.

Keywords: smart contracts, exchange, welfare, externalities, electronic translations.

Вступ

Серед Нобелівських лауреатів можна виділити низку експертів з поведінкової економіки. Для реального освітнього процесу важливими є відповідні доступні переклади книг, особливо переклади з науковим редагуванням та електронні переклади.

Роберт Фогель (1926–2013) і Дуглас Норт (1920–2015) [1–6] отримали Нобелівську премію 1993 р. за відновлення досліджень економічної історії шляхом застосування економічної теорії і кількісних методів для пояснення економічних та інституційних змін. Батьки Роберта Фогеля приїхали до США з м.Одеса (Україна) у 1922 р. Роберт Фогель здобув наукові ступені бакалавра з історії та економіки Корнельського університету (заснованого у 1864 р.) у 1948 р., магістра мистецтв з економіки Колумбійського університету (заснованого у 1754 р.) у 1960 р., доктора філософії з економіки Університету Джонса Хопкінса (заснованого у 1876 р.) у 1963 р. Фогель вивчав роль залізниць для розвитку економіки США. Фогель також торкався економічних аспектів рабства, особливо на Півдні США, і пов'язаної з ним Громадянської війни США 1861–1865 рр.

Джордж Акерлоф [7–10], Майкл Спенс [11, 12], Джозеф Стігліц [13–27] отримали Нобелівську премію 2001 р. за вивчення ринків з асиметричною інформацією. Джордж Акерлоф здобув науковий ступінь бакалавра з економіки Єльського університету (заснованого у 1702 р.) у 1962 р. і доктора філософії з економіки Массачусетського технологічного інституту (заснованого у 1861 р.) у 1966 р. Асиметрична інформація (інформаційний збій (failure)) має місце тоді, коли одна сторона знає про продукт більше, ніж інша. Інформаційний збій виникає зазвичай, якщо продавець продукту знає про нього більше, ніж покупець. Таке відбувається при продажу вживаних автомобілів: продавці вживаних автомобілів часто продають автомобілі нижчої якості за вищими цінами, не бажаючи мати справу з автомобілями вищої якості.

Деніел Канеман (1934–2024) [28–33] і Вернон Сміт [34, 35] отримали Нобелівську премію 2002 р. за інтеграцію ідей психологічних досліджень в економічну науку, особливо за результати щодо людських суджень і прийняття рішень в умовах невизначеності. Даніель Канеман здобув наукові ступені бакалавра із психології та математики Єврейського університету в Єрусалимі (заснованого у 1918 р.) у 1954 р. в Ізраїлі та доктора філософії із психології Каліфорнійського університету в Берклі (заснованого у 1868 р.) у 1961 р. у США. Поєднуючи економічні міркування з людською когнітивістикою (cognitive science), Канеман зміг отримати розуміння того, як люди приймають рішення в умовах невизначеності.

Еліно́р Остро́м (1933–2012) [36, 37] стала першою жінкою, яка отримала Нобелівську премію з економіки. Це сталося у 2009 р. Премія була присуджена за аналіз економічного врядування, зокрема самоврядування громад (commons). Еліно́р Остро́м здобула наукові ступені бакалавра з політичних наук з відзнакою, магістра з політичних наук, доктора філософії з політичних наук Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі (започаткованого у 1881 р.) у 1954 р., 1962 р., 1965 р. відповідно. Остро́м базувала свої дослідження не стільки на теоретичних моделях, скільки на практичних кейсах організації зрошення, рибальства, лісництва у багатьох країнах різних континентів, включаючи Непал, Іспанію, Індонезію, Нігерію, Болівію, Швецію, США.

Елві́н Рот [38, 39] і Лло́йд Шеплі́ (1923–2016) [40] отримали Нобелівську премію 2012 р. за теорію стійких розміщень і практику проектування ринків. Елві́н Рот здобув наукові ступені бакалавра з дослідження операцій Колумбійського університету у 1971 р., магістра з дослідження операцій і доктора філософії з дослідження операцій Стенфордського університету (заснованого у 1891 р.) у 1973 р. і 1974 р. відповідно.

Роберт Шиллер [7, 9, 10, 41, 42], Юджин Фама, Ларс Пітер Гансен отримали Нобелівську премію 2013 р. за емпіричний аналіз цін на активи. Роберт Шиллер здобув наукові ступені бакалавра мистецтв Мічиганського університету (заснованого у 1817 р.) у 1967 р., магістра з економіки і доктора філософії з економіки Массачусетського технологічного інституту у 1968 р. і 1972 р. відповідно. Шиллер зазначає, що нездатність людей діяти раціонально походить від так званих «евристик» – стереотипів (shortcuts), які добре працюють у короткостроковій перспективі, але не в довгостроковій.

Олі́вер Ха́рт [43] і Бенгт Холмстро́м отримали Нобелівську премію 2016 р. за свій внесок у теорію контрактів. Олі́вер Ха́рт здобув наукові ступені бакалавра мистецтв з математики Королівського коледжу у Кембриджі (заснованого у 1441 р.) у 1969 р. і магістра з економіки Університету Уорвіка (заснованого у 1965 р.) у 1972 р. у Великобританії, доктора філософії з економіки Принстонського університету (заснованого у 1746 р.) у 1974 р. у США. Бенгт Холмстро́м здобув наукові ступені бакалавра з математики Університету Хельсінкі (заснованого у 1640 р.) у 1972 р. у Фінляндії, магістра з дослідження операцій та доктора філософії з економіки Стенфордського університету відповідно у 1975 р. та 1978 р. у США.

Річа́рд Тале́р [44–48] отримав Нобелівську премію 2017 р. за свій внесок у поведінкову економіку. Річа́рд Тале́р є нащадком Селі́га Тале́ра (1831–1903) з м.Бережани Тернопільщини та внуком Ісидора Мельникова (1893–1940) з м.Борисов Білорусі. Річа́рд Тале́р здобув наукові ступені бакалавра мистецтв Західного резервного університету Кейса (заснованого у 1826 р.) у 1967 р., магістра мистецтв з економіки та доктора філософії з економіки Університету Рочестера (заснованого у 1850 р.) у 1970 р. та 1974 р. відповідно. Його докторська дисертація має назву «Цінність порятунку життя: ринкова оцінка». Тале́р відомий своїми результатами в області вивчення прийняття рішень, самоконтролю, впливу когнітивних обмежень на фінансові ринки. Він ввів термін «натякання» (nudging), який стосується використання позитивного підкріплення та непрямого навіювання для поліпшення процесів прийняття рішень людьми, подолання ірраціональності, притаманної цим процесам. Наприклад, «натякання» може нагадувати людині про важливість вибору здорової їжі чи допомагати людині не відволікатися на свій мобільний телефон під час керування автомобіля.

Пол Мілгром [49] і Роберт Вілсон отримали Нобелівську премію 2020 р. за вдосконалення теорії аукціонів і винаходи нових форматів аукціонів. Пол Мілгром здобув наукові ступені бакалавра з математики Мічиганського університету у 1970 р., магістра зі статистики та доктора філософії з бізнесу Стенфордського університету у 1978 р. та 1979 р. відповідно. Роберт Вілсон (науковий керівник Рота, Холмстро́ма, Мілгро́ма) здобув наукові ступені бакалавра мистецтв, магістра з ділового адміністрування, доктора філософії з ділового адміністрування Гарвардського університету (заснованого у 1636 р.) у 1959 р., 1961 р., 1963 р. відповідно.

Смарт-контракти в енергетиці

Однією з відмітних рис технології блокчейн є смарт-контракт – самовиконуваний та програмований угоди, закодовані в блокчейні. Такі контракти автоматизують і втілюють наперед визначені умови, скеровуючи процеси і зменшуючи потребу в посередниках. Поєднання прозорої та безпечної облікової книги (ledger) блокчейну з програмованістю смарт-контрактів сприяє ефективності трансакцій поміж різних секторів і довірі до цих трансакцій, розвиваючи ширшу концепцію технології розподіленої облікової книги (distributed ledger technology, DLT).

На традиційному ринку електрики електроенергія надходить від великих електростанцій і через національні та регіональні електромережі до місцевих розподільних систем, приєднаних до кінцевих користувачів. Оператори мереж забезпечують узгодження попиту і пропозиції та підтримують якість електрики в будь-який час. Ця якість включає забезпечення підтримання частоти енергосистеми в межах дозволеного діапазону, миттєве балансування попиту і пропозиції, існування достатньої спроможності для зберігання енергії на випадок значних непередбачуваних змін попиту чи пропозиції як допоміжної (ancillary) послуги. Операторів мереж можна вважати посередниками між виробниками і споживачами. У традиційних енергосистемах управління балансом здійснюється на рівні передачі, позаяк у сучасних мережах таке управління здійснюється на рівні локального розподілу. Швидка інтеграція переривчастої (intermittent) і часто дуже розподіленої відновлюваної генерації в енергосистему, а також інтеграція продуктів і послуг, основаних на інформаційно-комунікаційних технологіях, збільшили потребу використання інтелектуальної платформи для енергоменеджменту та балансування попиту і пропозиції. Впровадженням такої платформи є застосування розумних (smart) технічних засобів, ініціатив розумної взаємодії, інструментів розумного моніторингу (смарт-контрактів).

Смарт-контракти – це прості коди, які можна виконати для реалізації певної функції. Ці контракти еквівалентні паперовим контрактам, але усувають потребу в правоохоронному органі (enforcement agency) для забезпечення відповідності (compliance) дій сторін контракту його умовам, оскільки в разі виконання такого контракту він завершується відповідно до запланованих (запрограмованих) наслідків, незалежно від будь-якого додаткового втручання людини [50]. Відома основана на технології блокчейну екосистема вуглецевих кредитів (carbon credit), яка включає кілька смарт-контрактів: записування суттєвих даних з використанням системи реєстрів (registry system) на блокчейні, добування (mining) вуглецевих токенів, контракт з мультипідписом (multisignature), автоматизований маркет-мейкер (market maker), подібний до ДП «Енергоринок» [51]. Вивчався вплив смарт-контрактів у різних розумних мережах [52–54]. Дослідження неоднорідності споживчих переваг щодо смарт-контрактів на послуги електрики в контексті розумної мережі показує, що інтелектуальні постачальники послуг електрики можуть значно знижувати свої витрати на залучення клієнтів (customer acquisition costs), орієнтуючись на клієнтів з особливими характеристиками [55]. Якщо має місце єдиний контракт для енергоменеджменту розумного житлового будинку з фотоелектричним виробництвом, електричними транспортними засобами, системою енергонакопичення на акумуляторах (battery energy storage system), а кожний клієнт у цьому будинку має гнучкий контракт на електрику, то за допомогою оптимальної кількості законтракованої електрики енергоагрегата та інтелектуальної системи енергоменеджменту витрати на електрику будинку загалом можна зменшити майже вдвічі [56].

Схема [57] дає децентралізоване виконання економічної диспетчеризації з використанням смарт-контрактів, забезпечує оснований на вартості репутації механізм стимулювання і багатосторонню транзакцію, основу на вартості репутації та платіжної вартості (billing value) [58]. Ця схема: сприяє розподілу надлишку енергії серед сусідніх структур, щоб зменшувати вимоги до енергопередачі у менеджменті традиційних електромереж; може в достатній мірі гарантувати дотримання всіма залученими сторонами плану диспетчеризації; усуває потребу залучення учасників до торгів, таким чином зберігаючи час і запобігаючи конфліктам транзакцій.

Схема [59] пропонує поточний і майбутній статус торгівлі вуглецевими викидами (газами) в енергетичній галузі, вивчаючи зразки зростання та перешкоди зростанню, розробляє діаграму, що окреслює структуру процесу оптимізації для цієї торгівлі з використанням технології блокчейну та розумної системи торгівлі вуглецевими викидами, розробляє модель для смарт-контрактів у цій системі. Ця схема: підвищує безпеку й ефективність торгівлі вуглецевими викидами; поліпшує механізм зберігання даних цієї торгівлі; оцінює достовірність (credibility) учасників торгів; точно веде облік транзакцій; пропонує високий ступінь спроможностей автоматизованих розрахунків (automated settlements).

Схема [60] запроваджує інноваційну структуру смарт-контрактів у розумних містах, реалізує практичний і життєздатний динамічний протокол безпеки послуги, демонструє практичність і здійсненність (feasibility) децентралізованої архітектури безпеки послуги для різноманітних пристроїв Інтернету речей (Internet of Things, IoT). Ця схема: досліджує процес реєстрації пристроїв IoT у гетерогенних мережах; вивчає встановлення захищеного зв'язку поміж кількох гетерогенних мереж; перевіряє процедури, пов'язані з реєстрацією, комунікацією та виконанням динамічних протоколів безпеки послуг серед пристроїв IoT у гетерогенній мережі.

Схема [61] розширює децентралізовану структуру однорангового (peer-to-peer, P2P) ринку, об'єднує блокчейн-фреймворк Hyperledger Fabric із налаштованим смарт-контрактом, документує

багатокроковий процес клірингу ринку (market clearing) протягом дня. Ця схема: сприяє вирізненню продуктів через двосторонні переговори; виробляє довіру учасників і зберігає конфіденційність під час двосторонніх переговорів; вивчає вплив відмінності продуктів P2P-ринку на доходи і спрямування відновлюваної енергії.

Схема [62] пропонує ретельний аналіз досліджень смарт-контрактів з охопленням обмежень і вирашів, представляє 6-рівневу архітектуру й енергетичний смарт-контракт, проводить оцінювання різноманітних реальних застосувань смарт-контрактів у промислових контекстах і пілотних демонстраційних ініціативах. Ця схема: пропонує перспективну базу для ініціації розгортання смарт-контрактів; надає структурований опис переваг і недоліків, пов'язаних зі смарт-контрактами.

DLT є наріжним каменем систем блокчейну, істотно відрізняючись від традиційних підходів до менеджменту та верифікації даних. У сфері торгівлі вуглецевими викидами DLT пропонує децентралізовану, прозору, непорушну облікову книгу, яка сприяє ефективним і безпечним трансакціям, усуваючи потребу в посередниках. P2P-природа DLT гарантує, що записи трансакцій одночасно зберігаються поміж вузлів мережі, поліпшуючи стійку до втручання (tamper-resistant) екосистему, де кожний учасник володіє синхронізованою і неперервно оновлюваною обліковою книгою. Цей децентралізований консенсусний механізм [63] не тільки підвищує цілісність і безпеку даних, але й породжує довіру серед учасників, прокладаючи шлях для інноваційних і прозорих платформ торгівлі вуглецевими викидами.

Розподілена облікова книга є непорушним історичним записом: фактично всі трансакції блокчейну записуються у непорушну облікову книгу і розподіляються по всій мережі. Загалом виділяють 3 типи розподіленої облікової книги: облікова книга з єдиним записом (single-entry) включає односторонній запис у стовпці кредиту чи дебету; облікова книга з подвійним записом включає одночасне відстеження боргів і кредитів; облікова книга з потрійним записом включає розширену систему подвійного запису, де всі входи трансакції перевіряються та захищаються криптографічною системою. Блокчейн використовує потрійну облікову книгу, яка включає борг, кредит, зв'язки між попередніми блоками.

Енергія – це природний ресурс, який живив зростання економік країн, починаючи від XIX століття. Процеси цифровізації суспільства у XXI столітті спираються на обладнання, яке потребує енергії. За даними British Petroleum, у 2021 р. глобальний попит на первинну енергію зріс на 5,8%, а вуглецеві викиди від енергоспоживання зросли на 5,9%. Дефіцит викопного палива та відомі екологічні проблеми, пов'язані з вуглецевими викидами, допомагали посилювати увагу до відкриття альтернативних енергоджерел, серед яких найважливішими є такі відновлювані джерела, як сонячна та вітрова енергія [64]. Енергія, видобута з різних (традиційних і відновлюваних) джерел, генерується з боку пропозиції і доставляється споживачам з боку попиту. Менеджмент зростаючого попиту на енергію з боку пропозиції обмежується через реальні інфраструктурні та ресурсні умови мережі.

Смарт-контракти дозволяють вирішувати багато сучасних проблем енергетики України, зокрема відомі проблеми залучення малого і середнього бізнесу до енергогенерації для енергомереж. Сучасна енергетика має задовольняти критеріям ефективності, резильєнтності, керованості та іншим [65, 66].

Поведінкова економіка

Поведінкова економіка стосується як тактичних рішень (споживання), так і стратегічних рішень (заощаджень та інвестицій), поєднуючи в собі міркування економіки і психології та уточнюючи теорію споживчого вибору.

Психологічні експерименти свідчать, що рішення споживача може залежати від контексту цього рішення, його представлення чи оформлення, від ефектів обрамлення (фреймінгу). Наприклад, керівник служби охорони здоров'я приймає рішення про лікування 600 людей від серйозної хвороби, обираючи одну з двох альтернатив А, Б. Варіант А означає врятувати життя 200 людей напевно. Варіант Б означає врятувати життя кожної людини з ймовірністю 1/3 і не врятувати життя кожної людини з ймовірністю 2/3. Хоча обидва варіанти математично рівносильні, психологічно варіант А виглядає привабливішим.

Припустимо, що потрібно вибрати одну з двох альтернатив В, Г для лікування 600 людей. Нехай варіант В означає лікування, яке дає летальні випадки для 400 людей напевно. Варіант Г означає для кожного пацієнта летальний випадок з ймовірністю 2/3 та одужання з ймовірністю 1/3. Хоча обидва варіанти математично рівносильні, психологічно варіант Г виглядає привабливішим.

На рішення також впливають ефекти прив'язування (anchoring), коли підставлена (spurious) інфо-

рмація може впливати на вибір. Наприклад, спочатку людина обертає колесо фортуни (wheel of fortune), яке зупиняється на числі Ч. Потім цю людину запитують: чи перевищує Ч кількість незалежних держав Африки, які входять до ООН; скільки країн є в Африці. Виявляється, що відповіді цієї людини залежать від Ч.

Іншим прикладом ефекту прив'язування є два послідовні питання до певної людини: чи готова вона заплатити за стандартну пляшку вина суму, яка складається з двох останніх цифр її номера соціального страхування; скільки вона готова заплатити за цю пляшку. Виявляється, що відповідь на друге питання залежить від відповіді на перше питання.

Також прикладом ефекту прив'язування є поведінка людей при підписанні пенсійних планів, залежна від пропонованого плану варіанту за замовчуванням (by default). Тому можна регулювати пенсійні заощадження шляхом вибору такого варіанту.

Вибір варіанту залежить від розташування цього варіанту – брекети́нгу (bracketing). Оскільки людині важко передбачати власну поведінку за різних обставин, то прийняте заздалегідь рішення про склад свого другого сніданку дає різноманітніші результати щодо меню, ніж подібне рішення, прийняте безпосередньо перед другим сніданком.

Споживчий вибір ускладнюється, коли кількість варіантів рішення збільшується. Нехай на прилавку Е продають 24 види варення, а на прилавку Є – 6 видів варення. Споживачі зупинилися більше коло прилавку 1, але купували більше на прилавку 2, бо за прийнятою психологічною теорією споживачі формують свої переваги щодо варення перед тим, як підходять до прилавків. Купівля виявляє ці переваги, які можуть бути узгодженими між собою.

Люди у повсякденному житті мають справу, як правило, з малими вибірками. За законом малих чисел, такі вибірки надмірно впливають на людей, або люди надають цим вибіркам надмірного значення. Нехай у великій лікарні щодня народжується в середньому 45 немовлят, а у малій лікарні – 15 немовлят. Протягом певного року кожна лікарня реєструвала дні, в які понад 60% новонароджених (понад 27 у великій лікарні, понад 9 у малій лікарні) були хлопчиками. Довільно вибраній людині повідомляють про це, а потім запитують: в якій лікарні таких днів було більше. Результати опитування: 22% опитаних вважали, що в більшій лікарні таких днів було більше; 56% опитаних вважали, що таких днів було приблизно однаково; 22% опитаних вважали, що в меншій лікарні таких днів було більше (правильна відповідь). Отже, вибір людини ускладнюється за невизначеності.

Для розпізнавання випадковості можна скористатися записами послідовних результатів 150 підкидань монети конкретною людиною (гравцем). Приблизно 15% записів – це записи про орли чи решки 3 рази поспіль, але орел чи решка випадає 3 рази поспіль з ймовірністю близько 25%. Це має практичні наслідки для змішаних стратегій гравців. Наприклад, у тенісі подачі є корельованими.

Люди ухиляються від будь-якого програшу та ризику. Наприклад, багато людей з річним доходом понад 100 тис. дол. відмовляються брати участь у грі з підкиданням монети, яка дає виграш 14 дол. і програш 10 дол. з результатом «орел» і результатом «решка» відповідно, незважаючи на середній виграш 2 дол.: можливо, для такої людини альтернативна вартість часу на участь в цій грі перевищує 2 дол. Страхування і перестрахування ґрунтуються на тому, що загалом люди не є схильними до ризику і є схильними бути застрахованими від малоймовірних подій. З іншого боку, люди схильні інтегрувати свої активи та дбати про загальний добробут.

Обмін

У теорії (чистого) обміну застосовують скриньку Еджворта – прямокутник ACBD, де вершини А, В відповідають особам А, В відповідно, довжина AC, рівна довжині BD, дорівнює максимальному сумарному обсягу продукту 1 у (володінні) цих осіб, довжина AD, рівна довжині CB, дорівнює максимальному сумарному обсягу продукту 2 в цих осіб. Позначимо x_A^i та x_B^i обсяг продукту $i=1,2$, яким володіє особа А та В відповідно. Кожна особа вибирає при заданих обмеженнях (наприклад, бюджетних обмеженнях) такі обсяги продуктів, які максимізують функцію корисності цієї особи. Тоді особі А може бути вигідно обміняти деякий обсяг продукту 1, яким вона володіє, на деякий обсяг продукту 2, яким володіє особа В: відбувається процес добровільної (взаємовигідної) торгівлі. Цей процес еволюції допустимих розміщень (feasible allocations) веде до Парето-ефективних розміщень пакетів споживання (consumption bundles) продуктів 1, 2 серед осіб А, В (має місце збіжність послідовності станів торгівлі). У таких розміщеннях крива байдужості особи А є дотичною (tangent) до кривої байдужості особи В. Геометричне місце (locus) всіх Парето-ефективних розміщень називають множиною Парето або контрактною кривою. Взаємовигідна торгівля створює стимули для

виробництва продуктів. Серед варіантів неструктурованої добровільної торгівлі важливо виділити механізм конкурентного ринку [67].

Згаданий механізм стає реалістичнішим, коли учасників торгівлі стає більше, стає більше можливостей для конкуренції і менше можливостей для кооперації. У моделі з багатьма гравцями ціни вважаються заданими. Якщо у моделі Еджворта вважати, що є велика кількість гравців типу A , рівна кількості гравців типу B , то ціни p_1, p_2 продуктів 1, 2 відповідно теж можна вважати заданими.

Ціни p_1^*, p_2^* продуктів називаються рівноважними (дають загальну рівновагу), якщо при таких цінах надлишковий агрегований попит на кожний продукт $i = 1, 2$ стає нульовим:

$$z^1(p_1^*, p_2^*) \doteq x_A^i(p_1^*, p_2^*) - \omega_A^i + x_B^i(p_1^*, p_2^*) - \omega_B^i = 0,$$

де: ω_A^i, ω_B^i – початкові значення (initial endowments) обсягу продукту i , яким володіє гравець A, B відповідно; $x_A^i(p_1, p_2), x_B^i(p_1, p_2)$ – функція попиту на продукт i гравця A, B відповідно. Якщо ж агрегований попит є нульовим на одному ринку і є ненульовим на іншому ринку, то має місце часткова рівновага. У загальній рівновазі ринки взаємодіють між собою, продукти можуть бути заміниками (substitutes) чи доповнювачами (complements), ціни впливають на виграші, а виграші впливають на ціни. У ринковій рівновазі попит дорівнює пропозиції.

За законом Вальраса, вартість агрегованого надлишкового попиту дорівнює нулю при всіх можливих виборах цін:

$$p_1 \times z^1(p_1, p_2) + p_2 \times z^2(p_1, p_2) \equiv 0.$$

Якщо задовольняється бюджетне обмеження для кожної особи, то задовольняється бюджетне обмеження для ринку в цілому.

За першою теоремою добробуту, всі ринкові рівноваги є Парето-ефективними розміщеннями.

Якщо у моделі Еджворта гравець A знає функцію попиту гравця B для кожного продукту $i = 1, 2$ і максимізує свій виграш, монополюючи встановлюючи ціни p_1, p_2 , то результуюче розміщення продуктів загалом не буде Парето-ефективним. Результуюче (final) розміщення буде Парето-ефективним, якщо монополіст застосовує досконалу дискримінацію.

За другою теоремою добробуту, якщо гравці A, B мають опуклі переваги, то існує такий набір (рівноважних) цін, для якого кожне Парето-ефективне розміщення є ринковою рівновагою при відповідному призначенні $\omega_A^i, \omega_B^i, i = 1, 2$.

Виробництво

Основна ідея класичної моделі виробництва загальної рівноваги (економіки Робінзона Крузо) з однієї особи, яка споживає продукти 1, 2, полягає у тому, що система цін слугує способом децентралізації задач розміщення ресурсів. Споживачеві потрібно знати лише публічні ціни, свій власний дохід і свої власні споживчі переваги (смаки). Споживачеві не потрібно знати про технологічну здійсненність (feasibility) виробництва, а виробникові не потрібно знати про споживчі переваги: вважається, що всю інформацію відображають рівноважні ціни [68].

Ця децентралізаційна роль системи цін підвищується зі зростанням кількості споживачів.

Ефективність системи цін залежить від характеру технології: ця система працює бездоганно (works out just dandy), якщо технологія має зменшувану чи постійну віддачу від масштабу, але не працює, якщо технологія має збільшувану віддачу від масштабу. Важливо порівняти проблеми, що виникають для технологій зі збільшуваною віддачею від масштабу, і проблеми, що виникають для технологій зі зменшуваними середніми витратами монополії: оскільки ціноутворення за граничними витратами (marginal cost pricing) вестиме до збитків, то виникають питання інших систем ціноутворення. Для міжнародної торгівлі та ціноутворення важлива ідея порівняльної переваги [69].

Добробут

Агрегування переваг людей має неоднозначні наслідки, залежні від поведінки людей, обраних способів реєстрації інформації про цю поведінку, вибраних технологій обробки техногенних, антропогенних і змішаних даних. Вибір таких способів і технологій, у свою чергу, залежить від поведінки людей, яким делегують цей вибір. Іншими словами, агрегування переваг людей залежить як від об'єктивних, так і від суб'єктивних (людських) факторів, тобто від людських маніпуляцій. Оскільки результат мажоритарного голосування (majority voting) може залежати від порядку, в якому відбува-

ється голосування, то виникає мотивація маніпулювати порядком денним для кожного мажоритарного голосування. Оскільки в ранговому голосуванні (rank-order voting) введення нової альтернативи може змінювати результат процесу голосування, то також виникає мотивація маніпулювати політичним процесом, скажімо, шляхом введення іншої альтернативи з іменем, схожим до імені іншої альтернативи. Теорему Ерроу про неможливість абсолютно демократичного рішення через голосування можна інтерпретувати як твердження про існування маніпуляції чи маніпуляцій при будь-якому голосуванні.

Незважаючи на відомі проблеми агрегування переваг і голосування, можна скористатися функціями добробуту. Кожний максимум функції добробуту дає Парето-ефективне розміщення. Крім того, при загальних умовах опуклості, кожне Парето-ефективне розміщення дає максимум деякої функції добробуту. Для справедливого розміщення можна застосувати інші методи справедливого поділу, коли, наприклад, одна людина розрізає пиріг на дві частини, а інша людина вибирає собі частину [70, 71].

Зовнішні ефекти

Нехай у скриньці Еджворта продуктом 1 є гроші (яким надає перевагу кожна особа A , B), а продуктом 2 – можливість курити у спільному для осіб A , B приміщенні (якій надає перевагу лише особа A). Чим більше продукту 2, тим більша корисність особи A і тим менша корисність особи B . Водночас особа B може продати особі A право на певний обсяг (квоту) забруднення повітря у спільному приміщенні на певних законних умовах, які передбачають зовнішні ефекти (externalities) [72]. При цьому забруднення повітря генерується однією особою, але наслідки цього забруднення стосуються обох осіб.

Парето-ефективне розміщення продуктів 1, 2 серед осіб A , B визначатиме величину зовнішнього ефекту. Якщо функції корисності є квазілінійними, то за теоремою Коуза таке розміщення однозначно визначає цю величину – висоту відрізка, рівного за довжиною і паралельного сторонам CB , AD прямокутника $ACBD$. На цьому відрізку крива байдужості особи A є дотичною до відповідної кривої байдужості особи B .

Нехай фірми S , F виробляють обсяг s сталі (steel) за ціною (price) p_s , обсяг f риби (fish) за ціною (price) p_f відповідно з (квазілінійним) прибутком

$$\begin{aligned}\pi_s &\doteq p_s s - c_s(s, x) \text{ та} \\ \pi_f &\doteq p_f f - c_f(f, x)\end{aligned}$$

відповідно, де: $c_s(s, x)$, $c_f(f, x)$ – функція витрат фірми S , F відповідно; x – обсяг забруднення внаслідок виробництва сталі фірмою S . Фірма S максимізує свій прибуток по s , x :

$$0 = \frac{\partial \pi_s}{\partial s} = p_s - \frac{\partial c_s(s, x)}{\partial s}, \quad 0 = \frac{\partial \pi_s}{\partial x} = 0 - \frac{\partial c_s(s, x)}{\partial x}.$$

Фірма F максимізує свій прибуток по f :

$$0 = \frac{\partial \pi_f}{\partial f} = p_f - \frac{\partial c_f(f, x)}{\partial f}.$$

Припускаючи, що обсяг забруднення однією фірмою негативно впливає на виробництво іншою фірмою, дослідимо поведінку об'єднаної фірми S та F , яка максимізує по s , f , x свій прибуток

$$\pi \doteq \pi_s + \pi_f = p_s s - c_s(s, x) + p_f f - c_f(f, x):$$

$$0 = \frac{\partial \pi}{\partial s} = p_s - \frac{\partial c_s(s, x)}{\partial s}, \quad 0 = \frac{\partial \pi}{\partial f} = p_f - \frac{\partial c_f(f, x)}{\partial f}, \quad 0 = \frac{\partial \pi}{\partial x} = -\frac{\partial c_s(s, x)}{\partial x} - \frac{\partial c_f(f, x)}{\partial x},$$

де $\frac{\partial c_s(s, x)}{\partial x} + \frac{\partial c_f(f, x)}{\partial x}$ називають граничними соціальними витратами.

Якщо фірма S платитиме податок (tax) Пігу tx за забруднення, то її прибутком буде $\pi_s(t) \doteq p_s s - c_s(s, x) - tx$, звідки

$$0 = \frac{\partial \pi_s(t)}{\partial x} = -\frac{\partial c_s(s, x)}{\partial x} - t.$$

Результати дослідження

Вивчення праць Нобелівських лауреатів сприяє як популяризації науки, так і організації процесів ефективної освіти, зокрема вищої освіти [73]. Реалізація таких процесів передбачає доступ до відповідної інформації, а також систему перекладів відповідних книг державною мовою. Для поширення перекладів можна застосовувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології, наприклад, електронні видання та бази даних.

Висновки

Система перекладів державною мовою книг провідних науковців світу, насамперед, Нобелівських лауреатів, може стати новітньою передовою галуззю науково-технічної діяльності, яка включатиме фахівців з питань інтелектуальної власності, перекладачів з багатьох мов світу, наукових редакторів за провідними науковими напрямками, користувачів у галузях науки, техніки, освіти, економіки, фінансів, управління тощо [74, 75]. Загальна науково-освітня діяльність об'єднуватиметься як математикою, так і сучасними інформаційно-комунікаційними технологіями роботи з даними і текстами [76].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Норт Д. *Институты, институциональные изменения и функционирование экономики*. А.Н.Нестеренко (пер.). Б.З.Мильнер (ред.). М.: Начала, 1997. 180 с.
2. Норт Д. *Институції, інституційна зміна та функціонування економіки*. І.Дзюб (пер.). Київ: Основи, 2000. 198 с.
3. Норт Д. *Понимание процесса экономических изменений*. К.Мартынов, Н.Эдельман (пер.). М.: ВШЭ, 2010. 256 с.
4. Норт Д., Уоллис Д., Вайнгаст Б. *Насилие и социальные порядки. Концептуальные рамки для интерпретации письменной истории человечества*. Д.Уэланер, М.Марков, Д.Расков, А.Раскова (пер.). М.: Институт экономической политики имени Е.Т.Гайдара, 2011. 480 с.
5. Норт Д., Уоллис Дж., Уэбб С., Вайнгаст Б. *В тени насилия: уроки для обществ с ограниченным доступом к политической и экономической деятельности*. А.Яковлев, Л.Полищук (ред.). М.: ВШЭ, 2012. 48 с.
6. Норт Д., Волліс Д., Вайнгест Б. *Насильство та суспільні порядки. Основні чинники, які вплинули на хід історії*. Т.Цимбал (пер.). Київ: Наш Формат, 2017–2022. 352 с.
7. Акерлоф Дж., Шиллер Р. *Spiritus Animalis, или Как человеческая психология управляет экономикой и почему это важно для мирового капитализма*. 2-е изд. Д.Прияткин (пер.). А.Суворов (ред.). М.: Юнайтед Пресс, 2011. 273 с.
8. Акерлоф Дж., Крэнтон Р.Е. *Экономика идентичности. Как наши идеалы и социальные нормы определяют кем мы работаем, сколько зарабатываем и насколько несчастны*. Д.Стороженко (пер.). М.: Карьера Пресс, 2011. 224 с.
9. Акерлоф Дж., Шиллер Р. *Фішинг. Хто і як маніпулює вашим вибором*. О.Герасимчук (пер.). Київ: Наш Формат, 2017. 278 с.
10. Акерлоф Дж., Шиллер Р. *Охота на простака: Экономика манипуляций и обмана*. Э.Кондукова (пер.). М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. 320 с.
11. Спенс М. *Следующая конвергенция: будущее экономического роста в мире, живущем на разных скоростях*. А.Калинин (пер.). О. Филаточева (ред.). М.: Институт экономической политики имени Е.Т.Гайдара, 2013. 336 с.
12. Спенс М. *Нова конвергенція. Майбутнє економічного зростання в багатомовному світі*. А.Бондар (пер.). Київ: Темпора, 2017. 352 с.
13. Аткинсон Э.Б., Стиглиц Д.Э. *Лекции по экономической теории государственного сектора*. Л.Л.Любимов (ред.). М.: Аспект Пресс, 1995. 832 с.
14. Стиглиц Дж.Ю. *Экономика государственного сектора*. Г.М.Куманин (ред.). М.: МГУ; ИНФРА-М, 1997. 720 с.
15. Стігліц Дж.Е. *Економіка державного сектора*. А.Олійник, Р.Скільський (ред.). Київ: Основи, 1998. 854 с.
16. Стиглиц Д.Ю. *Глобализация: тревожные тенденции*. Г.Г.Пирогов (пер.). М.: Национальный общественно-научный фонд; Мысль, 2003. 304 с.
17. Стігліц Дж.Е. *Глобалізація та її тягар*. А.Іщенко (пер.). І.В.Бураковський (ред.). Київ: Видавничий дім «КМ Академія», 2003. 252 с.
18. Стиглиц Д.Ю. *Ревущие девяностые. Семена развала*. Г.Г.Пирогов (пер.). М.: Институт сравнительной политологии РАН; Национальный общественный научный фонд; Современная экономика и право, 2005. 424 с.
19. Парыгина В.А., Браун К., Стиглиц Дж.Э., Тедеев А.А. *Бюджетная система России: Учебник*. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Эксмо, 2006. 750 с.
20. Стиглиц Д.Ю., Чарлтон Э. *Справедливая торговля для всех. Как торговля может содействовать развитию*. Н.В.Заборин, Л.С.Головина, А.Д.Зверев (пер.). В.Т.Рысин (ред.). М.: Весь Мир, 2007. 280 с.
21. Хамфрис М., Сакс Д., Стиглиц Д. *Как избежать ресурсного проклятия*. Н.Автономова, И.Фридман (пер.). Е.Добрушина, А.Ю.Кнобель (ред.). М.: Институт экономической политики имени Е.Т.Гайдара, 2011. 464 с.
22. Стиглиц Д.Ю. *Крутое пики. Америка и новый экономический порядок после глобального кризиса*. В.Лопатко (пер.). В.Ильин (ред.). М.: Эксмо, 2011. 512 с.
23. *Как избежать ресурсного проклятия*. М.Хамфрис, Дж.Д.Сакс, Дж.Ю.Стиглиц (ред.). М.: Институт Гайдара, 2013. 238 с.
24. Стиглиц Д. *Цена неравенства. Чем расслоение общества грозит нашему будущему*. Е.Рождественская (пер.). М.: Эксмо, 2015. 512 с.

25. Стиглиц Д., Сен А., Фитусси Ж.-П. *Неверно оценивая нашу жизнь: Почему ВВП не имеет смысла. Доклад Комиссии по измерению эффективности экономики и социального прогресса*. И.Кушнарева (пер.). М.: Институт экономической политики имени Е.Т.Гайдара, 2016. 216 с.
26. Стиглиц Д. *Великое разделение. Неравенство в обществе, или Что делать оставшимся 99% населения?*. Ф.Исрафилов (пер.). М.: Эксмо, 2016. 480 с.
27. Стиглиц Д. *Люди, власть и прибыль: Прогрессивный капитализм в эпоху массового недовольства*. В.М.Ионов (пер.). М.: Альпина Паблишер, 2021. 430 с.
28. Канеман Д. *Внимание и усилие*. И.С. Уточкин (пер.). А.Н.Гусев (ред.). М.: Смысл, 2006. 287 с.
29. Канеман Д. *Думай медленно... Решай быстро*. В.И.Баканов (пер.). М.: АСТ, 2013. 656 с.
30. *Принятие решений в неопределённости: правила и предубеждения*. Д.Канеман, П.Словик, А.Тверски (ред.). 2-е изд. О.В.Гритчин (пер.). А.В.Карпов (ред. пер.). Харьков: Гуманитарный Центр, 2014. 543 с.
31. Канеман Д. *Мысли швидко й повільно*. М.Яковлев (пер.). Київ: Наш Формат, 2017–2021. 480 с.
32. Канеман Д., Сибони О., Санстейн К. Шум. *Несовершенство человеческих суждений*. С.Селифонова, А.Котова, В.Тулаев (пер.). М.: АСТ, 2021. 544 с.
33. Канеман Д., Санстейн К., Сибони О. Шум. *Хибність людських суджень*. В.Старко, Н.Старко (пер.). Київ: Наш Формат, 2022. 358 с.
34. *Реформація: успіх Європи і шанс для України. За участю Вернона Сміта (Нобелівський лауреат 2002)*. Р.Р.Шеремета, О.Романенко (ред.). Київ: ДВНЗ «Університет менеджменту освіти» НАПН України; Самміт-Книга, 2017. 256 с.
35. Смит В. *Экспериментальная экономика. Комплекс исследований, по совокупности которых автору присуждена Нобелевская премия*. 2-е изд., электрон. Н.А.Нуреев, В.В.Агроскин (ред. пер.). Москва; Челябинск: Социум, 2020. 810 с.
36. Остром Э. *Управление общим. Эволюция институтов коллективной деятельности*. Н.Измайлова, И.Комарова, А.Куряев, А.Матешук, А.Якимчук (ред.). М.: ИРИСЭН; Мысль, 2011. 445 с.
37. Остром Э. *Керування спільним. Еволюція інституцій колективної дії*. Т.Монтян (пер.). Київ: Наш час, 2012. 400 с.
38. Кристенсен К.М., Скотт Э., Рот Э. *Теория инноваций как инструмент предсказания отраслевых изменений*. 3-е изд. Е.Калинина (пер.). М.: Альпина Паблишер, 2016. 400 с.
39. Рот Э. *Кому что достанется – и почему. Книга о рынках, которые работают без денег*. О.Медведь (пер.). М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 256 с.
40. Ауман Р., Шепли Л. *Значения для неатомических игр*. А.Я.Кирута, А.А.Корбут, А.И.Соболев (пер.). Н.Н.Воробьев (ред.). М.: Мир, 1977. 360 с.
41. Шиллер Р. *Иррациональный оптимизм: Как безрассудное поведение управляет рынками*. Е.В.Калугин (пер.). О.Нижельская (ред.). М.: Альпина Паблишер, 2014. 421 с.
42. Шиллер Р. *Финансы и хорошее общество*. Ю.Каптуревский (пер.). Т.Дробышевская, А.Смирнов (ред.). М.: Институт экономической политики имени Е.Т.Гайдара, 2014. 504 с.
43. Харт О. *Фирмы, контракты и финансовая структура*. Н.А.Раннева (ред.). М.: РАНХиГС; Дело, 2019. 256 с.
44. Талер Р. *Новая поведенческая экономика. Почему люди нарушают правила традиционной экономики и как на этом заработать*. А.Проخورова (пер.). Минск: Хорошая книга, 2016. 352 с.
45. Талер Р., Санстейн К. *Nudge. Архитектура выбора. Как улучшить наши решения о здоровье, благосостоянии и счастье*. Е.Петрова (пер.). М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. 240 с.
46. Талер Р., Санстейн К. *Поштовх. Як допомогти людям зробити правильний вибір*. О.Захарченко (пер.). Київ: Наш Формат, 2017. 312 с.
47. Талер Р. *Поведінкова економіка. Як емоції впливають на економічні рішення*. С.Крикуненко (пер.). Київ: Наш Формат, 2018. 464 с.
48. Талер Р. *Поведінкова економіка. Чому люди діють ірраціонально і як отримати з цього вигоду*. С.Крикуненко (пер.). Київ: Наш Формат, 2021. 464 с.
49. Милгром П., Робертс Дж. *Экономика, организация и менеджмент*. И.В.Розмаинский, Д.Е.Тетерин, К.А.Холодилин (пер.). И.И.Елисеева, В.Л.Тамбовцев (ред.). М.: Альпина ПРО, 2023. 1113 с.
50. Горбачук В.М., Денис О.І. Застосування блокчейнових технологій для оподаткування. *Тенденції розвитку публічних та корпоративних секторів економіки України в умовах макроекономічної нестабільності* (29 січня 2020 р., Київ, Україна). Київ: НаУКМА, 2020. С. 24–26.
51. Saraji S., Borowczak M. *A blockchain-based carbon credit ecosystem. White Paper*. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.00185>
52. Oprea S.V., Bâra A., Diaconita V. A motivational local trading framework with 2-round auctioning and settlement rules embedded in smart contracts for a small citizen energy community. *Renewable Energy*. 2022. 193, June. P. 225–239.
53. Ebrahimi M., Sheikhi A. A local integrated electricity-heat market design among multi smart energy hubs with renewable energy generation uncertainty. *Electric Power Systems Research*. 2023. 218, May. 109217.
54. Vieira G., Zhang J. Peer-to-peer energy trading in a microgrid leveraged by smart contracts. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 2021. 143, June. 110900.
55. Richter L.L., Pollitt M.G. Which smart electricity service contracts will consumers accept? The demand for compensation in a platform market. *Energy Economics*. 2018. 72. P. 436–450.
56. Foroozandeh Z., Ramos S., Soares J., Vale Z., Dias M. Single contract power optimization: a novel business model for smart buildings using intelligent energy management. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2022. 135, February. 107534.
57. Zhao S., Zhu S., Wu Z., Jaing B. Cooperative energy dispatch of smart building cluster based on smart contracts. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2022. 138, June. 107896.
58. Горбачук В.М., Сирку А.А., Сулейманов С.-Б. Блокчейнові застосування у фінансах. *Інфраструктура ринку*. 2019. 35. С. 493–499.

59. Zhang T.-Y., Feng T.-T., Cui M.L. Smart contract design and process optimization of carbon trading based on blockchain: the case of China's electric power sector. *Journal of Cleaner Production*. 2023. 397, April 15. 136509.
60. Siddiqui S., Hameed S., Shah S.A., Khan A.K., Aneiba A. Smart contract-based security architecture for collaborative services in municipal smart cities. *Journal of Systems Architecture*. 2023. 135, February. 102802.
61. Chandra R., Radhakrishnan K.K., Panda S.K. Privacy protected product differentiation through smart contracts based on bilateral negotiations in peer-to-peer transactive energy markets. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. 2023. 34, June. 100997.
62. Kirli D., Couraud B., Robu V., Salgado-Bravo M., Norbu S., Andoni M., Antonopoulos I., Negrete-Pincetic M., Flynn D., Kiprakis A. Smart contracts in energy systems: a systematic review of fundamental approaches and implementations. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 2022. 158, April. 112013.
63. Горбачук В.М., Ляшко В.І., Сирку А.А. Питання децентралізованого консенсусу блокчейнів. *Інфраструктура ринку*. 2019. 34. С. 325–332.
64. Bao J., He D., Luo M., Choo K.-K.R. A survey of blockchain applications in the energy sector. *IEEE Systems Journal*. 2021. 15 (3). P. 3370–3381.
65. Горбачук В.М., Русанов І.А. Макроекономічні наслідки ринкових недосконалостей сектору енергетики. *Фінансове забезпечення діяльності суб'єктів господарювання*. Кременчук: Кременчуцький національний університет імені М. Остроградського, 2013. С. 120–124.
66. Горбачук В.М. Організація неповних поєднаних енергоринків. *Вісник Дніпропетровського університету. Економіка*. 2011. № 3. С. 223–227.
67. Горбачук В.М., Шулінок О.Г. Алгоритми пошуку паросполучень для задачі вступу до навчальних закладів. *Теорія оптимальних рішень*. 2015. С. 126–133.
68. Горбачук В.М., Бойко В.В., Русанов І.А. Проектирование контрактов в условиях риска. *Теория оптимальных решений*. 2011. № 10. С. 116–122.
69. Горбачук В.М. Досконалі рівноваги підігор. *Обчислювальна та прикладна математика*. К.: КНУ імені Т. Шевченка, 2013. С. 98–101.
70. Горбачук В.М. Про метод Банаха–Кнастера–Штейнгауза пошуку рівноважних децентралізованих рішень. *Обчислювальна та прикладна математика* (8–9 жовтня 2015 р., Київ). К.: КНУ ім. Т. Шевченка, 2015. С. 41–43.
71. Горбачук В.М. Метод Банаха–Кнастера–Штейнгауза розв'язання задачі чесного поділу. *Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики* (24–25 вересня 2015 р., Львів). Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2015. С. 124–127.
72. Горбачук В. М. Моделювання субсидій на громадський транспорт. *Реформування податкової системи України відповідно до європейських стандартів*. Ірпінь: НУДПСУ, 2014. С. 53–56.
73. Горбачук В.М. *Методи індустріальної організації. Кейси та вправи. Економіка та організація виробництва. Економічна кібернетика. Економіка підприємства*. К.: А.С.К., 2010. 224 с.
74. Горбачук В.М. Інвестиції у дослідження та розробки для лідерства. *Культура народів Причорномор'я*. 2011. № 205. С. 143–147.
75. Горбачук В.М., Лещинська Л.В. Вивчення предметів індустріальної організації і діяльність консорціуму Airbus. *Актуальні питання міжнародних відносин*. 2012. Вип. 109 (I). С. 168–170.
76. 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.

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: GorbachukVasyl@netscape.net

Ніколенко Дмитро Іванович – науковий співробітник відділу інтелектуальних інформаційних технологій, Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України, Київ

Пустовойт Михайло Михайлович – науковий співробітник відділу інтелектуальних інформаційних технологій, Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук

Gorbachuk Vasyl 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, email: GorbachukVasyl@netscape.net

Nikolenko Dmytro I. – Research Associate, Department of Intelligent Information Technologies, V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Pustovoiit Mykhajlo M. – Research Associate, Department of Intelligent Information Technologies, V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv