

Горбачук В.М.

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник,
старший науковий співробітник відділу математичних методів дослідження операцій Інституту
кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України,
професор кафедри фінансів Національного університету «Києво-Могилянська академія»

ДИНАМІКА НОВІТНЬОЇ ЕКОНОМІКИ В ІНФОРМАЦІЙНУ ЕРУ

1. Горбачук В.М. На порозі Четвертої промислової революції // Причорноморські економічні студії. – 2016. – Вип. 8. – С. 216–220.
2. Горбачук В.М. Глобальні інвестиції у майбутній людський капітал // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2016. – Вип. 13. – С. 633–638.
3. Горбачук В.М. Постіндустріальна організація державних замовлень у розвитку AUTODIN, ARPANET, PRNET, NSFNET та Інтернету // Вісник Одеського національного університету. Економіка. – 2016. – Т. 21. – Вип. 8. – С. 116–122.
4. Горбачук В.М. Суспільні та університетські зміни від Третьої до Четвертої промислової революції // Classic university in the context of challenges of the epoch (September 22–23, Kyiv). – Kyiv: T.Shevchenko Kyiv National University, 2016. – С. 215–216.

1. НА ПОРОЗІ ЧЕТВЕРТОЇ ПРОМИСЛОВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ

Постановка проблеми була визначена на Світовому економічному форумі (СЕФ) у Давосі (Швейцарія) у січні 2016 р. і полягає у тому, що людство дійшло до технологічної революції, яка безповоротно змінить наші способи життя, роботи і взаємостосунків. Ця революція буде особливою за своїми масштабом, сферою впливу й складністю. Не знаючи всіх наслідків революції, людство повинно відповідати на її виклики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій ґрунтується на порівняннях змісту спілкувань автора на двох визначних економічних форумах з 20-річним інтервалом – на Економічному форумі у Криниць-Здруй (Польща) у вересні 1996 р. і на Київському міжнародному економічному форумі у жовтні 2015 р. Спілкування стає дедалі глобальнішим завдяки швидкому поширенню інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ). 9 листопада 2015 р. найвищу нагороду «Мислителі 50» у категорії «Цифрові мислителі» отримали Ерік Бріньйолфссон (професор сім'ї Шуссель Массачусетського інституту технологій (MIT), директор Ініціативи MIT з цифрової економіки, директор Центру MIT з цифрового бізнесу) та Ендрю Макафі (співдиректор Ініціативи MIT з цифрової економіки, асоційований директор Центру MIT з цифрового бізнесу) за пояснення того, чому Четверта революція може вести до більшої нерівності, чіпаючи ринки праці [1, 2]. Із заміною праці на автоматизу по всій економіці результуюче витіснення працівників машинами може посилювати розрив між віддачею капіталу і віддачею праці. З

іншого боку, теж можливо, що вивільнення працівників завдяки технологіям вестиме до результуючого збільшення безпечних робочих місць з високою винагородою.

Основна тема, за якою засновник і виконавчий голова СЕФ Клаус Шваб спілкувався з глобальними головними виконавчими директорами і старшими діловими керуючими, – це те, що важко збагнути чи передбачити прискорення інновацій і швидкість руйнування традиційних галузей, що інновації є джерелом постійних несподіванок, зокрема для найбільш інформованих і контактних людей [3]. Авжеж, у всіх галузях є чітке свідчення того, що технології, які лежать в основі Четвертої промислової революції, мають сильний вплив на ділове середовище [4]. За офіційними даними Світової організації торгівлі, обсяг експорту телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг України за 2011–2014 рр. зріс вдвічі,

що підтвердило оцінки автора про перспективність таких послуг [5].

Постановка завдання полягає у розробці інтегрованої, всебічної та інклюзивної відповіді на виклики Четвертої промислової революції, із залученням усіх учасників глобального світоустрою – від громадського і приватного секторів до наукової спільноти й громадянського суспільства.

Виклад основного матеріалу дослідження виходить з економічного аналізу промислових революцій [6]. Перша промислова революція розпочалася у 1784 р., використовуючи водну і парову енергію для механізації виробництва через механічне виробниче устаткування. Друга промислова революція

почалася у 1870 р., застосовуючи розподіл праці, електрику й масове виробництво. Третя промислова революція триває з 1969 р., виходячи з науковомістких досягнень електроніки, ІКТ, автоматизованого виробництва. Сучасна Четверта промислова революція характерна поєднанням технологій, що розмиває кордони між фізичною, цифровою і біологічною сферами.

Сьогоднішні перетворення не лише продовжують Цифрову революцію, але й започатковують Четверту промислову революцію, особливу за своєю швидкістю, сферою впливу і системністю. Якщо попередні три революції розвивалися з лінійною чи поліноміальною швидкістю, то Четверта революція створення кіберфізичних систем розвивається експоненційно. Подібні системи привернули мою увагу, коли, готуючись до співбесіди при вступі на факультет управління і прикладної математики і регулярно читаючи щотижневик «За рубежом», купив книгу [7]. Якщо зараз міжміський телефонний зв'язок є справою секунд, то тоді це було справою годин, бо потребувало поїздки до головного державного поштамту спочатку електропоїздом, а потім автобусом і метро. Зараз Четверта революція впливає майже на кожну галузь у кожній країні світу, а мрії наукової фантастики стають фактами економічної історії.

Стають необмеженими можливості мільярдів людей, зв'язаних мобільними пристроями з безпрецедентними обчислювальною потужністю, об'ємом пам'яті й доступом до знань. Усі ці можливості посилюватимуться постаючими технологічними проривами у таких областях, як штучний

інтелект (ШІ), робототехніка, Інтернет речей, автономні транспортні засоби, 3D-друк, нанотехнології, біотехнології, матеріалознавство, акумуляція енергії, квантові обчислення.

ШІ оточує нас всюди – від самокерованих автомобілів і дронів (Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment (DRONE) – динамічне устаткування з дистанційно діючою навігацією) до віртуальних помічників і програмного забезпечення (ПЗ), які перекладають з мови на мову чи інвестують. У третьому тисячолітті відбувається швидкий розвиток ШІ, що приводиться в дію експоненціальним зростанням обчислювальної потужності, наявністю величезних обсягів даних, ПЗ для винайдення нових ліків, алгоритмами передбачення наших смаків і уподобань. Водночас цифрові виробничі технології щоденно взаємодіють з біологічним світом: інженери, проєктувальники й архітектори комбінують комп'ютерне моделювання, виробництво домішок, інженерію матеріалів та синтетичну біологію для започаткування симбіозу між мікроорганізмами, нашими тілами, продуктами споживання та помешканнями.

Подібно до попередніх промислових революцій, Четверта промислова революція має потенціал для підвищення глобальних рівнів доходів і поліпшення якості життя народів по всьому світу. Найбільше виграють споживачі, здатні отримувати цифрові продукти і користуватися цифровим світом. Технології уможливили нові продукти і послуги, які збільшують ефективність і зручність особистого життя таких

споживачів. Зараз можна дистанційно замовляти таксі, бронювати квиток на літак, купувати продукт, здійснювати платіж, слухати музику, дивитися фільм або брати участь у грі.

У майбутньому технологічні інновації також вестимуть до дива з боку пропозиції, з довгостроковими вигодами за ефективністю і продуктивністю. Витрати на доставку і зв'язок впадуть, логістика і глобальні ланцюги постачання стануть ефективнішими, вартість торгівлі знизиться, що відкриє нові ринки і стимулюватиме економічне зростання.

Сьогодні неможливо передбачати, який саме сценарій вивільнення працівників виникне напевне, але досвід показує, що найімовірніший сценарій – це деяка комбінація песимістичного й оптимістичного. Однак можна бути впевненим, що в майбутньому талант буде критичнішим фактором виробництва, ніж капітал. Це породжуватиме сегрегацію ринку праці на два полярні сегменти – сегмент низьких кваліфікацій з низькими зарплатами і сегмент високих кваліфікацій з високими зарплатами, що, в свою чергу, вестиме до загострення соціальної напруженості.

Четверта промислова революція є не лише ключовим економічним питанням, але й найважливішим соціальним питанням внаслідок нерівності доходів у зазначених сегментах. Найбільші вигоди від інновацій мають тенденцію надходити до провайдерів інтелектуального і фізичного капіталу – новаторів, акціонерів, інвесторів, пояснюючи збільшення розриву у добробуті між представниками згаданих сегментів. Тому технологія є однією з основних причин того, чому доходи не зростають або

спадають для більшості населення у країнах з високим середнім доходом: попит на висококваліфікованих працівників збільшується, а попит на працівників з меншою освітою і гіршими вміннями зменшується. Наслідок – ринок праці з підвищенням попиту на представників двох згаданих полярних сегментів і зниженням попиту на представників між цими сегментами.

Це допомагає пояснювати, чому багато працівників зневірюються у своїх реальних доходах, побоюються подальшого зниження власних таких доходів і доходів своїх нащадків. Це також допомагає пояснювати, чому середній клас у світі все більше зазнає постійного відчуття незадоволеності та несправедливості. Економіка, де все дістається переможцю, а середньому класу надається лише обмежений доступ, виявляє хиби і недуги демократії.

Невдоволення також може розпалюватися повсюдністю цифрових технологій і динамікою обміну інформацією через соціальні мережі. Понад 30% населення планети тепер використовує платформи соціальних мереж для зв'язку, навчання і поширення інформації. В ідеальному світі ці взаємодії забезпечували б можливість міжкультурного порозуміння і злагодження. Однак ці взаємодії можуть також створювати і сіяти нереалістичні уявлення про те, у чому полягає успіх для людини чи групи людей, а також надавати можливості для поширення екстремістських ідей та ідеологій.

З боку пропозиції, у багатьох галузях впроваджуються нові технології, що створюють зовсім нові шляхи слугування існуючим потребам і суттєво змінюють існуючі ланцюги цінності галузі. Руйнування

традиційних галузей також йде від спритних інноваційних конкурентів, які, завдяки їхньому доступу до глобальних цифрових платформ для досліджень, розробок, маркетингу, продажів, дистрибуції, можуть витіснити добре відомі наявні фірми швидше, ніж будь-коли, поліпшуючи якість, швидкість або ціну, з якими надається споживча цінність.

З боку попиту, також відбуваються великі зсуви з розвитком цифрової прозорості, залучення споживачів, нових зразків споживчої поведінки, яка все більше базується на доступі до мобільних мереж і даних. Ці зсуви у попиті змушують компанії підлаштовувати шляхи, якими вони проектують, пропонують і постачають продукти та послуги.

Ключовий тренд – розробка платформ з підтримкою технологій, що поєднують попит і пропозицію для зміни існуючих галузевих структур. Такі платформи відповідають економіці попиту і поширення інформації. Ці технологічні платформи, що легко приводяться в дію через смартфон, збирають людей, активи і дані, створюючи таким чином нові шляхи споживання товарів і послуг у процесі користування смартфоном. Крім того, ці платформи знижують бар'єри для індивідуумів і підприємств до створення багатства, змінюючи особисте і професійне середовище працівників. Підприємства з цими новими платформами швидко розповсюджуються на багато нових послуг – від прання до відвідування крамниць, від домашніх робіт до паркування, від масажу до подорожування.

Загалом Четверта промислова революція впливає на підприємства чотирма основними шляхами – через споживчі очікування, поліпшення продуктів, колективні інновації, організаційні форми. Користувачі – споживачі чи підприємства – все більше стають в епіцентрі економіки, суть якої полягає у поліпшенні обслуговування користувачів. Міжнародною нормою став відомий вислів: «Клієнт завжди правий: коли не купує та особливо коли купує» [8, с. 211]. Більше того, фізичні продукти і послуги можна удосконалювати цифровими спроможностями, підвищуючи їхню цінність. Нові технології сприяють збільшенню тривалості й стійкості активів, позаяк дані та аналітика змінюють форми утримання активів. Проте споживчі пізнання, базовані на даних послуги, основані на аналітиці оцінки активів вимагають нових форм співробітництва, зважаючи на швидкість інновацій і галузевих деструкцій у сучасному світі. Поява глобальних платформ та інших моделей нових підприємств означає, що варто переосмислювати роль талантів, культурних надбань, організаційних форм.

Теорію інновації та пов'язаної креативної деструкції обґрунтував Йозеф Шумпетер (1883–1950) [9]. Безумовним позитивом є відновлення в культурно-історичній пам'яті України імен таких всесвітньо відомих економістів, як Нобелівський лауреат 1971 р. Саймон Кузнець (1901–1985), міністр фінансів УНР Михайло Туган-Барановський (1865–1919), основоположник інноваційної теорії підприємництва Й.Шумпетер, автор відомого рівняння з підручників мікроекономіки Євген Слуцький (1880–1848) та

інші. Про багатьох з них я вперше дізнався з книги, яку мені подарував іноземний академік НАН України Іван-Святослав Коропецький (1921–2012).

У 2000 р. ім'я основоположника теорії економічних циклів М.Туган-Барановського отримав Донецький національний університет економіки та торгівлі (зараз евакуйований до м. Кривий Ріг), що тоді сприяло суттєвому підвищенню оцінки активів України. Слід зазначити, що мій колега Юрій Бажал, декан факультету економічних наук Києво-Могилянської академії (КМА), у 2003 р. започаткував поїздки-семінари до місць життя і діяльності економіста М.Туган-Барановського та філософа Г.Сковороди за маршрутом Київ–Чорнухи– Лохвиця–Київ (подібні заходи завжди охоче фінансуються). Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України висунув Ю.Бажала у складі групи інших науковців на здобуття Державної премії України 2012 р.

Щорічні Дні науки КМА, під час яких Ю.Бажал, член-кореспондент НАН України Михайло Михалевич (1956–2009), кандидати економічних наук Валерій Кузьменко, Ігор Макаренко та інші провідні вчені систематично викладали інноваційні теорії [10], вплинули на організацію з 2009 р. Шумпетерівських форумів у Чернівецькому національному університеті імені Ю.Федьковича, де у 1909–1911 рр. Й.Шумпетер розпочав свою кар'єру.

Однією з мотивацій Ю.Бажала є те, що Одеський національний економічний університет зберігає пам'ять про свого професора Миколу Бажала (1921–1984) – батька Ю.Бажала. У 2011 р. за ініціативою

професора Ю.Бажала у КМА відбулася міжнародна конференція, присвячена 110-річчю з дня народження С.Кузнеця. Восени 2013 р. ім'я С.Кузнеця отримав Харківський національний економічний університет.

Неухильний зсув від простого цифрування (Третьої промислової революції) до інновації, основаної на комбінаціях технологій (Четвертої промислової революції), змушує компанії переоцінювати свій спосіб ведення бізнесу. При цьому для компаній суть залишається незмінною: діловим лідерам і старшим керівникам треба розуміти їхнє змінюване середовище, піддавати сумніву стереотипи своїх робочих команд, скрізь і всюди займатися інноваціями.

Коли фізичний, цифровий і біологічний світи продовжують зближуватися, нові технології і платформи все більше дозволятимуть громадянам залучатися до урядів, виражати їхні думки, координувати свої зусилля й уникати нагляду з боку громадських влад. Водночас уряди діставатимуть нові технологічні потужності для збільшення свого контролю над населенням, базуючись на системах всеосяжного спостереження і здатностях керувати цифровою інфраструктурою. При цьому уряди все більше зіштовхуватимуться з тиском до зміни їхнього нинішнього підходу до залучення громадськості та розробки стратегій, бо центральна роль урядів у проведенні політики звужується внаслідок нових джерел конкуренції, перерозподілу і децентралізації влади, породженими новими технологіями.

Врешті-решт, здатність урядових систем і громадських влад до адаптації визначатиме їхнє виживання. Коли вони виявляться здатними скористатися світовою розривною зміною, налаштовуючи свої структури до рівнів прозорості та ефективності, які дозволять їм утримувати свою конкурентну перевагу, то вони витримуватимуть випробування часом. Коли вони не зможуть розвинутися, то стикатимуться з дедалі більшою скрутою.

Вищезазначене особливо стосується області регулювання. Нинішні системи громадської політики і прийняття рішень розвивалися з Другою промисловою революцією, коли особи, які приймають рішення (ОПР), мали час для вивчення окремого питання і розробки необхідної відповіді чи відповідні регуляторні рамки. Цілий процес прийняття рішень проектувався лінійним і механістичним з дотриманням ієрархічного підходу.

Однак такий підхід вже неможливий. Зважаючи на швидкий темп змін і широкий вплив Четвертої промислової революції, законодавці й регулятори стикаються з безпрецедентними викликами, до більшості з яких вони виявляються неготовими.

Тому законодавцям й регуляторам важко оберігати інтереси споживачів і громадськості в цілому, продовжуючи підтримку інноваційних і технологічних розробок, використовуючи настільки раціональне врядування, як і приватний сектор, та схилившись до конкурентної моделі реагування на розвиток ПЗ і ділових операцій загалом. Регулятори мають неперервно адаптуватися до нового швидко

змінюваного середовища, постійно само відроджуючись для того, щоб бути справді здатними розуміти об'єкт регулювання. Для цього урядам й регуляторним установам треба тісно співпрацювати з діловою і громадською спільнотою.

Четверта промислова революція також глибоко впливатиме на держави, уряди, природу національної і міжнародної безпеки, ймовірності та сенси конфліктів. Історія ведення війн і укладання мирних договорів завжди була історією технологічних інновацій. Сучасні міждержавні конфлікти стають все більше гібридними за своєю природою, поєднуючи традиційні методи бойових дій з елементами, раніше властивими учасникам, які не перебувають на державній або військовій службі. Відмінність між миром і війною, воюючою та невоюючою сторонами, насиллям і ненасиллям стає дедалі розмитішою: наприклад, важко відрізнити кібератаки від кібервійни.

Коли такі нові технології, як автономні чи біологічні озброєння, стає легше використовувати, то індивідууми чи їхні групи все більше наблизатимуться до рівня здатності завдати масованих ударів, яка вважалася виключним привілеєм державних і військових служб. Ця нова вразливість вестиме до нових загроз. Водночас просування технологій створюватиме потенціал до зниження масштабу чи впливу насилля шляхом розвитку нових способів захисту, скажімо, більшої точності прицілювання.

Нарешті, Четверта промислова революція змінить не лише те, що ми робимо, але й те, хто ми є. Вона торкнеться нашої ідентичності та всіх пов'язаних з нею питань – нашого сенсу приватності, наших

понять власності, наших моделей споживання, часу, який ми відводимо праці та відпочинку, способів просування особистої кар'єри, набуття вмінь, спілкування з людьми, підтримання стосунків. Ця революція вже торкається охорони здоров'я і тотального вимірювання особистих показників, що може вести до людської модифікації швидше, ніж ми уявляємо.

Неухильна інтеграція технологій у наше життя може знижувати деякі притаманні нам спроможності, скажімо, здібності до співчуття та кооперації. Наприклад, постійна залежність від наших смартфонів може позбавляти нас однієї з найважливіших у житті речей – часу перепочити, поміркувати й долучитися до змістовної розмови.

Один з найбільших викликів, висунутих новими ІКТ, – це приватність. Ми інтуїтивно розуміємо, чому вона дуже важлива за умов, коли відстежування і поширення інформації про нас є невід'ємною частиною нового цифрового взаємоп'єднання. Наступними роками лише посилюватимуться обговорення таких фундаментальних питань, як вплив втрати контролю над нашими даними на наше внутрішнє життя. Подібним чином, революції у біотехнологіях і ШІ дають нові визначення того, що значить бути людиною, змінюють нинішні межі тривалості життя, рівня здоров'я, пізнавальних здібностей, фізичних спроможностей, змушуючи людей давати нові визначення людських етичних і моральних кордонів.

Технологія або спричинене нею руйнування традиційних галузей не є екзогенною силою, над якою люди не мають контролю. За спрямування технологічного розвитку відповідають рішення людей – громадян, споживачів, інвесторів. Відтак ми маємо усвідомлювати ці наші можливості та повноваження, щоб формувати Четверту промислову революцію і направляти її на майбутнє, яке відбиває наші спільні цілі й цінності.

Для цього нам слід розвивати всебічний і глобально поширений погляд на те, як технологія впливає на наше життя і видозмінює наше економічне, соціальне, культурне і людське середовище. Зараз настав час як найбільших перспектив, так і найбільших потенційних небезпек. Однак сьогодні ОПР дуже часто потрапляють у пастку традиційного лінійного мислення, є занадто зануреними у численні кризи, що потребують уваги ОПР, звужуючи можливості ОПР для стратегічного мислення про чинники деструкції та інноваційне формування нашого майбутнього.

Висновки з проведеного дослідження полягають у тому, що все зводиться до людей та їхніх цінностей. Потрібно формувати майбутнє, яке працює для всіх людей, просуваючи та озброюючи громадян новими технологіями. У своїй найбільш песимістичній і нелюдській формі Четверта промислова революція може мати потенціал роботизувати людство, позбавившись таким чином наших сердець і душ. Революція також може доповнювати найкращі людські якості – творчість, співчуття,

дбайливість, підвищуючи рівень колективної і моральної свідомості, виходячи зі спільного бачення людської долі. Ніхто, крім нас, не буде відповідальним за наслідки революції.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Brynjolfsson E., McAfee A. Race against machine: how the Digital Revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy. – Digital Frontier Press, 2011. – 98 p.
2. Brynjolfsson E., McAfee A. The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. 1-st edition. – W.W.Norton and Company, 2014. – 320 p.
3. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond // Foreign affairs. – 2015, December 12. – Режим доступу: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>
4. Gorbachuk W. Leaders of the Information Era // The Muskie quarterly. – 2002, Winter-Spring. – P. 5.
5. Горбачук В.М., Лещинська Л.В. Міжнародні інтеграційні процеси та вимірювання рівня піратства // Актуальні питання міжнародних відносин. – 2012. – Вип. 109 (I). – С. 40–42.
6. Горбачук В. М. Методи індустріальної організації. Кейси та вправи. Економіка та організація виробництва. Економічна кібернетика. Економіка підприємства. – К.: А.С.К., 2010. – 224 с.
7. Сакман Г. Решение задач в системе человек-ЭВМ. – М.: Мир, 1973. – 352 с.

8. Горбачук В. Макроекономічні методи: теорії та застосування. – К.: Кий, 2000. – 271 с.
9. Шумпетер Й. Капіталізм, соціалізм і демократія. – К.: Основи, 1995.– 528 с.
10. Бажал Ю.М. Економічна теорія технологічних змін. – К.: Заповіт, 1996. – 240 с.

2. ГЛОБАЛЬНІ ІНВЕСТИЦІЇ У МАЙБУТНІЙ ЛЮДСЬКИЙ КАПІТАЛ

Належна всебічна оцінка наявної ситуації дозволяє впевненіше моделювати майбутнє. Моделювання майбутнього є надзвичайно важливим для фінансово-інвестиційних рішень. У новому технологічному світі не буде чіткого розмежування між людиною і машиною, фактичною і віртуальною реальністю. На початку третього тисячоліття людство вступило у захоплюючий період найбільших змін у своїй історії. Наприкінці 21-го століття небіологічна частка нашого інтелекту буде у трильйони трильйонів разів потужніша, ніж позбавлений допомоги людський інтелект.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, глобальні інвестиції, моделювання майбутнього, людський капітал, кібернетика.

Постановка проблеми полягає у тому, що, за даними Міжнародного валютного фонду (МВФ), у 2015 р. Україна посідала 133-тє місце серед 184-х держав світу за валовим внутрішнім продуктом (ВВП) у номінальних доларах США на душу населення. Цей факт, думки моїх колег і колишніх студентів, які працюють у провідних фінансово-економічних організаціях, свідчать про поточну низьку оцінку активів України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій виходить з офіційних даних Світової організації торгівлі (СОТ), за якими у 2014 р. Україна посідала 30-те місце у світі за експортом телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг (ТКІП), причому обсяг такого експорту за 2011–2014 рр. (за 4 роки) зріс вдвічі. Про перспективність цих послуг для України порівняно з іншими галузями йшлося у моїй доповіді у лютому 2012 р. на конференції в Інституті міжнародних відносин Київського національного університету (КНУ) імені Т.Шевченка, виходячи з даних СОТ за 2005–2009 рр. [9]. Перспективність вступу України в СОТ обговорювалася у вересні 1999 р. на круглому столі «Україна у світовій торгівлі та світовій організації торгівлі: за і проти», який я організував разом зі своїми колегами в Українському союзі промисловців і підприємців (УСПП) [11]. Процес вступу України до СОТ протягом 1999–2008 рр. формував нові соціально-економічні фактори, що стимулювали економічне зростання – найшвидше порівняно з усіма сусідніми державами зростання ВВП (у номінальних доларах США) на душу населення. Однією із сусідніх держав України є Словаччина, яка з 2007 р. посідає перше місце у світі за випуском автомобілів на душу населення. У 2015 р. Словаччина виграла у сусідньої Польщі «битву за прямі іноземні інвестиції» 1.4 млрд. євро, щоб з 2018 р. виробляти 150 тис. автомобілів Jaguar Land Rover щорічно.

Перше і друге місця у світі за експортом ТКІП у 2014 р. посідали Ірландія та Індія. Важливими соціально-економічними факторами цих держав є культурно-історична спадщина, знання місцевим

населенням англійської мови, британська правнича традиція, практика широких ділових зв'язків діаспори та застосування передового світового досвіду. На початку 1990-х років фахівці у галузі телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг Індії відвідували Кібернетичний центр (Кібцентр на проспекті Глушкова у Києві) з метою обміну досвідом. На жаль, в Україні до початку 2000-х років про успіхи Індії у цій галузі було мало відомо. Наприклад, мої студенти фізико-технічного факультету Київського політехнічного інституту (КПІ) дізналися про успіхи Індії в цій галузі лише при виборі тем реферату з економіки (портрети ряду студентів цього факультету – переможців і призерів міжнародних студентських олімпіад – розміщені у першому корпусі КПІ поруч з портретами Д.Менделєєва і С.Корольова). Водночас студент цього факультету, Єгор Анчишкін (зараз – власник солідної фірми у США), виявив неабиякий інтерес до економіки і застосував знання з розпізнавання образів, отримані на лекціях професора Михайла Шлезінгера з Кібцентру, для розробки стартапу Viewdle, який компанія Google купила восени 2012 р. за 30 млн. дол. Приклад Viewdle показує ефективність системи фізтеху – взаємодії університетської та академічної роботи. Viewdle сприяв розвитку і капіталізації інших стартапів України.

Нерозв'язана раніше частина загальної проблеми – так званий перехід України з третього світу в перший, чому був присвячений Київський міжнародний економічний форум 2015 р.

Постановка завдання – з’ясувати фактори рішень для глобальних інвестицій у майбутній людський капітал.

Виклад основного матеріалу дослідження ґрунтується на практичному досвіді. Серед тисяч моїх колишніх студентів є багато тих, хто розробили і розробляють успішні проекти у галузі інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) – Djuce, Viewdle, Highbrow та інші. Авжеж, кожний проект має свій шлях. За експертними оцінками, згаданий проект Djuce приніс компанії KyivStar дохід, що перевищує 10 бюджетів усієї Національної академії наук (НАН) України на 2016 р. Подібні проекти потребують ґрунтовної підготовки в економіці та фінансах, що завжди розумів основоположник ІКТ і засновник Кібцентру академік Віктор Глушков (1923–1982).

Необхідність ґрунтовної підготовки в економіці та фінансах розумів Юлій Санніков, який здобув три золоті медалі для України на міжнародних шкільних математичних олімпіадах 1994–1996 рр. (де науковим керівником команд України у 1992–2002 рр. був Вадим Радченко, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри математичного аналізу КНУ імені Т.Шевченка, заслужений учитель України, який доповідав свою докторську дисертацію у відділі математичних методів дослідження операцій (ММДО) Інституту кібернетики (ІК) імені В.М.Глушкова НАН України).

Коли у травні–червні 2000 р. я був запрошеним дослідником у цьому університеті на кафедрі фінансової інженерії з проектом «Integral indicators of creditworthiness, competitiveness and sustainable

growth» («Інтегральні індикатори кредитоспроможності, конкурентоздатності та самопідтримуваного росту»), то у всіх обговореннях наголошував на важливості глибокого розуміння фінансових інструментів, зокрема низьких відсоткових ставок як своєрідних бар'єрів (з 2009 р. від'ємну відсоткову ставку використовує Швеція, а з 2012 р. – Данія). Слід також сказати, що одна з публікацій мого колеги у відділі ММДО ІК імені В.М. Глушкова НАН України Станіслава Урясьєва (зараз – професор університету Флориди і власник фірми AORDA у США) входить до топ-100 найцитованіших у світі у галузі фінансів.

Велика мінливість цін акцій галузі ІКТ (так звана «доткомівська криза», пов'язана з позначенням *.com для комерційних Інтернет-ресурсів), моє спілкування у Принстоні у 2000 р., загальна математизація економічних наук, можливо, вплинули на те, що у 2000 р. математик Ю.Санніков вирішив стати фінансистом і вступити на докторську програму з ділової адміністрації Стенфордського університету. У 2004 р. Ю.Санніков здобув ступінь доктора філософії з ділової адміністрації Стенфордського університету (науковий керівник – професор Роберт Вілсон, який також був керівником Нобелівського лауреата 2012 р. Елвіна Рота). У 2016 р. професор Принстонського університету Ю.Санніков здобув медаль Кларка (John Bates Clark (1848–1937) – професор Колумбійського університету (Нью-Йорк), один з основоположників теорії граничної корисності) 2016 р. Американської економічної асоціації (American Economic Association, AEA). Цю медаль також свого

часу здобули Нобелівські лауреати П.Самуельсон (1947), М.Фрідман (1951), Д.Тобін (1955), К.Ерроу (1957), Л.Клейн (1959), Р.Солоу (1961), Г.Бекер (1967), Д.Макфадден (1975), Д.Стігліц (1979), М.Спенс (1981), Д.Хекман (1983), П.Кругман (1991): більше половини володарів медалі Кларка, які здобули її до 1991 р., згодом стали Нобелівськими лауреатами. Медаль Кларка, заснована у 1947 р. для працюючих у США фахівців віком до 40 років за найвизначніший внесок в економічні дослідження й знання, вважалася найвищою нагородою серед економістів до введення у 1969 р. Нобелівської премії з економіки; до 2009 р. ця медаль присуджувалася кожні два роки у квітні, а з 2010 р. присуджується щороку.

Розроблений Ю.Санніковим новий метод розв'язання задач динамічних контрактів має застосування до теорії репутацій, ринкових змов, цінних паперів, корпоративних фінансів, фінансових посередників, макроекономічних процесів. У 2000 р. мені випала нагода зустрітися і поговорити у США з Джеймсом Б'юкененом (1919–2013), удостоєним Нобелівської премії 1986 р. за розвиток контрактних і конституційних засад теорії економічного і політичного прийняття рішень. Один з висновків тієї розмови полягає у тому, що для України важливі власні й міжнародні контрактні та договірні засади.

Щоб уникати ризиків ситуацій біблійної притчі, вираженої картиною «Притча про сліпих» великого голландця Пітера Брейгеля Старшого, потрібна візія. Досить точне, обгрунтоване і сміливе бачення нашого сьогоденного й завтрашнього дня дав майже століття тому винахідник Нікола Тесла (1859–

1943). Здатність В.Глушкова моделювати майбутнє залишається важливою для розвитку сучасного суспільства. Знаючи погляди Н.Тесли та В.Глушкова, сучасний футуролог Рей Курцвейл (якого Ларрі Пейдж у 2012 р. запросив у Google «для того, щоб Google зрозумів природну мову») не вважає себе першим, хто став усвідомлювати Сингулярність – еру, в якій наш інтелект ставатиме дедалі небіологічним і в трильйони разів більш потужним, ніж на початку третього тисячоліття, епоху започаткування нової цивілізації, яка дозволить нам подолати біологічні обмеження і посилити нашу креативність.

Пам'ятаю, як під час одного з семінарів у проекті громадянської освіти (Civic Education Project, CEP) у 2002 р. кожний учасник малював на окремому плакаті свій образ; вже тоді не уявляв себе без мобільних телефонів, зарядних пристроїв, ноутбука, модема, Інтернета. Про модем вперше дізнався на лекціях В.Глушкова у 1979 р., оснований на його препринті [4].

Першим сучасним ноутбуком в УСПП був, напевне, мій IBM ThinkPad, куплений у США на початку 1990-х років за рахунок моєї стипендії Бенджаміна Франкліна – Едмунда Маскі (за модем тоді довелося заплатити майже половину ціни ноутбука). Застосування персональних комп'ютерів (ПК) суттєво зміцнило можливості УСПП та інших неурядових організацій. Свій перший ноутбук застосував для написання книг [5, 6] (для доповнення спецкурсу «Макроэкономические модели», прочитаного

академіком В.Глушковым для групи з шести студентів, куди я входив) і книг [7, 8] (для першого курсу з фінансів, прочитаного у Києво-Могилянській академії завдяки проекту СЕР).

Першим іноземним ПК в Україні був, напевне, монохромний IBM PC/XT, привезений в ІК імені В.М.Глушкова АН УРСР моїм науковим керівником і завідувачем відділу ММДО ІК імені В.М.Глушкова АН УРСР Юрієм Єрмольєвим з Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA) у 1986 р. Цей ПК (на який поширювалися обмеження Координаційного комітету з багатостороннього експортного контролю – CoCom (Coordinating Committee for Multilateral Export Controls), до якого входили 15 держав – членів НАТО, а також Австралія та Японія) подарував відомий демограф Натан Хейфец, колега Ю.Єрмольєва по IIASA, розташованому у м.Лаксенбург (Австрія). Тоді офіційним представником СРСР у IIASA був академік Володимир Михалевич (1930–1994), директор ІК імені В.М.Глушкова АН УРСР (сайт Фонду імені академіка В.С.Михалевича містить ряд світлин про участь В.Михалевича у заходах IIASA). Працюючи одночасно на цьому ПК, обчислювальних центрах ІК імені В.М. Глушкова АН УРСР та інших відомств, у 1986 р. я поділився своїм досвідом з деякими керівниками Спеціального конструкторсько-технологічного бюро програмного забезпечення з дослідним виробництвом (СКТБ ПЗ з ДВ) при ІК імені В.М.Глушкова АН УРСР. Тоді я припускав, що невдовзі малі ПК витіснятимуть великі обчислювальні машини (у 1985 р. я захистив дисертацію з пошуку конкурентних рівноваг і

розумів процеси ринкової конкуренції), хоча більшість керівників СКТБ ПЗ при ІК імені В.М.Глушкова АН УРСР з цим не погоджувалася. Моє припущення справдилося, а ринкова конкуренція серйозно зачепила не лише СКТБ ПЗ з ДВ при ІК імені В.М.Глушкова АН УРСР, але й цілий ряд академічних і галузевих науково-дослідних установ.

У кіберфізичну еру сама сутність того, що означає бути людиною, збагачуватиметься і переглядатиметься, бо людський рід розсуває уявлення про своє генетичне походження й досягає неосяжних висот інтелекту, матеріального прогресу і довговічності.

Після появи персональних комп'ютерів видатний винахідник, мислитель і футуролог Р.Курцвейл постійно наголошує на ролі технологій для нашого майбутнього, розкриваючи несподівані наслідки підвищення загального інтелекту істот, народжених на планеті Земля [12]. У своїх книгах Р.Курцвейл сміливо і точно передбачав, що з прискоренням технологічних змін комп'ютери суперничатимуть з людським інтелектом за всіма показниками [13]. Р.Курцвейл також вивчав наступний крок у неухильному еволюційному процесі зростання загального інтелекту – об'єднання людини і створеної нею машини, в якому знання і навички, вбудовані у людську нервову систему, поєднуюватимуться зі значно більшою потужністю, швидкістю, здатністю поширення знань, притаманними машинам [14].

Можна зрозуміти, чому багато спостерігачів не готові до очевидних наслідків так званого закону Р.Курцвейла щодо прискореної віддачі (внутрішнього прискорення темпу еволюції, де технологічна

еволюція є продовженням біологічної): розробка цього закону Р.Курцвейлом потребувала близько 40 років, причому далеко не всі наслідки закону сприймає його автор. Ключова ідея, яка лежить в основі Сингулярності, що насувається, – це прискорення темпу зміни нашої створеної людиною технології, причому її потужності розширюються експоненційно [15]. Експоненційне зростання є оманливим: воно починається майже непомітно, а потім вибухає з настільки несподіваною силою, що неможливо відстежувати подальшу траєкторію зростання.

Природу експоненційного зростання можна проілюструвати на прикладі власника ставка, який бажає бути вдома, розводити ставкову рибу і бути впевненим, що ставок не покриється лілієвим (білим) лататтям, яке подвоюється кожні декілька днів. Місяцями спостерігаючи за ставком, його власник помічає лише невеликі клаптики лілієвого латаття і не очікує їхнього значного поширення. Коли ці клаптики покривають менше 1% ставка, його власник думає, що можна піти у відпустку разом зі своєю сім'єю і не спостерігати за ставком. Після повернення з відпустки через кілька тижнів власник ставка вражений тим, що весь ставок покритий лататтям, а його риба загинула: 7 подвоєнь означають число $2^7 = 2^3 2^4 = 8 \times 16 = 128$, чого достатньо для покриття лататтям усього ставка при початковій площі латаття 1%.

Лише через 5 років після, того як у 1992 р. чемпіон світу з шахів Гарі Каспаров переміг комп'ютерну шахову програму «Fritz» і низько оцінив подібні програми взагалі, чемпіон світу з шахів програв

комп'ютерній шаховій програмі «Deer Blue» матч з 6 партій з рахунком $2\frac{1}{2}$ – $3\frac{1}{2}$ (Каспаров виграв одну партію і програв дві при трьох нічиїх). Цей результат був однією з причин відходу чемпіона світу від активного спорту. Слід сказати, що першою комп'ютерною шаховою програмою – чемпіоном світу була радянська «Каїсса», яку створили співробітники Інституту проблем управління АН СРСР Георгій Адельсон-Вельський (1922–2014), Володимир Арлазаров, Михайло Донской (1948–2009) [1]. За це у 1974 р. Володимир Арлазаров був нагороджений золотою медаллю Міжнародної федерації з обробки інформації (International Federation for Information Processing, IFIP), штаб-квартира якої розташована у м. Лаксенбург (Австрія) поруч з ПАСА. З моїм однокурсником Віктором Арлазаровим, сином Володимира Арлазарова, я часто грав у шахових турнірах, де головний наш інтерес був радше дослідницьким, ніж спортивним.

Екс-чемпіон світу з шахів Анатолій Карпов зазначав: «Комп'ютери вже впливають на розвиток шахів, бо ми були вимушені відмовитися від традиційних догравань, як це було за старих часів. Це вплинуло на якість гри шахістів, бо зараз ми не можемо відкласти партію, якщо вона не завершується за 5 годин і 40 ходів. Це негативно вплинуло на силу шахістів. Якість гри в ендшпілях стало гіршим, ніж раніше». Призовий фонд матчу 1975 р. між Анатолієм Карповим і Робертом Фішером (1943–2008) на першість світу з шахів становив безпрецедентну на той час суму – 5 млн. доларів. Р.Фішер казав: «Я доб'юся, щоб до шахів ставилися з не меншою повагою, ніж до боксу. Скільки б не запросив Мохаммед Алі за

свій черговий виступ, я вимагатиму більше». Формування призового фонду матчу Карпов–Фішер, що не відбувся, вплинуло на формування призового фонду 12 млн. доларів бою між Мохаммедом Алі (1942–2016) та Джорджем Форменом на першість світу з боксу, що відбувся у 1974 р. у столиці Заїру м. Кіншаса. Це був перший бій, який організував промоутер Дон Кінг. Формування зазначених призових фондів фактично створило сучасний професійний спорт, розвинуло індустрію дозвілля, комп'ютерних ігор, різноманітних мобільних і персоніфікованих додатків.

Програма «Deer Blue» стала сильнішою, ніж «Fritz», завдяки подвоєнню комп'ютерних потужностей щороку: число транзисторів на одиницю собівартості подвоювалося кожні 2 роки, причому транзистори ставали ще швидшими, що створило багато інших рівнів інновацій і вдосконалень. Кількість обчислень (за секунду) у шахових програмах і комп'ютерах подвоювалася протягом 1990-х років. Швидко зростає перелік шляхів, якими комп'ютери можуть перевершувати людські здібності. Застосування комп'ютерного інтелекту поступово розширюються на різні сфери діяльності: комп'ютери діагностують електрокардіограми і медичні знімки, контролюють зліт і посадку літаків, управляють тактичними рішеннями автоматичної зброї, надають кредити і приймають фінансові рішення, беруть відповідальність за багато інших завдань, що потребували людського інтелекту. Робота таких систем все більше покладається на інтегрування багатьох типів штучного інтелекту. Оскільки штучного інтелекту недостатньо для роботи подібних систем, можна подумати, що людський інтелект завжди

матиме певну перевагу над спроможностями людських створінь. Фільм «Термінатор 2: Судний день» (який здобув 4 Оскари за 1991 р.) змушує задуматися над цим питанням.

Перший радянський чемпіон світу з шахів Михайло Ботвинник (1911–1995) відвідував ІК АН УРСР, опублікував ряд книг [2, 3]. Знаючи про створення у 1951 р. ентузіастами АН УРСР у післяокупаційному Києві першого в континентальній Європі (й третього у світі) комп'ютера, у 1954 р. чемпіон світу з шахів М.Ботвинник направив до ЦК КПРС пропозиції щодо зміни економічного плану розвитку СРСР і використання у майбутньому комп'ютерного управління економікою. Ці ідеї згодом розвивалися у Кібцентрі.

У березні 2016 р. програма «AlphaGo» виграла матч у людини – чемпіона світу зі стратегічної гри го (яка вважається складнішою, ніж шахи) з рахунком 4–1 (4 перемоги та 1 поразка), а призовий фонд матчу 1 млн.дол. пішов на благодійність для організацій UNICEF та STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Цю програму у 2014 р. розробила фірма DeepMind, яку згодом придбала компанія Google. У липні 2016 р. команда України стала чемпіоном Європи з цієї гри, причому до складу команди входив Богдан Жураківський, який доповідав свою кандидатську дисертацію у відділі ММДО ІК імені В.М.Глушкова НАН України.

Уже у 21-му столітті основані на інформації технології охоплюють всі людські знання та вміння, включаючи спроможності розпізнавання образів, навички розв'язання задач, емоційний і моральний інтелект людського мозку.

Неважаючи на всю унікальність, мозок має жорсткі обмеження. Ми використовуємо масовий паралелізм (100 трильйонів міжнейронних зв'язків, які діють одночасно), щоб швидко розпізнавати найменші нюанси. Водночас наше мислення є надзвичайно повільним: базові нейронні трансакції у кілька мільйонів разів повільніші, ніж сучасні електросхеми. Тому наша фізіологічна пропускна смуга для переробки нової інформації є дуже обмеженою порівняно з експоненційним зростанням загальної людської бази знань.

Наші біологічні тіла версії 1.0 також крихкі і вразливі до безлічі типів відмов, на додаток до обтяжливих ритуалів обслуговування, якого ці тіла потребують. Хоча людський інтелект іноді сягає вершин творчості і виразності, багато людських суджень є похідними, вузькими й обмеженими. На недосконалостях людських думок ґрунтуються інформаційні та гібридні війни, що активно застосовують сучасні засоби масової комунікації.

Сингулярність дозволить подолати згадані обмеження наших біологічних тіл і мізків, дістати владу над нашими долями, почати контролювати терміни нашого існування. У фільмі «Мозок академіка Глушкова» йдеться про подібний підхід до людських організмів, започаткований у 1960-х роках

академіком Миколою Амосовим в ІК імені В.М.Глушкова НАН України. Ми повністю розумітимемо людське мислення і значно розширимо сферу його застосування.

На початку 21-го століття прискорення зсуву парадигми (швидкості, з якою ми змінюємо наші фундаментальні технічні підходи) та експоненційне зростання спроможностей ІКТ починають переходити у стадію своєї видимості. Незабаром це експоненційне зростання перейде у вибухову стадію. До 2050 р. темпи зростання наших технологій будуть настільки стрімкими, що відповідні зміни напевне розпочнуть історію нового технологічно посиленого людства на місці історії біологічного людства.

Сингулярність стане кульмінацією поєднання нашого біологічного мислення і нашої постійно оновлюваної технології, яке дозволить людству перевершувати свої біологічні можливості. У постсингулярний період не буде принципової відмінності між людиною і машиною, між фізичною і віртуальною реальністю. Тоді справді людською залишиться така наша видова властивість, як прагнення поширювати свої фізичні й розумові здібності за межі наявних обмежень. Багато наших сучасників, виходячи з історії розвитку машин без витончених людських біологічних якостей, звертають увагу на втрату певної життєво важливої особливості людства внаслідок технологічних змін. Найважливіший наслідок Сингулярності у тому, що наша технологія сягне і значно перевершить вишуканість і витонченість того, що ми вважаємо найкращими людськими рисами.

Людський прогрес є радше експоненційним, ніж лінійним: рівень економіки зростає шляхом скоріше повторного множення на константу, ніж повторного додавання константи. Тому експоненційне зростання, на відміну від лінійного, стає вибуховим. Експоненційне зростання спокушає тим, що починається повільно і майже непомітно, але після досягнення певного рівня стає вибуховим і настільки трансформаційним, що мало хто усвідомлює наше майбутнє. Наші предки сподівалися, що майбутнє буде доволі схожим до їхнього сучасного, яке, в свою чергу, було схожим до їхнього минулого. Тисячу років назад експоненційні тренди існували на дуже ранній стадії, коли були настільки пологими і повільними, що зовсім не виглядали як тренди. Тому справджувалася інтуїтивна лінійна точка зору про незмінне майбутнє. Сьогодні ми передбачаємо неперервний технологічний прогрес і наступні соціальні відгуки. Проте майбутнє буде набагато несподіванішим, ніж вважає більшість людей, бо декілька спостерігачів справді усвідомили історичні наслідки того факту, що темп змін прискорюється.

Більшість довгострокових прогнозів про те, що буде технічно можливим у майбутні періоди часу, дуже недооцінює потужність майбутнього розвитку, бо ґрунтується радше на інтуїтивному лінійному погляді на історію, ніж на історичному експоненційному погляді. Моделі Р.Курцвейла показують, що кожні 10 років людство подвоює темп зсуву парадигми: відтак у 20-му столітті цей темп поступово зростав у середньому на 8% щорічно. Отже, досягнення 100 років 20-го століття рівносильні приблизно

22 рокам початку 21-го століття з темпом зростання, який був наприкінці 20-го століття: якщо рівень економіки початку 20-го століття становив 1, то за моделлю Р.Курцвейла рівень економіки наприкінці 20-го століття становив $(1 + 0.08)^{99} = 2037$, сума рівнів економіки за 100 років 20-го століття становить

$\sum_{i=0}^{99} (1 + 0.08)^i = 25448$, що приблизно дорівнює 2037×22 . З іншого боку, сума рівнів економіки за 100 років 20-го століття дорівнює приблизно сумі рівнів економіки за перші 10 років 21-століття, оскільки

$\sum_{i=0}^{109} (1 + 0.08)^i = 50883$. Іншими словами, у 21-му столітті ми не знатимемо 100 років попереднього технологічного просування, бо будемо свідками прогресу, еквівалентного приблизно попереднім 20000

рокам історії людства. Оскільки
$$\frac{\sum_{i=0}^{199} (1 + 0.08)^i - \sum_{i=0}^{99} (1 + 0.08)^i}{\sum_{i=0}^{99} (1 + 0.08)^i} = \frac{56006348 - 25448}{25448} = 2201$$
, то сума рівнів

економіки за 100 років 21-го століття на три порядки перевищуватиме суму рівнів економіки за 100 років 20-го століття.

Темп зсуву парадигми, вимірюваний часом, потрібним для прийняття нових комунікаційних технологій (часом, потрібним для масового прийняття технологій – прийняття технологій чвертю населення США), подвоюється кожні 9 років. Починаючи з 1870-х років, цей час стійко зменшується.

Цей час для телефона становив 35 років, а для радіо, винайденого у 1897 р. на 21 рік пізніше, – 31 рік, тобто менше на $(35 - 31)/35 = 4/35 = 11\%$ загалом, або менше на $(35 - 31)/(35 \times 21) = 4/(35 \times 21) = 0.54\%$ в рік. Цей час для телебачення становив на 0.60% в рік менше, ніж для радіо; цей час для ПК становив на 1% в рік менше, ніж для телебачення; цей час для мобільного телефона становив на 2.6% в рік менше, ніж для ПК; цей час для світової павутини (World Wide Web, WWW), започаткованої у 1991 р., становив на 7.4% в рік менше, ніж для мобільного телефона. Оскільки цей час для світової павутини дорівнював 7 років, то порівняно з радіо він був меншим на $(31 - 7)/31 = 77\%$ загалом, або менше на $(31 - 7)/[31 \times (1991 - 1897)] = 24/(31 \times 94) = 0.82\%$ в рік; 77% за 1991–1897 = 94 роки відповідає $\frac{77 \times 100}{94} = 82\%$ за 100 років.

Перевага у 7.4% в рік світової павутини порівняно з мобільним телефоном дає 82% за $n=8.4$ роки:

$$(1 + 0.074)^n = 1.82; \quad n = \frac{\ln 1.82}{\ln 1.074} = 8.4. \quad \text{Тоді темп зсуву парадигми подвоюється за приблизно 9 років}$$

(коли час прийняття технологій зменшується на 50%). Тому протягом 21-го століття $\frac{100}{9} = 11$ подвоєнь

дадуть темп у $2^{11} = (2^4)^2 \times 2^3 = 64^2 \times 8 = 2048$ разів більший, ніж темп наприкінці 20-го століття. Насправді протягом 21-го століття темп буде ще більшим внаслідок очікуваного прискореного зростання, яке спостерігалось у 20-му столітті.

Як прояв нерозуміння образу майбутнього можна навести слова одного Нобелівського лауреата стосовно можливості молекулярного виробництва: «Ми не побачимо самовідтворюваних наноінженерних утворень (механізмів, які будуть молекулярний фрагмент за фрагментом) ще сотні років». На думку Р.Курцвейла, 100 років – слушна оцінка досягнення технічним прогресом такої важливої віхи при темпах прогресу початку 21-го століття, який у $\frac{7.4}{(0.6 + 1.0 + 2.6)/3} = 5.3$ разів більший медіанного темпу прогресу 20-го століття. Оскільки темп прогресу подвоюється кожні 10 років, то еквівалентом 100 років з темпом прогресу початку 21-го століття буде лише $m = 30$ календарних років:

$$\sum_{i=0}^{30} (1 + 0.08)^i = 103.$$

Люди інтуїтивно вважають, що нинішній темп прогресу триватиме в майбутні періоди часу. У тих, хто спостерігає збільшення темпу змін, інтуїція залишає враження, що зміни відбуваються з темпом, який вони спостерігали останнім часом: на короткому проміжку часу експоненційна крива виглядає як пряма лінія. Коли люди зазвичай екстраполюють майбутнє на десятиліття вперед з наявним темпом змін, то виявляють інтуїтивну лінійну точку зору.

Результатом завершеного у 2003 р. міжнародного проекту «Геном людини» є інформація про послідовність 3 млрд. 4-х різних букв, властивості якої можна досліджувати за допомогою ІКТ.

Застосуванню ІКТ для вивчення ДНК присвячена книга [10]. За експертними оцінками, біоінформатика – потужне джерело зростання ВВП у 21-му столітті.

Висновки полягають у тому, що при оцінці активів України слід виходити зі світової динаміки. Сучасними інструментами оцінки активів залишаються біржі, але операції на них здебільшого вже виконують комп'ютерні програми, подібні згаданим вище програмам «Пионер», «Каисса», «Fritz», «Deer Blue», «AlphaGo». Причина того, що в Україні недостатньо застосовуються комп'ютерні програми при організації фонду державного майна, фондового ринку і ринків цінних паперів, аналогічна причині того, що в Україні недостатньо цінуються десятки тисяч своїх імен – брендів.

Бібліографічний список:

1. Адельсон-Вельский Г.М., Арлазаров В.Л., Битман А.Р., Донской М.В. Машина играет в шахматы. – М.: Наука, 2003. – 208 с.
2. Ботвинник М. Алгоритм игры в шахматы. – М.: Наука, 1968. – 96 с.
3. Ботвинник М. О кибернетической цели игры. – М.: Советское радио, 1975. – 88 с.
4. Глушков В.М. Сети ЭВМ. – К.: ИК АН УССР, 1978. – 16 с. – Препринт 78-68.
5. Горбачук В. Макроекономічні методи. – К.: Альтерпрес, 1999. – 263 с.
6. Горбачук В. Макроекономічні методи: теорії та застосування. – К.: Кий, 2000. – 271 с.
7. Горбачук В. Фінансові методи. – К.: Альтерпрес, 2002. – 176 с.

8. Горбачук В. Фінансові рішення. – К.: Альтерпрес, 2003. – 176 с.
9. Горбачук В.М., Лещинська Л.В. Міжнародні інтеграційні процеси та вимірювання рівня піратства // Актуальні питання міжнародних відносин. – 2012. – Вип. 109 (I). – С. 40–42.
10. Гупал А.М., Сергиенко И.В. Симметрия в ДНК. Методы распознавания дискретных последовательностей. – К.: Наук.думка, 2016. – 227 с.
11. Лещенко С. Последний шанс тысячелетия // Зеркало недели. – 1999, 16 октября.
12. Kurzweil R. The age of spiritual machines: when computers exceed human intelligence. – Penguin Books, 2000. – 400 p.
13. Kurzweil R. The Singularity is near: when humans transcend biology. – Penguin Books, 2006. – 672 p.
14. Kurzweil R., Grossman T. Fantastic voyage: live long enough to live forever. – Plume, 2005. – 464 p.
15. Yudkowsky E.S. Creating friendly AI 1.0: the analysis and design of benevolent goal architectures. – San Francisco, CA: Machine Intelligence Research Institute, 2001. – 278 p.

3. ПОСТІНДУСТРІАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ ДЕРЖАВНИХ ЗАМОВЛЕНЬ У РОЗВИТКУ AUTODIN, ARPANET, PRNET, NSFNET ТА ІНТЕРНЕТУ

Замовлення на державну функцію оборони розвивалися до держзамовлень на дослідження і розробки. Перехід між державними функціями передбачає постіндустріальну організацію. Ця організація основана на мережевих ефектах.

Ключові слова: постіндустріальна організація, державні замовлення, Інтернет.

Постановка проблеми полягає у належній державній організації розвитку динамічної галузі економіки – інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій ґрунтується на діяльності Агентства оборонних передових дослідницьких проектів (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) США. Розвиток Інтернету передбачав перетворення комп'ютерної мережі ARPANET, заснованої Агентством передових дослідницьких проектів (Advanced Research Projects Agency, ARPA) Міністерства оборони США (U.S. Department of Defense, DoD) [2, 11, 14]. ARPA було засновано у 1958 р., щоб забезпечувати нагляд за дослідженнями і розробками у DoD, підтримувати розробку новітніх технологій з потенційними застосуваннями до всіх трьох військових служб – армійської, флотської та повітряної. У 1972 р. ARPA було перейменовано в DARPA, у 1993 р. DARPA було перейменовано в ARPA, а в 1996 р. ARPA було знову перейменовано в DARPA. Рішенню про підтримку розвитку ARPANET передувало кілька успішних зусиль DoD в області комп'ютерної комунікації [22].

Загострення Холодної війни на початку 1950-х років відіграло вирішальну роль для розвитку здатності фірми ІВМ вийти на ринок з комерційним комп'ютером, повністю основаним на транзисторах [23]. Це рішення ІВМ також було спричинене антитрестівським позовом у 1951 р. Міністерства юстиції США (U.S. Justice Department) проти фірми ІВМ щодо її політики надання табуляторів лише в оренду,

монополізації ринку перфокарт, дискримінації при продажі перфокарт. Президент ІВМ Томас Уотсон молодший погодився з рішенням суду відповідно з укладеною сторонами мировою угодою, що зняло цей позов у 1956 р. Стратегія Уотсона полягала в тому, щоб утриматися від домінування на зрілих ринках табуляторів і карт, натомість досягнувши домінування на ринку комп'ютерів. Контракти ІВМ з Повітряними силами (U.S. Air Force) та Комісією з атомної енергії (Atomic Energy Commission, АЕС) США істотно зміцнили цю стратегію [12]. Ця стратегія ґрунтувалася на рішенні ІВМ кооперуватися з лабораторією Лінкольна Массачусетського інституту технології (Massachusetts Institute of Technology, MIT) у проектуванні й розробці комп'ютеризованої системи протиповітряної оборони – напівавтоматичного наземного середовища (Semi-Automatic Ground Environment, SAGE) за підтримки Повітряних сил США. Комп'ютерна технологія, розроблена для проекту SAGE, була безпосереднім наслідком проекту Whirlwind (Вихор), спочатку спрямованого на розробку пілотного тренажера загального призначення. Whirlwind був ініційований під час Другої світової війни групою молодих аспірантів-інженерів, яку очолював Джей Форрестер з лабораторії сервомеханізмів MIT за підтримки Офісу морських досліджень (Office of Naval Research, ONR) – основоположник теорії системної динаміки (починаючи з 2012 р., проект із системної динаміки разом з університетом Бергена (Норвегія) здійснює кафедра фінансів Києво-Могилянської академії за підтримки Міністерства закордонних справ Норвегії).

Нерозв'язана раніше частина загальної проблеми – постіндустріальна організація державних замовлень і замовлень міжнародних організацій у розвитку ІКТ.

Головна мета статті – виявити закономірності організації процесів досліджень і розробок в ІКТ.

Виклад основного матеріалу оснований на мотивації розвитку ІКТ. Комп'ютер Whirlwind, розроблений на початку 1950-х років для системи SAGE протиповітряної оборони, дозволив операторам взаємодіяти з даними, що обробляються, та показувати інформацію на екрані комп'ютера. DoD мало інтерес до розробки витонченішої системи, що забезпечувала б виживання системи комунікації після нападу, який міг би зробити недієздатною кожний центр управління.

Рішення про розвиток ARPANET також відбивало особистий інтерес Джозефа Ліклайдера, першого директора Офісу методів обробки інформації (Information Processing Techniques Office, IPTO) ARPA, до людино-машинної взаємодії. Ліклайдера непокоїли (періодичні) технологічні процеси, що використовувалися для обробки даних на існуючих тоді великих універсальних комп'ютерах. Щоб розв'язати задачу на комп'ютері, дослідник мав спочатку сформулювати її, а потім передати письмову постановку задачі професійному програмісту, щоб той закодував задачу для комп'ютера. Після того, як програма написана на комп'ютерній мові, ця програма подається оператору центрального комп'ютера і ставиться оператором у чергу. Тоді комп'ютер обробляє інформацію й друкує результати [11]: «Технологічна обробка раціоналізувала вхідний потік на комп'ютер, але залишалася марудною й

неефективною для програміста» [2]. Технологічна обробка забирала багато часу й сил також у користувача. Вхідні статистичні дані нерідко доводилося вручну обробляти і табулювати, щоб передати таблиці оператору і чекати понад тиждень для отримання роздруківки результатів регресії.

Ліклайдера турбувало те, що комп'ютерні технології радше слугують потребам користувача, ніж змушують споживача адаптуватися до машини [13]. На думку Ліклайдера, підставою для підтримки досліджень в області штучного інтелекту (ШІ) було те, що ШІ посідав центральне місце у місії ARPA через свою ключову роль для розробки передових автоматизованих систем управління (систем управління і контролю). У 1983 р. ARPA започаткувала нову амбіційну програму ШІ – програму стратегічного управління. З погляду Національної дослідницької ради (National Research Council), важливі технічні здобутки досліджень ШІ відбулися завдяки підтримці ARPA. Дослідження ШІ з розвитком дисципліни комп'ютерних наук відбувалися здебільшого завдяки підтримці ARPA та Національного наукового фонду (National Science Foundation, NSF). Перші прибічники і прихильники ШІ були оптимістами [7, 14, 18]. Шлях від початкового інтересу до розробки технології, «яка дозволила б великим комп'ютерам говорити між собою», до винайдення і приватизації комп'ютерних мереж – це шлях розвитку Інтернету. Винайдення і прийняття Інтернету супроводжувалося інституційними інноваціями, спричиненими змінами запасів ресурсів і технологій, а технічні зміни спричинені змінами інститутів і запасів ресурсів [21].

Спочатку Ліклайдер бачив систему «поділу часу», в якій до центрального комп'ютера був би доступ від багатьох користувачів з індивідуальними терміналами, зв'язаними телефонною лінією з центральним комп'ютером [14]. За аналогією з центральною електростанцією в електромережі, поділ часу віддаленого зв'язку з користувачами, приєднаними до центральних терміналів, використовуючи телефонні комутатори, дозволив би економити на експлуатації центральних терміналів – рідкісного ресурсу системи. Тоді не знали, що обмеження, пов'язане з центральним комп'ютером, зникатиме з розвитком міні- та мікрокомп'ютерів.

У 1966 р. Роберт Тейлор, який очолював ІРТО після Джозефа Ліклайдера, надав гарантії послугам Лоуренса Робертса, дослідника лабораторії Лінкольна МІТ на атлантичному узбережжі США, якому вдалося приєднати комп'ютер лабораторії до комп'ютера, розташованому на тихоокеанському узбережжі США у корпорації RAND (Research ANd Development) у м. Санта Моніка (штат Каліфорнія). Робертс отримав мандат будувати велику багатокомп'ютерну мережу, яка б пов'язувала комп'ютери з поділом часу у 17 академічних, промислових та урядових обчислювальних центрах, підтримуваних ARPA.

Спочатку Тейлор розраховував на використання порівняно низькошвидкісних телефонних ліній для з'єднання комп'ютерів у кількох центрах. Проте в жовтні 1967 р. на комп'ютерному симпозиумі у м. Гартлінбург (штат Теннессі) Роджер Скентлбері з Британської національної фізичної лабораторії

(British National Physical Laboratory, BNPL) повідомив Тейлора про дуже суттєвий прогрес, досягнутий одним методом передачі повідомлень – методом пакетної комутації.

Пропозицію розвитку розподіленої комунікаційної системи з швидкою наскрізною передачею повідомлень і малими недорогими переключеннями першим висував молодий інженер RAND Пол Баран у ряді публікацій наприкінці 1950-х і на початку 1960-х років [4]. Повідомлення розбиватимуться на малі «пакети» і направлятимуться за маршрутами по розподіленій системі автоматично, а не вручну. Баран передбачав повністю цифрову мережу з комп'ютеризованими комутаторами і цифрову передачу. Пакетна комутація імпонувала Барану, оскільки краще задовольняла вимозі виживання військової комунікаційної системи, ніж зацентралізована система, яку будувала компанія Bell Telephone Laboratories для DoD. Пропозиція Барана створила конфлікт з новим Агентством оборонної комунікації (Defense Communication Agency, DCA) і була відкликана її замовниками з Повітряних сил США. В середині 1960-х років альтернативну систему пакетної комутації з радше комерційними, ніж військовими цілями, розробив Дональд Девіс з BNPL. Однак бюрократичні й ресурсні обмеження перешкоджали втіленню систем пакетної комутації [2]. Лише виділення дуже великих фінансових і технічних ресурсів, наявних в ARPA, забезпечило успіх технології пакетної комутації.

Присутні у середині 1960-х років комп'ютерні апаратурна й операційна системи мали тенденцію до відносної спеціалізації. Підрядники, яким потрібен був доступ до різних видів обчислень, мали їхати в

інше місце чи купувати багато машин. Тому обчислювальні центри постійно зверталися до ІРТО щодо фінансування додаткових комп'ютерів. Для Тейлора і Робертса мережева система видавалася можливістю як просувати дослідження у новій галузі комп'ютерних наук, так і заощаджувати гроші ARPA на комп'ютерному обладнанні. На нараді з планування в університеті Мічигану у 1967 р. Робертс виклав своє бачення системи, де головні комп'ютери зв'язувалися між собою малими інтерфейсними комп'ютерами, дозволяючи таким чином головним комп'ютерам з різними характеристиками «говорити один з одним». Ця пропозиція Робертса спочатку не знайшла підтримки університетських відповідальних дослідників, зацікавлених у розробці свого власного програмного забезпечення. Оскільки всі обчислювальні центри фінансувалися ARPA, то Робертс міг наполягати на тому, щоб усі близько десятка місць (сайтів) приєднали свої комп'ютери до його мережі незалежно від їхнього бажання [4]. У 1971 р. ARPANET складалася з 15 з'єднаних вузлів: лабораторія Лінкольна МІТ – географічно близька до МІТ мала консалтингова високотехнологічна фірма Bolt, Beranek and Newman (BBN) – RAND – Стенфорд – Стенфордський дослідницький інститут (Stanford Research Institute, SRI) – університет Каліфорнії у Лос-Анджелесі (University of California at Los Angeles, UCLA) – Берклі; RAND – System Development Corporation (SDC) – університет Юти – університет Іллінойсу – МІТ – BBN – Гарвард – Burroughs – університет Карнегі-Меллон – університет Кейс Вестерн Резерв. Серед цих вузлів розвивалися інші зв'язки.

Отже, створення ARPANET є прикладом державно-приватного партнерства, ефективної взаємодії академічної і університетської науки. Серед центрів ARPANET була спеціалізація. Наприклад, на графіці спеціалізувалися MIT, Гарвард, університет Юти, RAND, на ШІ – Стенфорд, університет Карнегі-Меллон, а на обчислювальній потужності – університет Іллінойсу.

ARPA надала контракт фірмі BBN на розробку спеціального комп'ютера – інтерфейсного процесора обробки повідомлень (interface message processor, IMP), який би спрямовував пакети повідомлень за альтернативними маршрутами. Хоча розробка програмного забезпечення, яке б направляло пакети іншими альтернативними шляхами, і проблеми інженерного проектування виявилися складнішими, ніж очікувалося, команда BBN IMP успішно розробила базові елементи Інтернету через 9 місяців після надання контракту [8, 11, 14].

Досягнення команди BBN IMP мали велике значення для новаторської мережі ARPANET і стрімкого розвитку світового Інтернету, а винахідницький успіх малого підприємства BBN можна порівнювати з успіхом Томаса Едісона та малої групи його колег, які винайшли систему електричного освітлення [11]. Подібно до досліджень Едісона у м. Менло Парк (штат Каліфорнія), мала місце інтенсивна діалектична взаємодія між досягненнями науки і досягненнями технології. Іноді про винахід повідомляли науковці, іноді – інженери з науковими знаннями.

Подібно до зв'язку між наукою і технологією, має місце тісний взаємозв'язок між розробкою військових і комерційних літаків. Галузь літакобудування виділяється серед інших галузей машинобудування тим, що незадовго до вступу США у Першу світову війну була заснована урядова дослідницька організація США – Національний дорадчий комітет з аеронавтики (National Advisory Committee for Aeronautics, NACA) – для проведення досліджень з технології і проектування військових і комерційних літаків. NACA був важливим та ефективним джерелом нових знань й технологій для галузей військових і комерційних літаків понад 40 років, а в 1958 р. NACA увійшов до складу Національної адміністрації з аеронавтики і космосу (National Aeronautics and Space Administration, NASA). NASA продовжує брати участь у майже всіх науково-технічних розробках літаків.

NACA здійснив істотний вклад у просування літакобудівних технологій незадовго до початку і під час Другої світової війни. Дослідження NACA з розмерзання вели до розробки термального розмерзання через теплообмін з відпрацьованими газами. Проект крила з ламінарним обтіканням і малим аеродинамічним опором для літака-винищувача P-51 був важливим внеском NACA під час війни. NACA також приділяв велику увагу поліпшенню та випробуванню прототипних моделей військових літаків і консультуванню з авіавиробниками з технічних питань серійного випуску літаків: всі літаки і літакові двигуни США, що застосовувалися у Другій світовій війні, випробовувалися і вдосконалювалися інженерами NACA. Водночас керівництвом NACA й експертами в літакобудівній

галузі було широко заявлено, що дуже багато здобутків НАСА ґрунтується на фундаментальних аеронавтичних дослідженнях [17].

Громадський закон США № 271 про заснування НАСА, прийнятий 63-м Конгресом США 3 березня 1915 р., передбачав: «Обов'язком Дорадчого комітету з аеронавтики є наглядати і направляти дослідження проблем польоту з огляду їхнього практичного розв'язку». Тому з перших років свого існування НАСА вибрав інженерний напрямок, з якого не звертав [17].

У 1920-х роках були докладені зусилля, щоб доповнювати інженерний напрямок НАСА посиленням фундаментальних наукових досліджень в аеронавтиці [3, 6, 25]. Фонд Деніела Гуггенхейма для сприяння аеронавтиці надав багато грантів дарування аеронавтичним інженерним програмам в Каліфорнійському інституті технології (California Institute of Technology, Caltech; Калтех), Школі (пізніше – Інституті) Джорджії, МІТ, університеті Нью-Йорка, Стенфордському університеті, університеті Мічигану, університеті Вашингтону [9]. На той час ці програми Калтеху і Стенфорду вже мали сильну наукову базу. У 1916–1926 рр. професори механіки Стенфорду Дюран і Леслі застосували метод варіації параметра для проектування експериментів в аеродинамічній трубі, щоб оцінювати роботу повітряного гвинта [24]. У 1930 р. Калтех спромігся залучити у свій штат Теодора фон Кармана, одного з найвизначніших учнів Прандтля (який вважав себе фізиком-прикладником) у Геттінгені. Фон Карман відіграв провідну роль у подальшому успішному становленні Калтеху як світового наукового

центру для аеронавтичної науки та інженерії [10, 19]. У Калтеху фон Карман поєднував свою наукову діяльність із серйозними інженерними експериментами. Він вживав заходів для побудови аеродинамічної труби і проводив там експерименти. Починаючи з 1932 р., він підключився до досліджень розташованої поблизу м.Санта Моніка фірми Douglas Aircraft, які вели до розробки літака DC-3 [19].

Напруженість між науковим та інженерним напрямками НАСА відбивалася у дебатах про стратегію післявоєнних досліджень. У 1944 р. Едвін Хартман, західний координатор досліджень НАСА, доводив, що після війни НАСА має спрямувати свою головну увагу на розробки. Він наполягав, що роботи, де НАСА здійснив найпомітніший вклад і дістав найбільше визнання, – саме розробки. Хартман посилався на приклади обтікача НАСА і дослідження з розмерзання [17]. Наприкінці Другої світової війни одним з найбільш нагальних викликів, з яким зіштовхнулося керівництво НАСА, була необхідність відповідати на критику про те, що під час війни НАСА зазнавав кричущого дефіциту фундаментальних даних, нехтуючи фундаментальними дослідженнями [17].

Проблема була не в тому, що інженери та вчені НАСА не проводили важливих фундаментальних або наукових досліджень, а в тому, що ці дослідження спонукалися радше реакцією на конкретні інженерні проблеми, ніж реакцією на об'єктивно існуючу потребу просування наукових горизонтів: «Аероавтичні інженери широко використовують джерела інформації, яка не спирається на фундаментальну науку, бо

специфіка проектів літаків вимагає інформації, яка не випливає з принципів аеродинаміки» [19]. Критики НАСА, виходячи з лінійної моделі взаємозв'язку між фундаментальними дослідженнями і технологічними розробками, намагалися тиснути на НАСА у напрямку, несумісному з технологічними розробками літаків.

Протягом 1929–1954 рр. персонал НАСА отримав 5 дослідницьких нагород «Трофей Кольєра» – щорічних авіаційних нагород, які присуджує Національна аеронавтична асоціація США: у 1929 р. – за розробку обтікача, який значно зменшує опір радіальних двигунів з повітряним охолодженням; у 1946 р. – за розробку термального розмерзання через теплообмін з відпрацьованими газами; у 1947 р. – за розробку прототипного дослідницького літака (X-1), що долає «звуковий бар'єр»; у 1951 р. – за розробку надзвукової аеродинамічної труби, що може продукувати надійні дані для найпроблемніших діапазонів швидкості; у 1954 р. – за відкриття й обґрунтування надзвукового правила площ Віткомба для аеродинамічного потоку, яке встановлює оптимальний взаємозв'язок між формами фюзеляжу і крил. Лише нагорода 1954 р. включала фундаментальні наукові дослідження [17].

Незавершена природа згаданих дебатів спричинена організацією діалогу, обмеженого інтелектуальною прихильністю частини персоналу й адміністрації НАСА до традиційної моделі взаємозв'язку між просуванням у науці та просуванням у технології (у лінійній моделі після фундаментальних досліджень йдуть прикладні, а потім – технологічні розробки) і прихильністю

зовнішніх і внутрішніх критиків НАСА до інтерактивної моделі зв'язків між науково-технічними знаннями та розробками (у мережевій моделі різні точки технологічних інновацій і наукових інновацій взаємодіють між собою, неперервно оновлюючи науково-технологічні знання, які впливають на всі точки інновацій). Крім того, можна окреслити квадрантну модель цих зв'язків, вимірюючи по вертикалі вниз – роль уряду, по вертикалі вгору – роль ринку, по горизонталі вправо – наукові діяльності, по горизонталі вліво – технологічні діяльності [20]. Квадранти вище горизонталі – фундаментальні дослідження, причому справа – такі дослідження, стимульовані використанням (квадрант Пастера), а зліва – такі дослідження, стимульовані допитливістю (квадрант Бора). Квадранти нижче горизонталі – прикладні дослідження і технологічні розробки, причому справа – такі дослідження і розробки, фінансовані промисловістю (квадрант Едісона), а зліва – такі дослідження і розробки, фінансовані урядом (квадрант Ріковера). Лінійна модель не дозволяла розподіляти сфери відповідальності між НАСА, авіаційною службою і приватною промисловістю: «У повітряних силах відмінність між розробкою й оцінкою була не помітнішою, ніж у НАСА відмінність між дослідженнями і розробками» [17]. Термін «фундаментальні дослідження» більше розмивав кордони між дослідницькими функціями, ніж проясняв їх.

Враховуючи досвід НАСА, у 1971 р. ARPA підключило Повітряні сили та Національне бюро стандартів США до ARPANET. Незважаючи на великі докладені зусилля, оператори центральної

системи повільно будували спеціальне апаратне забезпечення для інтерфейсу між їхнім комп'ютером і його IMP. Робертс з колегами вирішили, що потрібен рішучий захід, щоб «каталізувати мережеву громаду на здійснення заключного кроку для отримання своїх ресурсів онлайн». Такий захід – демонстрація спроможностей ARPANET на 1-й міжнародній конференції з комп'ютерного зв'язку, яка мала відбутися у жовтні 1972 р. у столиці США м.Вашингтон [2].

Демонстрація Інтернету на згаданій конференції була вирішальним моментом у поширенні застосувань глобальної мережі. Ця демонстрація переконала всіх учасників комп'ютерної і телефонної галузей у тому, що пакетна комутація може стати життєздатною комерційною технологією. ARPANET уже не могла вважатися просто потенційним застосуванням для оборони чи наукових досліджень. Хоча потенційна спроможність мережі ARPANET як засобу зв'язку віддалених комп'ютерів була очевидною принаймні для її розробників, вони та замовники дослідження з DoD не могли збагнути, що основним застосуванням мережі буде радше особиста і комерційна електронна пошта, ніж передача даних або дослідницьке співробітництво. Потребувалося чверть віку, щоб розв'язати технічні та інституційні проблеми для вивільнення потенціалу Інтернету.

Щоб на початку 1970-х років мати доступ до Інтернету і користуватися ним, сайт мав приєднатися до ARPANET, для чого був потрібен дослідницький контракт з ARPA чи іншою урядовою установою, погодженою з ARPA. Додання нового сайту обмежувалося високою вартістю встановлення доступу,

вимогою співробітництва з дослідницькою групою ARPA, наявністю вмілих програмістів, здатних створювати і підтримувати хостингове програмне забезпечення. Якщо член мережі не фінансувався ARPA, то за встановлення нового вузла мав заплатити від 55 до 107 тис. дол. в цінах 1972 р. [2]. Після схвалення сайту (вузла) ARPA мало замовити у фірми BBN новий IMP, дати розпорядження для Network Analysis Corporation про реконфігурацію мережі з новим вузлом, узгодити з American Telephone and Telegraph (AT&T) телефонну лінію між цим новим вузлом і рештою ARPANET. Новий хост буде відповідальним за надання програмного й апаратного забезпечення для інтерфейсу хост – IMP і за виконання протоколу Network Control Protocol (NCP) хосту на своїх комп'ютерах. Здійснення цих функцій хостом могло потребувати року роботи програміста [2].

Однак приєднані до ARPANET університети і компанії отримували досить непевне управління доступом до мережі. В цьому автор переконався особисто восени 1992 р., коли в Економічному інституті м. Боулдер (штат Колорадо) започатковував спілкування електронною поштою серед перших стипендіатів Бенджаміна Франкліна (слід сказати, що Боулдер – одне з найбільш високотехнологічних міст США). Майже кожний, хто мав доступ до облікового запису на приєднаному до мережі комп'ютері, мав труднощі з використанням мережевих застосувань. Якщо користувач мав доступ до ARPANET, то мав додаткові труднощі: засоби пошуку і каталоги адрес не існували; отримання доступу до віддалених комп'ютерів треба було погоджувати; багато хост-комп'ютерів мало свої власні мови

програмування, формати даних і спеціалізоване апаратне забезпечення. Розв'язання проблем сумісності виявилось набагато складнішим, ніж це вважали розробники IMP та ARPANET.

У 1993 р. автор створив, напевне, один з перших каталогів електронних адрес організацій України, який розмістив Богдан Пітер Рекшинський на порталі BRAMA. Рекшинський тоді працював у провідній компанії Уолл Стріт – Lehman Brothers, і автор розраховував, що цей каталог стане в нагоді для формування глобального портфеля Lehman Brothers. Однак Lehman Brothers та вказані у каталозі організації не виявилися готовими до викликів глобалізації, що підтвердилося у кризовий період через 15 років.

У відповідь на побажання користувачів, під час 1970-х років ARPANET ініціювала важливі зміни в апаратному і програмному забезпеченні, конфігурації та застосуванні [2, 14]. Децентралізоване середовище ARPANET створило для користувачів можливість виходу їхніх емоцій і винайдення нових застосувань. Часто спираючись на фінансування ARPANET, користувачі проводили успішні експерименти у кількох областях. Один з таких експериментів – розробка систем термінального інтерфейсу [2]. Під тиском UCLA, який бажав приєднати два комп'ютери до свого IMP, Робертс уповноважив BBN модифікувати IMP для управління принаймні двома комп'ютерами, що пізніше дало спосіб приєднання сайтів безпосередньо до ARPANET без хост-комп'ютерів. Модифікований IMP назвали TIP (terminal IMP). Інший експеримент – розробка нових комунікаційних маршрутів для

сприяння зв'язку з мережами локальних областей (local area networks, LANs). Коли користувачі комп'ютерів одного сайту одночасно починали надсилати дані один одному, то несподівано для персоналу ARPA та BBN виникали LANs.

Ще одна розробка, ініційована користувачами і фінансована ARPA, – це зусилля університету Гаваїв до розвитку радіотерміналів пакетної комутації як альтернативи використанню орендованих телефонних ліній для зв'язку комп'ютерів у кількох університетських містечках. Принципи цієї розробки пізніше застосував Роберт Меткалф (який тоді працював у Дослідницькому центрі компанії Хегох у м. Пало Альто (штат Каліфорнія)) для розвитку мережі з випадковим доступом, що використовувала як середовище передачі радше кабель, ніж радіоканал. Така мережа, яку спочатку називали Алоха Альто (алоха – гавайське слово), а пізніше – Ethernet, стала стандартним підходом для систем LAN. Проте керівництво ARPA не завжди реагувало на побажання користувачів. Наприклад, керівники ARPA виступали проти розвитку протоколів вищого рівня, щоб тримати мережу під своїм контролем [2]. Отже, свій внесок у проекти здійснюють не лише їхні розробники, але й користувачі за принципом «навчання через використання».

Невдовзі після демонстрації ARPANET у 1972 р. Робертс покинув ARPA, щоб очолити Telnet – комерційний побічний продукт BBN в ARPANET. Приблизно тоді ж Роберт Кан, який організував згадану демонстрацію, був призначений на посаду менеджера програми в IPTO. Кан ініціював побічний

проект на мережі Алоха Альто, щоб збудувати локальну пакетну радіомережу (packet radio network, PRNET), що пов'язує підрядників ARPA в області затоки Сан Франциско, з метою випробування технології PRNET і підвищення комунікаційної спроможності військової автоматизованої системи управління. Кан також ініціював розробку пакетної комутації для передачі даних через INTELSAT I [1], щоб супутникова мережа пакетної комутації (satellite packet switching network, SATNET) сприяла дослідженню мереж і передачі даних сейсмічного моніторингу щодо випробування ядерної зброї CPCS [14].

Важливою метою розвитку ARPANET було сприяння поділу ресурсів. До середини 1970-х років стало очевидним, що запуск програм на віддалених сайтах відбувався зі значно меншою інтенсивністю, ніж спочатку передбачалося. Ідеальним в економічному сенсі розподілу обчислень і поділу ресурсів відповідала ситуація використання більшістю дослідників ARPA тільки центрального комп'ютера. Якби ARPANET прагнула лише до поділу ресурсів, то її мережа вважалася б радше невдачею, ніж успіхом. Проте користувачі мережі несподівано знайшли новий осередок для мережевої діяльності – електронну пошту [2].

До середини 1970-х років ARPA експлуатувало три різні мережі пакетної комутації – ARPANET, PRNET та SATNET. Операційні види Збройних сил США і багато європейських інституцій були зв'язані через ARPANET. Британська пошта і Норвезька адміністрація телекомунікацій приєднали

сайти в Англії та Норвегії до сайтів SATNET у США. Розміри пакетів і швидкості передачі в цих мережах відрізнялися. На той час в області комп'ютерних наук не було досвіду з'єднання дуже різних систем, а відтак не було моделі, за якою можна було працювати. Коли Кан почав думати про шляхи розв'язання загальної проблеми поєднання гетерогенних мереж, він привів у рух те, що стало програмою Інтернет [2]. Від конструктора мережі вже вимагалось не тільки проектувати систему, що сприятиме комунікації серед множини комп'ютерів, але й міркувати про взаємодію різних мереж.

З 1973 р. Кан і Вінтон Серф (працівник Стенфорду, один з перших проектувальників хост-протоколу ARPANET) вивчали проблеми проектування системи, яка поєднує різні мережі ARPA, і готували публікацію, що окреслює архітектуру Інтернет ARPA. У цій статті вони визначили два фундаментальні питання: «Перше, якщо пакетна радіомережа забезпечує надійні зв'язки між хост-комп'ютерами, то потребує хост-протокол, який бере до уваги зашумлене середовище передачі інформації. Як виглядатиме такий хост-протокол? Друге, який тип механізму забезпечуватиме інтерфейс між такими двома відмінними мережами, як PRNET та ARPANET?» [5]. Кан надав контракт Серфу для вироблення докладних специфікацій системи, а у 1976 р. переконав Серфа перейти в ARPA програмним менеджером для мережевих проектів.

У середині 1970-х років Кан і Серф брали широку участь у конференціях і консультаціях з комп'ютерними дослідниками, працівниками таких національних мережевих проектів, як BNPL,

французькі мережі Cyclades та інші. Прихильників систем Cyclades та Ethernet непокоїло те, що NCP в ARPANET не містила механізму виправлення помилок. Було вирішено, що альтернативний до NCP протокол управління передачі (Transmission Control Protocol, TCP), над яким Серф і Меткалф раніше співпрацювали, буде застосовуватися для забезпечення впорядкованого безпомилкового потоку даних від хосту до хосту.

Для відповіді на питання, як зв'язати мережі фізично, Серф і Кан запропонували створення спеціальних хост-комп'ютерів, які назвали шлюзами. Шлюз (gateway) мав з'єднуватися з двома чи більше мережами, а весь між мережевий трафік мав йти через ці шлюзи. Проектувальники мережі також мали винайти систему хост-адрес, яка б дозволяла пакетам прямувати до конкретного хосту на конкретній мережі. Ієрархічна система адрес (система, яку ми тепер використовуємо на наших персональних комп'ютерах) сприяла поділу праці між шлюзами і локальними мережами [2].

Хоча система, яку виробили Серф, Кан та їхні колеги, задовольняла початковим специфікаціям проектування Інтернету, її критикували за надмірні функції шлюзів. Лише у 1977 р. ARPA стала здатною продемонструвати свій перший багатомережевий зв'язок. Пакети надсилалися з фургону на автостраді у Каліфорнії (на західному узбережжі США) через PRNET на шлюз ARPANET, потім – через ARPANET на шлюз SATNET на східному узбережжі США, потім – із SATNET до Європи, а

потім – через ARPANET до Каліфорнії. Встановлення успішного тристороннього взаємозв'язку ARPANET, PRNET та SATNET ознаменувало початок Інтернету як діючої системи [2].

З 1972 р., після демонстрації технічної досяжності ARPANET, ARPA почало вивчати можливість переходу керівництва ARPANET до комерційної кар'єри чи іншого урядового агентства. Однак зусилля ARPA зацікавити AT&T були безуспішними, що призвело до реорганізації AT&T. У 1975 р. було прийнято рішення передати DCA операційну відповідальність при збереженні технічного і фінансового менеджменту ARPA. Доступ до ARPANET мав обмежуватися користувачами DoD й урядовими підрядниками, схваленими DCA.

DCA негайно почало переорієнтовувати мережу від досліджень до військових операцій. Це допомагало DCA долати синдром ставлення до чужих винаходів (not invented here, NIH) і пришвидшувати інновації через використання ARPANET у комп'ютеризованих автоматизованих системах управління. Крім того, порівняно з керівниками ARPA, керівники DCA більше дбали про наслідки для безпеки при несанкціонованому використанні мережі, про запобігання марнотратному використанню мережі [2]. Ці питання загострилися з появою дешевих комп'ютерних систем наприкінці 1970-х років, які винайшли Стів Возняк і Стів Джобс. DCA запровадило нову систему логінів і паролів, щоб лише уповноважені термінальні IMPs (TIPs) мали доступ до мережі. Таким чином, передача DCA

операційної відповідальності пришвидшувала технологічну дифузію серед військових застосувань, але на початку гальмувала таку дифузію серед цивільних застосувань.

Наприкінці 1970-х років DCA зіштовхнулося з важливим рішенням, що мало глибокий вплив на комерційний розвиток Інтернету. Рішення стосувалося майбутнього Automatic Digital Network (AUTODIN) – мережі комутації повідомлень, яку DCA розбудовувало для військового використання на початку 1960-х років. AUTODIN II, оновлена версія AUTODIN і закуплена Western Union, мала вступити в дію у 1979 р. Спочатку DCA планувало демонтувати ARPANET після вступу в дію AUTODIN II. Після глибшого аналізу DCA вирішило, що ARPANET відіграє суттєву роль для дослідницької мережі DoD, що слід продовжувати підтримку дослідницького напрямку ARPANET і слід встановити шлюз від ARPANET до AUTODIN II. Тому для DCA виникло питання застосування TCP/IP – нового Інтернет-протоколу, який Серф і Кан розробили для ARPANET. Після глибокого опрацювання питання, протоколи ARPANET TCP/IP були прийняті в якості спільної мови для нової Мережі оборонних даних – Defense Data Network. Після успішної перевірки Інтернет-протоколів на ARPANET, ці протоколи стали обов'язковими на мережах DoD.

Після переходу ARPANET на протокол TCP/IP, DCA й ARPA здійснили кілька кроків, що встановили підвалини для розвитку широкомасштабного цивільного Інтернету. Перший крок – розділити військові та наукові функції. З міркувань безпеки у 1982 р. було прийнято рішення поділити ARPANET на

оборонну дослідницьку мережу (під назвою ARPANET) й операційну військову мережу (military network, MILNET), яка має бути обладнана пристроями шифрування та іншими засобами безпеки для захисту військових функцій. Другий крок – підтримати комерціалізацію Інтернет-технології. DCA заснувало фонд обсягом 20 млн. дол. для субсидій на встановлення комп'ютерними виробниками протоколу TCP/IP на машинах, які вони випускають. Всі головні комп'ютерні виробники скористалися цим фондом, і на 1990 р. TCP/IP був наявним для фактично кожного комп'ютера на ринку США [2].

Однак ARPA завершила свою операційну відповідальність за ARPANET до 1990 р. У 1984 р. NSF заснував Офіс передових наукових обчислень (Office of Advanced Scientific Computing) для організації географічно розгалуженої множини нових університетських суперкомп'ютерних центрів. Щоб зв'язати 16 таких центрів, було засновано базу (backbone) – NSFNET. Зазначена множина мала бути радше міжмережевою, ніж одномережевою. База мала зв'язуватися з регіональними і локальними мережами, які NSF допомагав розвивати раніше. Було вироблено угоду з ARPA про те, що NSFNET використовуватиме ARPANET як свою базу під час побудови нової бази NSFNET.

Висновки і пропозиції полягають у плідності довгострокових проектів, що виконуються урядом, університетами, приватними і державними дослідницькими центрами, Взаємозв'язок NSF – ARPA відкрив Інтернет для майже всіх університетів США [2], а також створив можливість для ARPA завершити свою операційну відповідальність за ARPANET. У 1987 р. керівники мережевої програми

ARPA вирішили, що ARPANET застаріла і має відійти в минуле, а NSFNET дає новий вибір. Замість демонтажу ARPANET було вирішено зв'язати сайти ARPANET з регіональними мережами NSFNET, а також розглядати NSFNET як базу Інтернету. Після готовності бази NSFNET, вся Інтернет-спільнота просто перейшла від ARPANET до NSFNET, що можна вважати інституційною інновацією. Момент списання ARPANET у лютому 1990 р. ознаменував завершення двох десятиліть роботи Інтернету виключно на оборону і поступовий перехід роботи Інтернету на ринок [2]. Із середини до кінця 1980-х років мережі і міжмережіві системи стрімко зростали. Якщо у 1986 р. перелік конкретних мереж, систем конференц-зв'язку та їхніх взаємозв'язків займав 40 сторінок [16], то вже через 4 роки у 1990 р. такий перелік потребував у 10 разів більшого обсягу [15].

Список використаних джерел:

1. Горбачук В.М. Торговельні засоби розвитку високотехнологічної галузі // Вісник Одеського національного університету. Економіка. – 2015. – Т. 20. – Вип. 1/1. – С. 162–170.
2. Abbate J. *Inventing the Internet*. – Cambridge, MA: MIT Press, 1999. – 272 p.
3. Anderson J.D., Jr. *The airplane: a history of its technology*. – Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002.
4. Baran P. On distributed communications networks // *IEEE transactions on communications*. – 1964, July. – P. 1–9.

5. Cerf V.G., Kahn R.E. A protocol for packet network interconnection // IEEE transactions on communications. – 1974, May. – P. 637–648.
6. Cook W.H. The road to the 707: the inside story of designing the 707. – Bellevue, WA: TYC Publishing. 1991. – 288 p.
7. Funding a revolution: government support for computing research. – Washington, DC: National Research Council; National Academy Press, 1999. – 302 p.
8. Hafner K., Lyon M. Where wizards stay up late: the origins of the Internet. – New York: Simon & Schuster, 1996. – 304 p.
9. Hallion R.P. Supersonic flight: breaking the sound barrier and beyond: the story of the Bell X-1 and Douglas D-558. – London: Brassey's, 1997. – 268 p.
10. Hanley P. Bringing aeronautics to America. – Cambridge, MA: MIT Press, 1982.
11. Hughes T.P. Rescuing Prometheus: four monumental projects that changed the modern world. – New York: Random House, 1998. – 372 p.
12. Jorgenson M.R. Monopoly and markets in the U.S. computer industry to 1970: IBM and U.S. government technology and antitrust policy. – Minneapolis, MN: Department of Sociology; University of Minnesota, 1996.
13. Licklider J.C.R. Man computer symbiosis // IRE transactions on human factors in electronics. – 1960. – 1. – P. 4–11.

14. Norberg A.L., O'Neill J.E. A history of the Information Techniques Office of the Defense Advanced Research Projects Agency. – Minneapolis, MN: Charles Babbage Institute; University of Minnesota, 1992.
15. Quarterman J.S. The matrix: computer networks and conferencing systems worldwide. – Bedford, MA: Digital Press, 1990. – 719 p.
16. Quarterman J.S., Haskins J.C. Notable computer networks // Communications of the ACM. – 1986. – 29. – P. 932–971.
17. Roland A. Model research: the National Advisory Committee for Aeronautics: 1915–1958. Vols. 1, 2. – Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration. 1985.
18. Roland R., Shirman P. Strategic computing: DARPA and the quest for machine intelligence, 1983–1995. – Cambridge, MA: MIT Press, 2002. – 456 p.
19. Rosenberg N. Engineering knowledge. – Palo Alto, CA: Department of Economics; Stanford University, 2001.
20. Ruttan V.W. Technology, growth, and development: an induced innovation perspective. – New York: Oxford University Press, 2001. – 672 p.
21. Ruttan V.W. Social science knowledge and economic development: an institutional design perspective. – Ann Arbor: University of Michigan Press, 2003.

22. Ruttan V.W. Is was necessary for economic growth? Military procuremnet and technology development. – New York, NY: Oxford University Press, 2006. – 219 p.
23. Usselman S.W. IBM and its imitators: organizational capabilities and the emergence of the international computer industry // Business and economic history. – 1993. – 22. – P. 1–35.
24. Vincenti W.G. What engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history. – Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1990.
25. Von der Linden F.R. The Boeing 247: the first modern airliner. – Seattle, WA: University of Washington Press, 1991. – 268 p.

4. СУСПІЛЬНІ ТА УНІВЕРСИТЕТСЬКІ ЗМІНИ ВІД ТРЕТЬОЇ ДО ЧЕТВЕРТОЇ ПРОМИСЛОВОЇ РЕВОЛЮЦІЇ

За даними Міжнародного валютного фонду, у 2015 р. Україна посідала 133-тє місце серед 184-х держав світу за валовим внутрішнім продуктом у номінальних доларах США на душу населення. Водночас за офіційними даними Світової організації торгівлі (СОТ), у 2014 р. Україна посідала 30-тє місце у світі за експортом телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг, причому обсяг такого експорту за 2011–2014 рр. (за 4 роки) зріс вдвічі. Про перспективність цих послуг для України порівняно з іншими галузями йшлося у моїй доповіді у лютому 2012 р. на конференції в Інституті

міжнародних відносин Київського національного університету імені Т.Шевченка, виходячи з даних СОТ за 2005–2009 рр.

Перше і друге місця у світі за експортом телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг у 2014 р. посідали Ірландія та Індія. На початку 1990-х років фахівці у галузі телекомунікаційних, комп'ютерних та інформаційних послуг Індії відвідували Кібернетичний центр (Кібцентр на проспекті Глушкова) у Києві з метою обміну досвідом. На жаль, в Україні до початку 2000-х років про успіхи Індії у цій галузі було мало відомо. Наприклад, мої студенти фізико-технічного факультету Київського політехнічного інституту (КПІ) дізналися про успіхи Індії в цій галузі лише при виборі тем реферату з економіки (портрети ряду студентів цього факультету – переможців і призерів міжнародних студентських олімпіад – розміщені у головному корпусі КПІ поруч з портретами Д.Менделєєва і С.Корольова). Водночас студент цього факультету, Єгор Анчишкін (зараз – власник солідної фірми у США), виявив неабиякий інтерес до економіки і застосував знання з розпізнавання образів, отримані на лекціях професора Михайла Шлезінгера з Кібцентру, для розробки стартапу Viewdle, який компанія Google купила восени 2012 р. за 30 млн. дол. Приклад Viewdle показує ефективність системи фізтеху – взаємодії академічної та університетської роботи. Крім того, Viewdle сприяв розвитку і капіталізації інших стартапів України.

9 листопада 2015 р. найвищу нагороду «Мислителі 50» у категорії «Цифрові мислителі» отримали Ерік Бриньйолфссон (професор сім'ї Шуссель Массачусетського інституту технологій (MIT), директор Ініціативи MIT з цифрової економіки, директор Центру MIT з цифрового бізнесу) та Ендрю Макафі (співдиректор Ініціативи MIT з цифрової економіки, асоційований директор Центру MIT з цифрового бізнесу) за пояснення того, чому Четверта промислова революція може вести до більшої нерівності, чіпаючи ринки праці. Із заміною праці на автоматизу по всій економіці результуюче витіснення працівників машинами може посилювати розрив між віддачею капіталу і віддачею праці. З іншого боку, теж можливо, що вивільнення працівників завдяки технологіям вестиме до результуючого збільшення безпечних робочих місць з високою винагородою. Можна бути впевненим, що в майбутньому талант буде критичнішим фактором виробництва, ніж капітал. Це породжуватиме сегрегацію ринку праці на два полярні сегменти – сегмент низьких кваліфікацій з низькими зарплатами і сегмент високих кваліфікацій з високими зарплатами, що, в свою чергу, вестиме до загострення соціальної напруженості.

Четверта промислова революція є не лише ключовим економічним питанням, але й найважливішим соціальним питанням внаслідок нерівності доходів у зазначених сегментах. Найбільші вигоди від інновацій мають тенденцію надходити до провайдерів інтелектуального і фізичного капіталу – новаторів, акціонерів, інвесторів, пояснюючи збільшення розриву у добробуті між представниками

згаданих сегментів. Наслідок – ринок праці з підвищенням попиту на представників двох згаданих полярних сегментів і зниженням попиту на представників між цими сегментами. У таких умовах університети відіграватимуть більшу соціально-економічну роль.