

<http://doi.org/10.15407/econindustry2025.03.040>

УДК 330.101:330.34:004.9

JEL: O33, L16

Олександр Сергійович СЕРДЮК, д-р екон. наук, старший дослідник

E-mail: serdyuk_O@nas.gov.ua; <https://orcid.org/0000-0003-3049-3144>

Інститут економіки промисловості НАН України

вул. Марії Капніст, 2, м. Київ, 03057, Україна

*Технології та суспільство взаємно формують
один одного. Ми є продуктом наших технологій
тією мірою, якою вони є продуктом, що нами створюється.*
Клаус ШВАБ

ТРАНСФОРМАЦІЯ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІД ВПЛИВОМ ТЕХНОЛОГІЙ ІНДУСТРІЇ 4.0

У статті досліджено роль ключових технологічних інновацій, зокрема штучного інтелекту, Інтернету речей, блокчейну та 3D-друку, у зміні виробничих процесів, оптимізації ресурсокористування та формуванні нових економічних взаємозв'язків. Розглянуто соціально-економічні наслідки інтеграції інтелектуальних технологій у виробництво, а саме вплив автоматизації на ринок праці, зміну інституційних механізмів регулювання економіки, проблеми «наглядного капіталізму» та можливі шляхи їх вирішення.

Ключові слова: економічна система, Індустрія 4.0, штучний інтелект, Інтернет речей, блокчейн, 3D-друк.

Економічний розвиток нерозривно пов'язаний з упровадженням нових технологій, які вдосконалюють виробничі процеси, управління ресурсами та організацію господарської діяльності. Проте масштаб і характер цього впливу суттєво відрізняються залежно від галузі, регіону та рівня інтеграції технологічних систем у виробництво, що зумовлює неоднозначні наслідки для економіки. З огляду на це набуває актуальності питання дослідження механізмів впливу нових технологій на виробничі процеси та виявлення закономірностей трансформації економічної системи в умовах технологічного прогресу. Зокрема, у контексті сьогодення важливо визначити, якими будуть економічні

наслідки від широкого застосування технологій Індустрії 4.0, таких як штучний інтелект, Інтернет речей, блокчейн і 3D-друк. Чи призведуть вони до структурних зрушень в економічній системі, або їхній вплив обмежуватиметься лише підвищенням ефективності окремих виробничих процесів? Відповіді на ці питання допоможуть визначити доцільність і пріоритетність стимулювання розвитку технологій Індустрії 4.0.

Проблематика цифрової трансформації економіки, зокрема в контексті впливу технологій Індустрії 4.0 на виробничі системи, є одним із пріоритетних напрямів наукових досліджень, що здійснюються в Інституті економіки про-

Цитування: Сердюк О. С. Трансформація економічної системи під впливом технологій Індустрії 4.0. *Економіка промисловості*. 2025. № 3 (111). С. 40—58. <https://doi.org/10.15407/econindustry.2025.03.040>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2025. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

мисловості НАН України. Значну увагу питанням інституційного та організаційно-економічного забезпечення модернізації промисловості приділяє академік НАН України О. Амоша, який обґрунтовує необхідність формування сприятливого інноваційного середовища для впровадження цифрових технологій у виробництво (Амоша, 2013). О. Вишневський досліджує тенденції цифрової модернізації економіки України, зокрема розвиток цифрових платформ як чинників забезпечення проривного промислового зростання (Вишневський, 2021). Н. Брюховецька аналізує можливості адаптації зарубіжного досвіду впровадження технологій Індустрії 4.0 до умов вітчизняних промислових підприємств, приділяючи увагу бар'ерам автоматизації, перспективам інтелектуалізації та роботизації виробничих процесів (Брюховецька, 2020). Вагомий внесок у дослідження цифрових трансформацій здійснює також В. Ляшенко, який у співавторстві з О. Вишневським у монографії «Цифрова модернізація економіки України як можливість проривного розвитку» розглядає структуру цифрових платформ, роль інформаційно-комунікаційних технологій і платформної економіки у формуванні валового внутрішнього продукту, а також інституційні передумови їх інтеграції в капіталомісткі галузі (Ляшенко, 2018).

Результати попередніх досліджень механізмів впливу технологій на економіку є контроверсійними за своєю суттю. Послідовники класичної, неокласичної та кейнсіанської шкіл розглядають цей чинник переважно як прикладну причину розвитку економіки. Натомість шупетеріанці, на чолі із засновником цієї школи Й. Шумпетером (Шумпетер, 2011), вважали нові технології головним рушієм економічного прогресу. Важливим у даному контексті є аналіз соціально-економічних механізмів поширення технологій, які зрештою визначають масштаби їхнього впливу. На цьому наголошують послідовники неінституціональної школи економіки. З ними погоджуються представники поведінкової школи, серед яких лауреат Нобелівської премії Р. Талер (Талер, 2023), який наголошує на важливості психологічної мотивації при прийнятті економічних рішень.

Як свідчить досвід, у результаті сприятливого збігу інституційних та господарських чинників у певні історичні періоди в окремих кра-

їнах відбувалося стрімке зростання економіки, зумовлене масовим застосуванням нових виробничих технологій. Дослідниця у сфері технологій та соціально-економічного розвитку К. Перес позначила це явище терміном «технологічна революція» (Perez, 2002). Особливість її підходу полягає у визначенні так званих «проривних» технологій, які стимулюють розвиток супутніх інновацій. Їхнє сукупне впровадження спричиняє зміни в структурних елементах виробничої системи, створюючи сприятливі умови для економічного зростання. Засновник Всесвітнього економічного форуму в Давосі К. Шваб класифікує вплив технологій на економіку за ознакою системних змін, які вони викликають. Він виокремлює комплекс більш-менш рівнозначних інновацій, які, на його думку, призводять до виникнення «промислових революцій».

Як зазначає К. Шваб, сьогодні ми перебуваємо на етапі четвертої промислової революції, яка, зокрема, передбачає перехід промислового виробництва до моделі Індустрії 4.0. У роботах «Четверта промислова революція» (Schwab, 2017) та «Технології четвертої промислової революції» (Schwab, 2018) він приділяє основну увагу виробничим і соціальним наслідкам цього процесу. Однак питання структурних змін економічної системи, зумовлених впливом технологій Індустрії 4.0, залишаються недостатньо розкритими. Це підкреслює доцільність подальших досліджень у даному напрямі.

Отже, невирішена наукова проблема полягає у відсутності комплексного теоретико-методологічного обґрунтування механізмів структурної трансформації економічної системи під впливом технологій Індустрії 4.0 з урахуванням інституційних чинників, що визначають характер, глибину та наслідки цих змін.

Мета статті полягає в теоретичному узагальненні та ідентифікації закономірностей впливу технологій Індустрії 4.0 на господарські процеси, а також у прогнозуванні напрямів і наслідків трансформації структурних елементів економічної системи в умовах їх широкомасштабного впровадження.

Теоретичні аспекти трансформації економічної системи під впливом виробничих технологій

У рамках більшості економічних теорій технології розглядаються переважно через призму

їхнього впливу на витрати виробництва (класична, неокласична, кейнсіанська), через що економічна значимість технологій зводиться до рівня звичайних чинників виробництва (праця, земля, капітал), які в комплексі впливають на ефективність виробничих процесів. Проте окремі економічні школи дотримуються точки зору, згідно з якою вплив технологій на економіку може бути значно ширшим за локальне зниження витрат виробництва. Зокрема, послідовники шумпетеріанської школи визначають технології рушійною силою економічного розвитку. На думку Й. Шумпетера, нові технології здатні порушувати рівновагу в структурі виробничо-споживчих відносин, унаслідок чого створюються сприятливі умови для зростання економіки (Шумпетер, 2011).

Ключова ідея Шумпетера та його послідовників полягає в тому, що за відсутності технологічного прогресу економіка перебуває в статичному стані, досягаючи межі свого розвитку. Для такого стану характерні стабільний рівень сукупного попиту та пропозиції, усталеність відносин між економічними агентами, відсутність зростання добробуту суспільства. Однак із появою технологій, які в безпосередній або опосередкований спосіб охоплюють значний сегмент економіки, з'являється потенціал для розширення меж виробництва та споживання, а отже, зростання економіки. Наприклад, широке застосування парового двигуна в Британії XVIII ст. для відкачування води з шахт зумовило збільшення обсягів виробництва металів та палива (вугілля), що своєю чергою здешевило процес виробництва та експлуатації таких двигунів. Як наслідок, «дешеві» парові двигуни почали застосовувати на фабриках і в транспортній галузі (паровози, пароплави), що в комплексі привело до стрімкого зростання економіки.

Незважаючи на аргументовану позицію шумпетеріанців щодо фундаментального значення інновацій (у тому числі технологій), лише факту їх наявності та окремих випадків застосування недостатньо для ініціації процесів зростання економіки. Навіть у випадку, коли використання нової технології обіцяє великі вигоди виробникам і суспільству, її поширення може стримуватись існуючими інститутами. Цей аспект проблеми детально досліджується послідовниками інституціональної та неоінституціональної економічних шкіл (Furubotn, Richter, 1997).

На думку інституціоналістів, ключова перешкода на шляху широкого впровадження інновацій полягає в тому, що еліти, які де-факто контролюють формальні інститути в державі (податкову систему, правила торгівлі, фінансову регуляцію тощо), не зацікавлені в порушенні балансу системи розподілення ренти, до якого може призвести широке впровадження нових технологій, оскільки наявність потенційної можливості здешевлення виробництва або створення нового товару, який витіснить із ринку існуючий (з якого мають ренти еліти), може, по-перше, змінити розстановку сил усередині самої еліти; по-друге, надати політичної сили стороннім акторам. Іншим, пороте дещо менш значимим з точки зору інституціоналістів, є чинник впливу неформальних інститутів на поширення інновацій. Цей аспект проблеми проявляється в тому, що суспільство неохоче приймає інновації, оскільки воно схильне віддавати перевагу перевіреним технологіям виробництва, опрацьованим формам організації бізнесу, звичним для себе товарам тощо.

Висвітлена інституціоналістами проблема має об'єктивний характер, оскільки, як свідчить історичний досвід, навіть проривні технології можуть залишатися поза господарськими процесами впродовж тривалого часу через несприятливе інституційне середовище. Так, відомі винаходи Герона Александрійського, зокрема парова турбіна (еоліпіл), не знайшли практичного застосування протягом понад півтори тисячі років, оскільки тогочасні соціальні та інституційні умови не сприяли їхній інтеграції в економіку. Аналогічна ситуація спостерігалась із паровим двигуном: винайдений у 1674 р., він був уперше використаний у промисловості лише у 1712 р., на фабриках — у 1780-х роках, а як транспортна технологія (у вигляді паровоза) почав використовуватись лише з 1804 р. Затримка у впровадженні пояснюється як недостатньою зацікавленістю з боку впливового класу землевласників, так і опором частини суспільства, для якої нова технологія несла загрозу втрати зайнятості (наприклад рух лудитів).

Відповідно до положень інституціональної теорії вплив вищезазначених чинників на майбутнє інновацій не є визначальним, оскільки за правильної конфігурації інститутів у суспільства та еліт буде менше важелів впливу на

підприємців-інноваторів. Для цього інститути мають забезпечувати: захист прав власності; верховенство права; неупереджене правосуддя; прозорість та підзвітність державних органів; захист інтелектуальної власності; економічну свободу. При дотриманні державою зазначених принципів підприємець стає більш захищеним від зовнішніх впливів, оскільки інститути гарантують захист його майна та ресурсів, виконання контрактів і безперешкодний вихід на ринок. Проте навіть за таких умов залишається актуальним стримуючий чинник у вигляді інвестиційних ризиків, оскільки інноваційна виробнича технологія на практиці може виявитися неефективною, а новий продукт може не отримати своїх споживачів. Вирішення цієї проблеми шумпетеріанці покладають на підприємців-інноваторів, які, керуючись бажаннями реалізації власних творчих ідей, досягнення соціального визнання та отримання психологічної переваги над конкурентами, беруть на себе ризики, пов'язані з інноваціями. У цьому аспекті варто відзначити нематеріальні стимули, на яких наголошують послідовники шумпетеріанської школи, адже для економічної науки вони є нетиповими та контроверсійними. Одними з небагатьох однодумців шумпетеріанців у цьому питанні є послідовники поведінкової школи, які в діях економічних агентів вбачають суто індивідуальні психологічні мотиви. На їхню думку, дії агентів лише частково націлені на матеріальний результат і часто бувають ірраціональними (Талер, 2023). Позиція поведінкових економістів суперечить фундаментальним постулатам економічної теорії (класичної, неокласичної, кейнсіанської, австрійської, неоінституціональної), однак, як показує практика, має раціональну основу.

Отже, відповідно до положень шумпетеріанської теорії, підкріплених позицією послідовників поведінкової школи економіки, підприємець-інноватор є ключовим актором, що ініціює процес зростання економіки. Однак ступінь його впливу визначається потенціалом технологій, які він впроваджує, оскільки результати впровадження більшості інноваційних технологій мають адитивний ефект (локальне підвищення ефективності виробничих процесів), тоді як для створення економічного імпульсу ефект має бути мультиплікативним. Ідейна послідовниця шумпетеріанської школи К. Перес

виокремлює п'ять груп таких технологій, що спричинили технологічні революції, в результаті яких виникли нові техніко-економічні парадигми (табл. 1), під якими авторка розуміє «моделі найкращої ділової практики, що складаються із всеосяжних загальних технологічних та організаційних принципів, які відображають найбільш ефективні способи втілення певних технологічних революцій в життя і те, як слід користуватися революцією для пожвавлення та модернізації економіки» (Perez, 2002).

Слід зауважити, що наведена К. Перес класифікація є дещо спрощеною, оскільки вона не враховує супутнього впливу на процеси розвитку господарства інших, супутніх технологій, за рахунок яких де-факто було забезпечено мультиплікативний ефект від використання ключових (проривних) технологій. Так, наприклад, існування технології двигуна внутрішнього згоряння навряд чи спричинило появу нової галузі автомобілебудування, якби не було розроблено конструкцію автомобіля, яка забезпечувала ефективне використання цієї силової установки. Однак, незважаючи на спрощення, К. Перес все ж визначає важливу для дослідження закономірність, що полягає в існуванні технологій, які чинять непропорційно великий вплив на економічну систему. У контексті прикладу з двигуном внутрішнього згоряння принцип впливу проривних технологій можна обґрунтувати в такий спосіб: навіть за відсутності конструкції, яка б забезпечувала ефективне використання двигуна внутрішнього згоряння на автомобілі, маловитратна технологія перетворення енергії нафти на механічну енергію (яку репрезентує двигун) із високою імовірністю знайшла б широке застосування в інших галузях, що спричинило б схожий вплив на економічну систему.

За результатами аналізу досвіду технологічних революцій встановлено, що механізм впливу проривних технологій на економічну систему має різновекторний характер. Тобто в кожному з розглянутих періодів технології створювали імпульс для стрімкого розвитку окремої галузі господарства, що в подальшому зумовлювало розвиток супутніх галузей (сировинної, паливної, транспортної та ін.). Такий мультиплікативний ефект спричиняв значні зрушення в суспільній системі розподілення благ (формальній та/або неформальній), що зрештою призводило

Таблиця 1. Технологічні революції та їхній вплив на економіку за класифікацією К. Перес

Технологічна революція	Нові технології	Нові галузі	Нова інфраструктура	Техніко-економічна парадигма
Перша (з 1771 р.) Промислова революція у Великобританії	Ковані машини	Механізована текстильна промисловість	Канали та водні шляхи	Фабричне виробництво, механізація, прив'язка транспорту до водних шляхів
Друга (з 1829 р.) Епоха пари та залізниць, яка поширилася з Великобританії на всю Європу	Паровий двигун	Виробництво парових двигунів, виробництво рухомого складу для залізниці	Залізниця, газопроводи	Промислові центри з транспортною мережею, стандартизовані деталі
Третя (з 1875 р.) Епоха сталі, електроенергії та важкої промисловості, яка розпочалась у США та Німеччині	Бесемерівська сталь, промислове виробництво електроенергії	Електроенергетична, приладобудування, хімічна	Великі мости та тунелі, телефон і телеграф, електричні мережі	Вертикальна інтеграція, глобальна стандартизація, наука на службі бізнесу
Четверта (з 1908 р.) Епоха нафти, автомобілів і масового виробництва, яка розпочалась у США	Двигун внутрішнього згорання, масове виробництво	Автомобілебудування, виробництво рухомої техніки та літаків	Швидкісні автомобільні магістралі, аеропорти, нафтопроводи, електрифіковані залізниці	Горизонтальна інтеграція, масове виробництво, інтенсивне використання енергетичних ресурсів
П'ята (з 1971 р.) Епоха інформації та телекомунікацій, яка розпочалась у США	Персональний комп'ютер	Виробництво мікроелектроніки, розроблення програмного забезпечення	Інтернет	Децентралізована інтеграція, глобалізація, знання стає капіталом (невидима додана вартість)

Джерело: складено за (Perez, 2002).

до трансформації економічної системи. Різновекторний характер впливу в цьому випадку визначається унікальною структурою ланцюга підприємств, через які ефект від технологій поширюється на економічну систему.

За часів першої технологічної революції на вершині виробничого ланцюга перебували підпрорадили проривну технологію кованих машин. Це стало каталізатором значних змін в економіці та суспільстві. По-перше, зросла потреба в продукції гірничодобувних підприємств, плавильних і ковальських мануфактур, які забезпечували виробництво компонентів для кованих машин. По-друге, збільшився попит на працю інженерів і чорнових робітників, які будували канали для постачання води до текстильних фабрик (адже машини працюва-

ли завдяки кінетичній енергії потоку води). По-третє, розвивалися транспортні послуги, оскільки виникла необхідність швидшої доставки сировини та готової продукції до місць призначення. Унаслідок цих змін економіка зазнала значної трансформації. З одного боку, зростали ціни на продукцію та послуги в значених суміжних галузях, з іншого — текстильна продукція стала значно доступнішою для населення завдяки масовому виробництву. Це дало змогу виробникам текстилю накопичувати капітал, а споживачам — отримувати якісні товари за нижчими цінами. У результаті економічну вигоду отримали, як мінімум, три групи суспільства: виробники текстильної продукції, її споживачі та виробники товарів і послуг для виробничого ланцюга.

Важливим аспектом є те, що саме виробники супутніх текстильній промисловості товарів і послуг, стали ключовими акторами другої технологічної революції. Зростаючий попит, що обіцяв великі прибутки, мотивував їх збільшувати масштаби своєї діяльності, у тому числі за рахунок упровадження нових технологій. Найбільш ефективним інструментом досягнення цієї мети став паровий двигун, який служив для підприємців феноменально дешевим для того часу джерелом енергії. Його широке застосування сприяло зменшенню собівартості та збільшенню обсягів виробництва продукції в добувній, металургійній та машинобудівній галузях. Зрештою невдовзі й самі текстильні підприємства почали використовувати парові двигуни замість коліс, що приводились у рух потоком води. Разом із цим технологія парового двигуна спричинила революцію у транспортній сфері. Перші паровози були здатні перевозити вантажі в незрівнянно більшому обсязі та із суттєво нижчими витратами, ніж тяглові повозки. Це, по-перше, сприяло покращенню виробничої логістики; по-друге, впливало на зниження вартості товарів на ринку (за рахунок скорочення транспортних витрат). Наслідками другої технологічної революції стали: розвиток промислового виробництва; насичення ринку більш дешевими товарами; зростання зайнятості населення; зростання доходів промисловців.

Накопичений у руках промисловців капітал надавав їм можливість впливати на державну політику через фінансування реформ, політичних рухів і підтримку законодавчих ініціатив. Така активність підприємців суперечила інтересам привілейованого класу землевласників, що ставало причиною військового (революції) або політичного (плюралізація політичного устрою) протистояння цих двох впливових груп, у результаті якого стара еліта найчастіше втрачала свій колишній політичний вплив. Так, наприклад, унаслідок революції, яка відбулася в Австрійській імперії в 1848 р., було ліквідовано феодальні привілеї землевласників, через що вони втратили окремі важелі впливу на господарство. Разом із цим громадянська війна в США 1861—1865 рр. найкращим чином демонструє інституційну закономірність протистояння політичних груп, що формувалися навколо двох фундаментально різних джерел ренти: промисло-

вої Півночі (Федерації) та плантаційного Півдня (Конфедерації).

Часто політичне послаблення землевласників відбувалося без порушення формальної суспільної угоди — шляхом внесення правомірних змін до законодавства. Так, наприклад, у 1846 р. Британський парламент скасував «Хлібні закони», які обмежували імпорту зерна в країну. Унаслідок цього землевласники були позбавлені надприбутків, що змістило баланс політичних сил на користь буржуазії (промисловців).

Посилення політичного впливу промисловців у США та країнах Західної Європи в середині XIX ст., разом із підвищенням попиту на матеріали та енергоресурси, необхідні для промислового виробництва, сприяли новому етапу масового впровадження інновацій. Так, у 1850-х роках у Великобританії почали масово застосовувати технологію бесемерівської виплавки сталі, що дозволяла значно знизити собівартість і прискорити виробництво сталі, одночасно покращивши її якість. Це, у свою чергу, сприяло здешевленню виробництва паровозів, парових двигунів, промислового устаткування та об'єктів транспортної інфраструктури, таких як мости та тунелі. У комплексі зазначені чинники створили позитивний синергетичний ефект для економіки, що полягав у збільшенні масштабів промислового виробництва за рахунок здешевлення технічних і логістичних компонентів.

Із збільшенням масштабів промислового виробництва перед підприємцями постала важлива проблема забезпечення стабільного доступу до сировини та контролю її якості. У результаті цього виникли вертикально інтегровані компанії, які здійснювали повний цикл виробництва — від видобутку сировини до збуту готової продукції. Концентрація масштабованого економічного ресурсу в руках однієї особи або групи підприємців надавала їм додаткових важелів впливу на ринок. У багатьох випадках це призводило до монополізації певних галузей, унаслідок чого посилювався вплив промисловців на політику. Це підтверджується, зокрема, збільшенням кількості лобістських рухів у США та країнах Західної Європи наприкінці XIX ст.

Активне промислове лобі сприяло створенню інституційних умов для розвитку індивідуального підприємництва. Важливу роль у цьому

також відіграли доступність матеріальних ресурсів (зокрема дешевого металу та палива) та наявність розвинутої інфраструктури (доріг, залізниць, каналів і портів). Завдяки зазначеним чинникам активізувалася діяльність малих підприємців-інноваторів. У 1886 р. німецький інженер К. Бенц запатентував перший у світі автомобіль із двигуном внутрішнього згоряння і започаткував його серійне виробництво, що стало революційним кроком у транспортній індустрії. Згодом його приклад наслідували зарубіжні колеги. Зокрема, у 1908 р. американський інженер Г. Форд започаткував масове виробництво автомобілів у Детройті, а ще через п'ять років він першим застосував на своїх заводах технологію конвеєра, за рахунок якої було зменшено час виробництва одного автомобіля з 12 до 1,5 год., що зробило його доступним для широких верств населення. У подальшому технологія конвеєрного виробництва знайшла широке застосування в інших галузях промисловості, у той час як розвиток автомобільної техніки сприяв появі нових видів виробництва, таких як тракторо-, літако- та тепловозобудування.

Важливим інституціональним аспектом Четвертої технологічної революції стала поява тенденції до активного використання позикового капіталу у виробництві. К. Бенц, Г. Форд та багато інших видатних підприємців того часу більшою мірою використовували залучені фінансові ресурси, доступ до яких їм забезпечував розвинутий ринок позикового капіталу. Існування такого ринку відкривало широкі можливості для приватної ініціативи, а відтак створювались сприятливі умови для впровадження інновацій на рівні індивідуальних підприємців. Ці процеси та наслідки дії нової кон'юнктури не залишилися поза увагою наукової спільноти. У 1911 р. Шумпетер опублікував фундаментальну працю під назвою «Теорія економічного розвитку» (Schumpeter, 1980), у якій він визначив підприємців-інноваторів рушійною силою економічного прогресу.

Приклади успішної діяльності малих підприємств-інноваторів у першій половині ХХ ст. сприяли формуванню в США культури винахідництва та заохочення приватної ініціативи. Важливу роль у підтримці цієї культури відігравали державні інститути, які стимулювали підприємницьку діяльність, забезпечуючи за-

хист прав на інтелектуальну та фізичну власність, неупереджене правосуддя та дотримання принципу верховенства права. Значну роль відігравали також освітні програми, гранти та стипендії, які сприяли розвитку людського капіталу. У другій половині ХХ ст. ці чинники, разом із технологічним прогресом, стали підставою для розвитку ринку персональних комп'ютерів, на чолі якого були такі новатори, як С. Джобс, С. Возняк, Б. Гейтс та П. Аллен.

Конкуренція на ринку сприяла підвищенню обчислювальної спроможності комп'ютерів і здешевленню виробництва їх компонентів — мікроелектроніки, що створювало передумови для масового поширення цієї техніки серед промислових і побутових споживачів. Комп'ютеризація підприємств дала змогу знизити трансакційні витрати виробництва, що походили від витрат, пов'язаних із прийняттям виробничих рішень, таких як визначення логістичних маршрутів, управління запасами тощо. Ефект посилювався з появою інтернету, за допомогою якого комп'ютеризовані процеси оптимізації рішень було екстрапольовано на міжвиробничий рівень.

Слід відзначити, що п'ята технологічна революція справила унікальний вплив на економіку, оскільки разом із появою нової продукції та розвитком нових ринків (що було типовим для попередніх революцій) вона зумовила виникнення нематеріального (віртуального) чинника зростання економіки. Цей чинник, у вигляді обчислюваних можливостей, створуваних комп'ютерними технологіями, дозволив підприємцям суттєво знизити витрати на обслуговування виробництва (трансакційні витрати), що стимулювало їх до інвестиційної активності. Із того часу в середовищі підприємців акцент у питанні набуття фінансової вигоди почав поступово зміщуватись від матеріальних (розроблення нового фізичного продукту, покращення якості матеріалів, удосконалення технології виробництва тощо) до цифрових інструментів (розроблення програмного забезпечення, цифровізація виробничих та організаційних процесів тощо).

У класифікації К. Шваба період переходу до цифрових систем виробництва позначено терміном «Третя промислова революція». На відміну від К. Переса, яка класифікує революції за технологіями, що спричинили синергетичний

ефект в економіці, Шваб визначає революції за системними змінами, що відбулись у моделях виробництва (табл. 2). Технології в класифікації Шваба є передусім джерелом системної трансформації виробництва, яка зумовлює зростання економіки.

У своїй класифікації К. Шваб не виділяє якихось окремих, проривних технологій промислової революції. На його думку, системні зміни відбуваються під впливом комплексу взаємопов'язаних технологій. Так, наприклад, існування концепції програмного забезпечення обумовило появу персональних комп'ютерів, які, у свою чергу, уможливили існування інтернету. Однак у характеристиці Третьої промислової революції вони представлені разом, як системоутворюючі. Це свідчить про те, що Шваб акцентує увагу саме на комплексному технологічному впливі.

У рамках концепції Четвертої промислової революції, яка, на думку Шваба, розпочалася на початку XXI ст., він виокремлює комплекс технологій, що мають спричинити злиття цифрових, біологічних і фізичних систем. Серед них важливу роль відіграють технології автоматизації виробничих процесів та оптимізації виробничих зв'язків, принцип сукупної дії яких позначено терміном «Індустрія 4.0»¹.

Вплив технологій Індустрії 4.0 на економічну систему

Серед технологій Четвертої промислової революції напряму Індустрії 4.0 відповідають штучний інтелект, Інтернет речей, 3D-друк і блокчейн. Кожна з них впливає на окремі аспекти виробничої діяльності та разом із тим на економічну систему загалом. Ефект збільшується від сукупного використання цих технологій, які у виробничій сфері посилюють одна одну, а в соціальній — змінюють окремі механізми суспільних відносин.

Найбільший ефект у виробничій та соціальній сферах спричиняє штучний інтелект (ШІ),

¹ Це поняття вперше було використано у 2011 р. у Німеччині для позначення процесів автоматизації промислового виробництва, передбачених національною стратегією. У подальшому К. Шваб застосував його для позначення одного з ключових напрямів Четвертої промислової революції, що охоплює інтеграцію автоматизації, кіберфізичних систем, штучного інтелекту та Інтернету речей у промислові процеси.

що являє собою цифрову технологію виконання складних і різнопланових завдань, які традиційно потребують людського інтелекту. Відповідно до теорії, що ґрунтується на результатах міждисциплінарних досліджень у сфері когнітивних наук, математиці, комп'ютерних технологій, нейробіології та філософії, ШІ поділяється на три рівні:

- низький (Narrow AI) — системи, які спеціалізуються на вирішенні конкретних завдань і здатні виконувати лише одну або обмежену кількість функцій;
- загальний (General AI) — гіпотетична система, яка має здатність виконувати будь-які притаманні людині інтелектуальні завдання. Ця система здатна до навчання, міркування, адаптації до нових ситуацій та вирішення проблем у різних сферах;
- суперінтелект (Superintelligence) — гіпотетична система, яка перевищує людський інтелект у всіх аспектах.

На сьогодні існує лише перший рівень ШІ, проте навіть його обмеженого функціоналу виявилось достатньо, щоб ініціювати фундаментальні зміни в моделях виробництва та соціальних відносин. Для визначення структури та оцінювання масштабів цих змін доцільно дослідити сфери застосування ШІ та надати оцінку локальним наслідкам.

Передусім слід приділити увагу загальнопромисловому аспекту застосування ШІ, тобто функціоналу, який, з певними відхиленнями, може стосуватися більшості видів промислових підприємств. Найефективнішими у цьому сенсі є технології автоматизації виробничих процесів із використанням робототехніки, керованої ШІ. Цей функціонал дає змогу здійснювати цілодобове безперервне виробництво, мінімізуючи участь працівників, задіяних у рутинній праці. Додатковою перевагою є те, що алгоритми ШІ ефективно виконують завдання контролю якості продукції та здатні оптимізувати виробничі процеси, зменшуючи кількість помилок. Таким чином, за рахунок економії ручної праці знижуються операційні витрати підприємства, у той час як раціональне використання матеріалів і ресурсів сприяє зниженню виробничих витрат.

Іншим ефективним загальнопромисловим функціоналом ШІ є планування та управління ресурсами. Принцип його дії полягає в тому, що

Таблиця 2. Промислові революції за класифікацією Клауса Шваба

Промислова революція	Характеристики	Системні зміни	Технології
Перша (кінець XVIII—XIX ст.)	Виникнення механізації; використання парових двигунів; розвиток текстильної промисловості, металургії та залізничного транспорту	Перехід від ручної праці до механізованого виробництва	Паровий двигун, механічний верстат, паровоз, пароплав, доменна піч
Друга (кінець XIX— початок XX ст.)	Електрифікація виробництва; масове виробництво; розвиток хімічної, автомобільної та електротехнічної галузі	Використання електроенергії та впровадження масштабного виробництва	Електроенергія, конвеєр, двигун внутрішнього згоряння, добрива, телефон
Третя (середина XX ст.)	Використання електроніки та комп'ютерів; автоматизація виробництва; розвиток інформаційних технологій	Перехід до цифрових систем і автоматизації	Комп'ютери, інтернет, програмне забезпечення, спутниковий зв'язок
Четверта (з початку XXI ст.)	Використання робототехніки; розвиток біотехнологій, квантових обчислень та 3D друку	Злиття цифрових, біологічних і фізичних систем	Штучний інтелект, Інтернет речей, 3D-друк, блокчейн, квантові комп'ютери, біотехнології

Джерело: складено за (Schwab, 2018).

алгоритми ІІІ на основі аналізу ретроспективних і поточних даних розраховують оптимальні рішення для організації ланцюгів постачання, управління запасами, планування виробничих процесів і роботи персоналу. Це дозволяє мінімізувати транзакційні витрати, що походять від витрат пошуку партнерів, контролю запасів і координації виробничих процесів. У результаті знижується загальна собівартість виробництва, що позитивно позначається на рентабельності підприємства.

Також важливою функцією ІІІ з точки зору економії є оптимізація споживання електроенергії. Цей ефект досягається за допомогою аналізу даних про енергоспоживання на кожному етапі виробничого процесу: від запуску обладнання до виготовлення продукції. За результатами аналізу алгоритми можуть визначати пікові навантаження, знижувати втрати енергії та знаходити способи раціонального використання обладнання. Наприклад, ІІІ може оптимізувати час роботи машин для уникнення перевантаження мережі або перерозподіляти завдання, щоб зменшити споживання енергії в пікові години. Використання такого функціоналу сприяє значному зниженню енергетичних витрат і підвищенню загальної ефективності виробництва.

У контексті секторальних покращень доцільно виокремити такі функції ІІІ: виробниц-

тво нової продукції в галузі машинобудування — безпілотних транспортних засобів; оптимізація хімічних реакцій за допомогою моделювання при виробництві продукції хімічної промисловості; контроль якості металів через ІІІ-системи аналізу зображень у металургії; оптимізація роботи енергетичного обладнання та управління «розумними» мережами в енергетиці; персоналізація продукції (дизайн за запитом клієнтів) в текстильній промисловості; розроблення нових ліків через аналіз даних про хвороби у фармацевтиці; планування проєктів і використання роботів для у будівельній галузі. Усі ці секторальні аспекти доповнюють загальні (універсальні) переваги застосування ІІІ, роблячи його ефективним інструментом підвищення якості виробництва та його рентабельності.

Попри очевидні технічні переваги, економічна доцільність застосування ІІІ у виробництві є не завжди обґрунтованою. Висока вартість обладнання і тривалий період його окупності можуть змусити підприємців схилитися до людської праці, особливо в країнах із низькою її вартістю. У заможних країнах у довгостроковій перспективі також можуть виникати проблеми із застосуванням ІІІ. На основі положень економічної теорії можна спрогнозувати, що в початковий період висока вартість праці в цих

країнах стимулюватиме підприємців відмовлятися від людської праці на користь ШІ. Однак після масового звільнення некваліфікованих працівників вартість їхньої праці на ринку знизиться, що зробить автоматизацію на основі ШІ менш привабливою для інвесторів (оскільки знову більш вигідним буде повернення до людської праці).

Для підтримки динаміки розвитку виробництва на основі ШІ уряди розвинутих країн можуть вжити певних заходів. Зокрема, запровадити прогресивне оподаткування для збільшення обсягу соціальних виплат, що знизить залежність незаможних верств населення від низькооплачуваної праці, а отже, сприятиме підвищенню вимог працівників до рівня зарплати. Крім того, уряди можуть інвестувати більше коштів у систему освіти, що потенційно зменшить кількість малокваліфікованої робочої сили, підвищуючи її вартість на ринку. Разом із цим у країні можуть бути запроваджені відповідні стандарти якості, безпеки та контролю на виробництві, що зробить виконання рутинних завдань некваліфікованою працею менш конкурентоспроможним порівняно з автоматизованими рішеннями ШІ.

Проте поточна вартість устаткування, що використовує ШІ, не є сталою. Вплив певних чинників уже спричинив його здешевлення, і даний процес, імовірно, триватиме надалі. Насамперед це зумовлено зменшенням вартості виробництва напівпровідників, що пояснюється законом Мура (Moore, 1960), згідно з яким кількість транзисторів на інтегральній схемі подвоюється приблизно кожні два роки, що забезпечує експоненціальне зростання продуктивності та зниження витрат на умовну одиницю обчислювальної потужності. І хоча у 2020-х роках ефект закону Мура дещо сповільнився, його дія забезпечується новими підходами, такими як упровадження 3D-чипів та оптимізація архітектури напівпровідників.

Ще одним важливим чинником, що може сприяти здешевленню устаткування для ШІ в майбутньому, є зростання конкуренції в цій галузі. Очікується, що зі збільшенням попиту на таке обладнання на ринок входять нові виробники, а вже існуючі компанії будуть змушені впроваджувати інновації, щоб зберегти свої позиції. Така кон'юнктура не лише сприятиме покращенню якості обладнання (напри-

клад, підвищенню продуктивності або енергоефективності), а й вплине на його вартість, оскільки збільшення пропозиції викликає зниження ціни.

Важливу роль також відіграють програмні чинники, які безпосередньо впливають на ефективність використання апаратного забезпечення ШІ, а отже, на його економічну ефективність. Інновації в алгоритмах ШІ, зокрема в галузі машинного та глибокого навчання, сприяють значній оптимізації обчислювальних процесів, що дозволяє знижувати вимоги до апаратних ресурсів. Нові алгоритми, краще адаптовані до специфічних завдань, можуть значною мірою скоротити потребу в потужних обчислювальних системах для виконання складних операцій, що, своєю чергою, зменшить не лише необхідність високопродуктивного устаткування, але і витрати на його розроблення й експлуатацію. Крім того, інтеграція програмного забезпечення для оптимізації обробки та доступу до даних дозволяє знизити навантаження на апаратну частину системи. У комплексі всі ці чинники забезпечують скорочення загальних витрат на утримання систем управління ШІ.

Якщо вплив вищенаведених чинників зниження вартості обладнання для ШІ підтвердиться, то вже найближчим часом можна очікувати на стрімке зростання частки виробництва, заснованого на технологіях штучного інтелекту. Це, насамперед, стосуватиметься країн із розвинутою економікою, де висока вартість праці, конкуренція у сфері інновацій та високі стандарти якості стимулюватимуть підприємців замінювати малокваліфіковану робочу силу (а в деяких випадках навіть висококваліфікованих фахівців) устаткуванням на базі технологій ШІ. За таких умов структура економіки залежатиме від внутрішньої політики уряду країни. Якщо уряд вирішить запровадити програми підтримки малозабезпечених верств населення коштом заможних громадян (у тому числі через систему прогресивного оподаткування), то ймовірно, що значна частка малокваліфікованих працівників, які втратили роботу через упровадження на підприємствах технологій ШІ, залишиться осторонь господарських процесів. Тобто вони житимуть за рахунок соціальних виплат, не здійснюючи внеску в розвиток економіки. Якщо уряд не надаватиме

преференцій малозабезпеченим верствам населення, то з високою імовірністю більшість із вивільнених працівників знайдуть роботу у сфері послуг, яка розвиватиметься з урахуванням загального зростання економіки, зумовленого впливом технологій ШІ на виробництво.

Із позиції загального економічного розвитку другий сценарій є більш перспективним. Конкуренція у сфері виробництва продукції із застосуванням технологій ШІ має сприяти збільшенню обсягів виробництва товарів суспільного вжитку, а отже, зниженню їхньої ціни. Це призведе до підвищення купівельної спроможності населення, яку частково буде переорієнтовано на придбання послуг. Як наслідок, зростатиме попит на послуги, що стимулюватиме приплив капіталу та залучення робочої сили до цієї сфери. У результаті економіка зростатиме, а громадяни матимуть доступ до широкого спектра товарів і послуг.

За наслідками впливу на економіку технологію ШІ можна класифікувати як проривну. Подібно до технологій, розглянутих К. Перес, ШІ має вже частково реалізований потенціал до структурних перетворень економічної системи. Сьогодні існують нові види виробництва (наприклад, безпілотні літальні апарати та автомобілі, домашні роботи, ШІ-системи) та форми організації праці (гібридні робочі місця, роботизовані виробничі лінії, автономні логістичні системи), які ще 20 років тому були невідомими. Крім того, створено нову інфраструктуру для розвитку та підтримки ШІ (дата-центри, хмарні обчислювальні платформи тощо). Усі ці ознаки свідчать про відповідність ШІ критеріям, які визначають технології, спроможні ініціювати технологічні революції, згідно з теорією К. Перес. Можна припустити, що якби авторка написала свою книгу сьогодні², то, ймовірно, сформувався б нове поняття — «Шоста технологічна революція».

Подібно до проривних технологій, представлених К. Перес, ШІ ініціює розвиток низки супутніх інновацій, які К. Шваб визначив «стовпами» Четвертої промислової революції. Насамперед це інтернет речей (IoT), який являє собою мережу підключених до інтернету фізичних пристроїв, здатних автоматично збирати, передавати та обмінюватися даними без

² Книга К. Перес «Технологічні революції та фінансовий капітал» була опублікована у 2002 р.

участі людини. Дані пристрої обладнані датчиками, програмним забезпеченням і модулями зв'язку, що дає їм змогу взаємодіяти як між собою, так і з іншими системами через інтернет. Функції ШІ в рамках IoT полягають в обробці даних у реальному часі з метою виявлення закономірностей, на основі яких у подальшому приймаються виробничі рішення. Також ШІ реалізує алгоритми, які забезпечують автоматичне прийняття таких рішень.

Інтернет речей, керований ШІ (інтелектуальний Інтернет речей), є однією з ключових технологій «розумної» фабрики (Smart Factory). Ця концепція передбачає створення повністю інтегрованого, автоматизованого та самонавчального середовища, яке забезпечує високу продуктивність й ефективність виробничих процесів. Досягається такий результат за рахунок зчитування з виробничих пристроїв великих масивів даних та їхньої подальшої обробки, на основі якої алгоритми ШІ приймають оптимальні виробничі рішення та імплементують їх у фізичному середовищі. Працівники на «розумних» фабриках здійснюють налаштування систем, контроль якості робіт і час від часу приймають складні стратегічні рішення.

Одним із прикладів «розумної» фабрики є підприємство Siemens у німецькому Амберзі, що спеціалізується на виробництві електроніки. Воно використовує передові роботизовані системи виробництва, які управляються ШІ за допомогою інфраструктури IoT. Близько 75 % всіх процесів на фабриці автоматизовано, що забезпечує значну економію ресурсів і підвищення продуктивності. За аналогічним принципом працюють німецькі заводи BMW, які використовують ШІ та інфраструктуру IoT для автоматизації складання автомобілів.

Також слід відзначити секторальні аспекти застосування IoT, а саме: в аграрній промисловості — для моніторингу вологості та температури ґрунтів; в енергетиці — для збору інформації про споживання електроенергії, на основі якої оптимізується її розподіл; у металургії — для виявлення дефектів у печах, прокатних станах та іншому обладнанні; в хімічній промисловості — для відстеження параметрів виробництва, таких як температура, тиск і концентрація речовин тощо.

Проте глобальний вплив IoT на економіку не обмежується лише сферою ефективного ви-

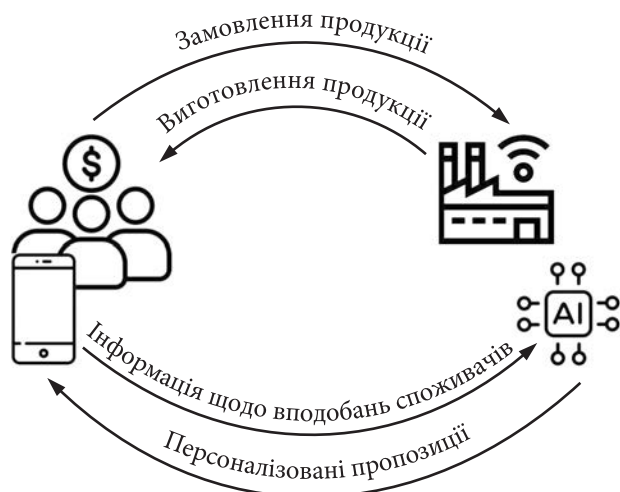


Рис. 1. Принцип формування попиту та пропозиції під впливом технологій Інтернету речей
Джерело: розроблено автором.

робництва. Комунікаційні можливості, які створює ця технологія, зумовлюють трансформацію моделі відносин між виробниками та споживачами на ринку. Забезпечуючи зв'язок між фізичними пристроями (виробничим устаткуванням), цифровими платформами (торговельними майданчиками) та споживачами, IoT надає можливість виробникам збирати в реальному часі дані щодо продажу продукції, аналізувати їх та на основі цього оперативно адаптувати виробничі процеси до мінливого попиту. Разом із цим IoT допомагає виробникам «грати на випередження», надаючи можливість аналізувати вподобання споживачів (такі як історія відвіданих сторінок в інтернеті або перегляд конкретних товарів), що дає змогу створювати персоналізовані продукти та пропозиції.

Економічний ефект від збору інформації за допомогою IoT посилюється, якщо ці дані надходять на «розумні» фабрики. На таких підприємствах III аналізує отримані дані та підлаштовує виробничі процеси під актуальний попит (рис. 1). Це дозволяє уникати перевиробництва, мінімізувати відходи й оптимізувати витрати.

Принцип попиту та пропозиції, що формується під впливом IoT, обумовлює перехід економічної системи до моделі так званої «витягаючої економіки». Вона базується на задоволенні реального попиту з боку споживачів через максимально швидке і точне реагування на запити ринку. На сьогодні більшість сегментів ринку діють за традиційною моделлю «виштовхуваль-

ної економіки», коли продукти виробляються з урахуванням прогнозів попиту. Натомість у рамках «витягаючої економіки» виробництво товару розпочинається лише тоді, коли на нього було пред'явлено реальний запит з боку конкретного споживача. Для такої моделі не характерні проблеми перевиробництва та надмірного складування ресурсів.

Однак, на думку окремих науковців, «витягаюча економіка», заснована на сигналах попиту та пропозиції, що передаються за допомогою інфраструктури IoT, загрожує асиметричним перерозподілом суспільного ресурсу на користь суб'єктів, які збирають цифрову інформацію. Професорка Гарвардської школи бізнесу Ш. Зубофф охарактеризувала це явище як «наглядний капіталізм» (Zuboff, 2019). Його сутність полягає в зборі, аналізі та монетизації особистих даних користувачів цифрового контенту без їхньої усвідомленої на те згоди. Ці дані служать для розроблення моделей прогнозування та впливу на поведінку людей, перетворюючи їхні дії та емоції на товар. Створена таким чином система спричиняє асиметрію знань і влади між технологічними корпораціями та суспільством, порушуючи приватність і свободу. У контексті цього явища Ш. Зубофф критикує корпорації, такі як Google та Facebook, за їхню практику монетизації даних шляхом створення персоналізованої реклами та прогнозування поведінки споживачів. Це, на її думку, дозволяє технологічним компаніям впливати на суспільну поведінку для отримання прибутку.

Попри обґрунтованість проблеми «наглядного капіталізму», зумовленої використанням інтелектуального Інтернету речей, у самій парадигмі Індустрії 4.0 закладено потенціал до її часткового вирішення. Ідеться про механізми захисту даних за допомогою технології блокчейн, яка забезпечує децентралізоване зберігання даних у вигляді послідовних і незмінних записів у реєстрі (блоках), з'єднаних у хронологічному порядку. За допомогою блокчейну споживачі зможуть взаємодіяти з виробниками безпосередньо, знижуючи залученість сторонніх інтернет-сервісів (браузерів, централізованих цифрових платформ), що зменшуватиме ризики збору інформації третіми особами. Більше того, у рамках нової моделі комунікації виробники отримуватимуть доступ лише до

інформації, необхідної для виконання поточних замовлень, за рахунок чого обмежуватимуться можливості збору додаткових даних про споживачів. У результаті вторинні дані стануть менш доступними для бізнесу, що звужуватиме простір для їх монетизації.

Посилення захисту даних економічних агентів є лише однією з переваг, які надає блокчейн. Окрім цього, технологія може сприяти зниженню транзакційних витрат, пов'язаних із веденням бухгалтерського обліку, аудитом, перевіркою контрагентів, здійсненням платежів тощо (Тепскотт, 2019). Механізм цього зниження полягає у використанні розподілених реєстрів як джерела достовірної інформації, змінити яку стороннім особам надзвичайно складно. Такою інформацією можуть бути записи щодо здійснених платежів, зобов'язань економічних агентів, руху товарів тощо. Після запису в блокчейні відповідні дані залишаються незмінними, а отже, знижується потреба в повторній перевірці їхньої автентичності. Це сприяє економії часу та ресурсів економічних агентів, що зменшує транзакційні витрати їхньої діяльності. Наприклад, записуючи до блокчейну інформацію щодо переказу коштів за відвантаженого товару, сторони угоди не потребуватимуть залучення третьої сторони (банку) для фактичної реалізації такого переказу. Натомість криптовалюта зі значно нижчими транзакційними витратами³ перераховуватиметься на рахунок продавця, що зробить угоду більш економічно ефективною для обох сторін.

Вдале поєднання технології блокчейн із фундаментальними програмними рішеннями відкриває можливості для ще більшого зниження транзакційних витрат економічної діяльності. У цьому контексті смарт-контракти являють собою частину блокчейн-екосистеми, що автоматично виконує умови угоди між сторонами без залучення посередників. Принцип їхньої роботи полягає в тому, що умови контракту у вигляді коду записуються в блокчейн, де вони стають незмінними. Після цього система очікує сигналу про виконання однієї частини угоди і після його отримання автоматично виконує іншу. Наприклад, уклавши угоду про постачання сировини, підприємець перераховує

³ Комісії за переказ криптовалют є значно нижчими за комісії переказу фіатних валют у традиційних банках.

необхідну суму коштів або цифрових активів у смарт-контракт, де вони резервуються. Після підтвердження доставки продукції система автоматично переводить кошти на рахунок постачальника, що усуває потребу в додаткових перевірках і залученні посередників.

Аналіз потенціалу блокчейну свідчить, що, на відміну від інших технологій Індустрії 4.0, які впливають на економічну систему через оптимізацію виробничих процесів і спрощення комунікації, блокчейн передусім трансформує інститути. При цьому трансформація відбувається знизу — під тиском об'єктивних економічних реалій. Тобто економічні агенти знаходять для себе нові, більш ефективні механізми захисту особистої інформації, забезпечення умов контрактів і матеріальних розрахунків, а уряди, своєю чергою, постфактум реагують на такі зміни. Реакція регуляторних органів може мати різні прояви — від адаптації законодавства до нових форм взаємодії економічних агентів або до прямої заборони альтернативних неформальних інститутів, сформованих навколо технологічних можливостей, створених блокчейном.

Незважаючи на те що інститути, які формуються під впливом блокчейну, мають очевидні вигоди у вигляді низьких транзакційних витрат економічної діяльності, не можна з впевненістю очікувати, що уряди вживатимуть заходів для їхньої легалізації. У цьому випадку все залежить від багатьох чинників, зокрема від кон'юнктури політичних відносин, плюралізму політичної системи, структури фінансових потоків та рівня їхньої концентрації в руках окремих суб'єктів впливу. Наприклад, у державі, де правляча партія або президент фінансується групою осіб, які отримують ренту з банківського бізнесу, навряд чи можна очікувати легалізації розрахунків у криптовалюті. Натомість у державах із менш концентрованими фінансовими потоками та конкурентною політичною системою з високою імовірністю ухвалюватимуться закони, які формалізуватимуть ефективні інститути. Таким чином, правляча партія або президент намагатиметься здобути прихильність виборців, щоб подовжити термін свого перебування при владі.

Аналогічними мотивами можуть керуватися агенти політичного впливу, стримуючи або, навпаки, стимулюючи впровадження інших

технологій Індустрії 4.0. Зокрема, у контексті порушення усталеної моделі господарських відносин варто відзначити вплив 3D-друку на структуру розподілу ренти. Ця технологія дозволяє створювати тривимірні об'єкти шляхом пошарового нанесення матеріалу на основі цифрової моделі. На відміну від традиційних методів виробництва, таких як лиття або фрезерування, 3D-друк дозволяє виготовляти складні деталі без використання дорогих прес-форм і зайвих матеріальних витрат. Основні етапи виробництва за допомогою 3D-друку включають:

1. Створення 3D-моделі — об'єкт спершу моделюється у спеціальних програмах (наприклад, AutoCAD, Blender, SolidWorks).

2. Розрізання моделі на шари — програма для 3D-друку (наприклад, Cura, PrusaSlicer) поділяє модель на окремі шари для подальшого друку.

3. Пошаровий друк — принтер послідовно накладає матеріал, поки не сформується готовий об'єкт.

Таким чином, виробництво відбувається без використання традиційного громіздкого устаткування, деталей і запчастин, що позбавляє заробітку виробників цих компонентів. Зокрема, це стосується виробників продукції для авіаційної, автомобільної, будівельної, текстильної, харчової та ювелірної галузей. Також втрати загрожують підприємствам, які продовжать використовувати традиційні методи виробництва на противагу 3D-друку.

У випадку, коли агенти політичного впливу отримують ренту від галузей господарства, які можуть зазнати збитків унаслідок поширення технології 3D-друку, можна очікувати від них протидії цим нововведенням. Наприклад, вони можуть лобіювати запровадження високих імпорتنих мит на 3D-принтери або їхні комплектуючі, офіційно мотивуючи це необхідністю захисту вітчизняних виробників. І навпаки, якщо агенти впливу зацікавлені в розвитку сфер виробництва, що одержать вигоди від 3D-друку, вони сприятимуть запровадженню цієї технології.

Із суто економічної точки зору, технологія 3D-друку скорочує ланцюг створення вартості продукції, водночас не зменшуючи її цінності та якості. Цей аспект впливає на прискорення темпів виробництва та зменшення собівартості продукції, що робить її більш доступною для спожи-

вачів. Крім того, 3D-друк дозволяє оптимізувати використання ресурсів, знижуючи рівень відходів порівняно з традиційними методами виробництва, що дає змогу зменшити витрати сировини й екологічне навантаження на довкілля.

Як колись конвеєрне виробництво витіснило ручне складання, започаткувавши епоху споживання, так і 3D-друк у взаємодії з технологіями ШІ та інтелектуального Інтернету речей може фундаментально трансформувати сучасні виробничі процеси, розпочавши епоху кастомізованого споживання.

Концепція кастомізованого споживання являє собою системний підхід до адаптації товарів і послуг до індивідуальних потреб і вподобань споживачів. Вона передбачає активне залучення покупців до створення продукту, що дає змогу привести його у відповідність до очікувань споживачів. Із позиції виробничо-споживчих зв'язків кастомізоване споживання є логічним продовженням принципів «витягуючої економіки» й ефективно реалізується в умовах «розумних» фабрик. За таких умов виробничі процеси стають більш гнучкими, автоматизованими й орієнтованими на персоналізований попит, а технологічні рішення, такі як цифрові двійники, штучний інтелект та аналіз великих даних, забезпечують оперативне налаштування виробничих потужностей під динамічні споживчі вподобання.

Отже, у результаті дослідження механізмів впливу технологій Індустрії 4.0 на господарські процеси встановлено, що за умови широкого впровадження ці технології можуть суттєво змінити структуру економічної системи, впливаючи на її ключові характеристики: що виробляти, як виробляти та для кого виробляти. Потенційним рушієм змін у даному випадку є функціонал швидкого та майже безвартатного обміну даних, керованого штучним інтелектом. Так, інтеграція ШІ з технологією 3D-друку дозволяє передавати дані про властивості продукції до 3D-принтера, який автоматично та з мінімальними витратами обслуговування здійснює виробничий процес. Швидкість передачі даних і виробнича універсальність 3D-принтера відкривають нові можливості для виготовлення персоналізованої продукції, що стимулює перехід економічної системи до кастомізованого виробництва (рис. 2). Симбіоз цих чинників сприяє автономізації та локалізації виробничих про-

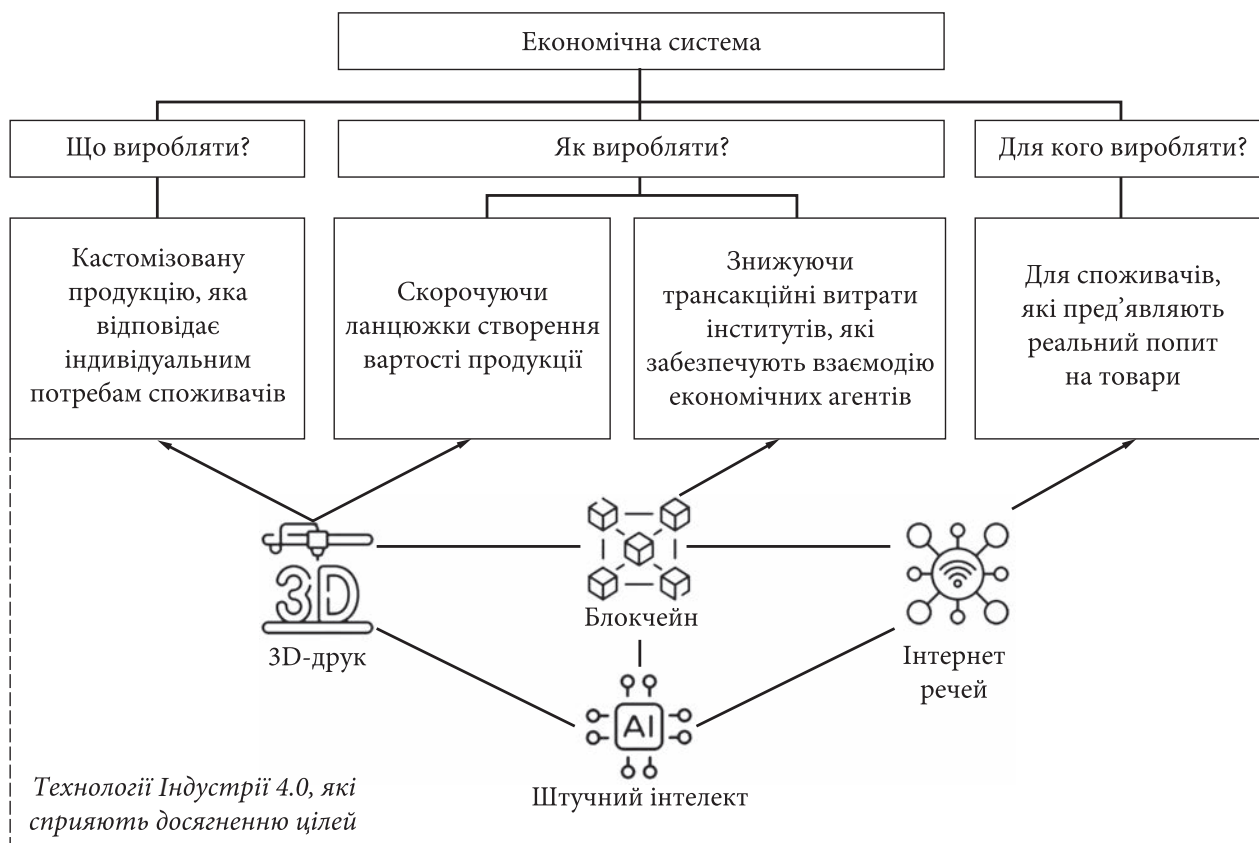


Рис. 2. Структура впливу технологій Індустрії 4.0 на економічну систему
 Джерело: розроблено автором.

цесів, що впливає на скорочення ланцюга створення вартості продукції.

Децентралізоване збереження криптографічно захищених і незмінних даних за допомогою блокчейну уможлиблює зниження трансакційних витрат інститутів, які забезпечують взаємодію економічних агентів. Зокрема, впровадження на державному рівні цифрової системи реєстрації бізнесу на основі блокчейну дозволить знизити бюрократичні бар'єри, забезпечити прозорість процедур і завдяки автоматизації обробки даних значно прискорити процес реєстрації. Успішним прикладом застосування такої системи є естонська програма e-Residency, яка надає можливість нерезидентам країни реєструвати бізнес, підписувати документи та управляти компанією онлайн ⁴. При цьому програма не надає податкового резидентства або права на проживання в Естонії.

У контексті зниження трансакційних витрат інститутів, які забезпечують взаємодію при-

ватних підприємців, ефективними є цифрові сервіси смарт-контрактів, розроблені на основі блокчейну. Вони сприяють зменшенню витрат, пов'язаних із: перевіркою виконання умов угоди; потребою в залученні посередників; управлінням ризиками; веденням документообігу; здійсненням комунікації. Забезпечується цей ефект за рахунок прозорості та незмінності даних, представлених у блокчейні, що посилює довіру між сторонами. Наприклад, у сфері логістики смарт-контракти можуть автоматично відстежувати виконання умов перевезення вантажів. Усі ключові етапи, такі як підтвердження завантаження, доставки чи оплати, фіксуються в блокчейні, що виключає потребу в ручному внесенні даних і дозволяє уникнути шахрайства. Це суттєво зменшує витрати на координацію між постачальниками, перевізниками та клієнтами. У фінансовому секторі смарт-контракти забезпечують автоматичне виконання кредитних угод. Зокрема, якщо позичальник своєчасно сплачує відсотки, то смарт-контракт це миттєво фіксує та передає відпо-

⁴ Republica of Estonia e-Residency (2025). Your digital ID. <https://www.e-resident.gov.ee> (accessed: 10.02.2025).

відну частину коштів кредитору, виключаючи таким чином витрати на посередників (банківські установи) та мінімізуючи ризик людських помилок.

Ефективність смарт-контрактів підтверджується успішним досвідом їхнього використання великими компаніями. Наприклад, датська транспортна компанія Maersk у співпраці з IBM застосовує смарт-контракти через платформу TradeLens для управління контейнерними перевезеннями⁵. Австралійська енергетична компанія Power Ledger використовує смарт-контракти для купівлі та продажу сонячної енергії в децентралізованих виробників-споживачів⁶.

У рамках Четвертої промислової революції, яка супроводжується технологічними зрушеннями у сфері цифровізації, саме потоки даних визначають модель трансформації економічної системи. Особливу роль у цих змінах відіграють механізми збору, обробки та обміну даними. Використання застарілих інтернет-протоколів для обслуговування технологій Індустрії 4.0, таких як блокчейн і 3D-друк, може значно обмежити економічний ефект від їх застосування. Зокрема, у контексті блокчейну це призведе до незначного зниження трансакційних витрат, оскільки економічні агенти будуть змушені самостійно перевіряти умови контрактів й оновлювати бази даних. Тоді, як у випадку 3D-друку, відсутність інтегрованих каналів зв'язку між замовниками, проєктувальниками та виробниками значною мірою знизить потенціал даної технології. Інтернет речей дозволяє вирішити цю проблему, створюючи технологічні можливості для автоматизованого обміну даними між пристроями та їх обробки в реальному часі. Наприклад, встановлені на транспортних засобах IoT-сенсори можуть надсилати до блокчейн-системи інформацію про успішну доставку товару, на основі якої смарт-контракт автоматично перераховуватиме кошти на рахунок транспортної компанії. Аналогічно, у випадку 3D-друку сенсори виробничого моніторингу можуть передавати інформацію

про необхідність виготовлення додаткових деталей до 3D-принтера, який автоматично здійснюватиме їх виробництво.

Слід також відзначити роль Інтернету речей як самодостатньої системоутворюючої технології. Забезпечуючи в реальному часі комунікацію між виробниками та споживачами продукції, він сприяє адаптації ринку до реальних потреб споживачів. Відбувається це шляхом динамічної оптимізації діяльності підприємств на основі одержаної інформації щодо актуальних замовлень на продукцію, вподобань споживачів, залишків товарів і матеріалів на складах тощо. Відтак виробники знижують ризики перевиробництва, а споживачі отримують бажану (не нав'язану ринком) продукцію, що є ознакою «витягаючої» економіки.

Висновки

У контексті наслідків впливу на економічну систему виробничі технології можна розділити на дві основні групи: «ініціюючі» та «допоміжні». Дія перших зумовлює радикальні зміни структурних елементів виробничої системи, що приводить до створення сприятливих господарських умов для економічного зростання. Так, свого часу технологія парового двигуна змінила підходи до отримання механічної енергії, зробивши цей процес більш економічно ефективним, що вплинуло на зменшення собівартості товарів, при виробництві яких використовувався даний тип енергії. Допоміжні технології лише підвищують ефективність окремих виробничих процесів, проте їхній вплив на загальну виробничу систему є обмеженим.

Оскільки ініціюючі технології, як правило, мають взаємозалежний характер, їх також можна розділити на дві групи: «проривні» та «супутні». Проривними визначено технології, які, разом із потужним впливом на структурні елементи виробничої системи, зумовлюють розвиток інших — супутніх технологій, які цей вплив значно посилюють. Так, наприклад, поява персональних комп'ютерів не лише спростила доступ підприємців до обчислювальних потужностей, а й зумовила розвиток супутніх інновацій, таких як інтернет та програмне забезпечення. У сукупності ці технології зменшили трансакційні витрати, пов'язані з обслуговуванням виробництва, та витрати на залучення громадян до економічних процесів.

⁵ TradeLens: Building a world of paperless trade (2025). *Tradelens*. <https://www.tradelens.com> (accessed: 11.02.2025).

⁶ Blockchain and decentralization. (2025). *Powerledger*. <https://powerledger.io/blockchain-technology> (accessed: 10.02.2025).

На сучасному етапі Четвертої промислової революції, зокрема на стадії переходу до моделі виробництва Індустрії 4.0, проривною стала технологія штучного інтелекту. Саме вона, з одного боку, радикально зменшує виробничі витрати, а з іншого — посилює дію супутніх технологій, таких як Інтернет речей, 3D-друк і блокчейн. Кожна з них, як окремо, так і в комплексі, сприяє змінам усталених структурних елементів економічної системи. 3D-друк, у поєднанні з інфраструктурою Інтернету речей та обчислювальними можливостями штучного інтелекту, спрощує виробництво кастомізованої продукції. Це змінює структурний елемент економічної системи, пов'язаний із визначен-

ням асортименту продукції, тобто вирішенням питання «що виробляти?». Крім того, 3D-друк уможливує скорочення ланцюга створення вартості продукції, що позначається на методах виробництва, які визначають «як виробляти?». На цей структурний елемент системи також впливає технологія блокчейну, що забезпечує можливості для зниження трансакційних витрат інститутів регулювання відносин між економічними агентами. Структурний елемент «для кого виробляти?» змінюється під впливом технології Інтернету речей, яка дозволяє виробникам збирати й аналізувати інформацію про споживачів, забезпечуючи адаптацію виробництва до їхніх індивідуальних потреб.

ЛІТЕРАТУРА

Амоша О. І., Герасимчук З. В., Кузьмін О. Є. *Інноваційний розвиток промисловості України* : стратегічні орієнтири. Донецьк : ІЕП НАН України, 2013. 276 с.

Брюховецька Н. Ю., Черних О. В. Індустрія 4.0 та цифровізація економіки: можливості використання зарубіжного досвіду на промислових підприємствах України. *Економіка промисловості*. 2020. № 2 (90). С. 116—132. <https://doi.org/10.15407/econindustry2020.02.116>

Вишневський О. С. *Цифрова платформізація процесу стратегування розвитку національної економіки* : монографія / НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2021. 449 с. URL: <https://iie.org.ua/monografiyi/cifrova-platformizacija-procesu-strateguvannja-rozvitku-nacionalnoi-ekonomiki/>

Ляшенко В. І., Вишневський О. С. *Цифрова модернізація економіки України як можливість проривного розвитку*. Полтава : ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», 2018. 251 с.

Норт Д., Волліс Д., Вайнгест Б. *Насильство та суспільні порядки. Основні чинники, які вплинули на хід історії*. Київ : Наш Формат, 2017. 352 с.

Талер Р. *Поведінкова економіка. Чому люди діють ірраціонально і як отримати з цього вигоду*. Київ : Наш Формат, 2023. 464 с.

Тепскотт Д., Тепскотт А. *Блокчейн революція. Як технологія, що лежить в основі біткойна та інших криптовалют, змінює світ*. Львів : ЛІТОПИС, 2019. 487 с.

Шумпетер Й. *Теорія економічного розвитку. Дослідження прибутків, капіталу, кредиту, відсотка та економічного циклу*. Київ : Києво-Могилянська академія, 2011. 244 с.

Eggertsson T. *Imperfect Institutions : Possibilities And Limits Of Reform*. Ann Arbor : University of Michigan Press, 2015. 275 p.

Furubotn G. Different Approaches to the Economic Analysis of Institutions: Some Concluding Remarks. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*. 1990. Vol. 146. No. 1. P. 226—232.

Furubotn E., Richter R. *Institutions and Economic Theory*. Ann Arbor : University of Michigan Press, 1997. 542 p.

Moore G. Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*. 1965. Vol. 38. P. 33—35.

North D. *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*. Cambridge : Cambridge University Press, 1990. 152 p.

Perez C. *Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Northampton : Edward Elgar Publishing, 2002. 231 p.

Schumpeter J. *Theory of Economic Development*. Oxfordshire : Routledge, 1980. 320 p.

Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. New-York : Penguin, 2017. 192 p.

Schwab K. *Shaping the Future of the Fourth Industrial Revolution*. New-York : Penguin, 2018. 351 p.

Zuboff Sh. *The Age of Surveillance Capitalism : The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. New York : PublicAffairs, 2019. 704 p.

Надійшла до редакції 04.06.2025 р.

Прийнята до друку 26.06.2025 р.

REFERENCES

Amosha, O. I., Herasymchuk, Z. V., & Kuzmin, O. Ie. (2013). *Innovative development of Ukrainian industry: strategic guidelines*. Donetsk: Institute of Industrial Economics of the National Academy of Sciences of Ukraine [in Ukrainian].

- Briukhovetska, N. Yu., & Chernykh, O. V. (2020). Industry 4.0 and digitalization of the economy: opportunities for using foreign experience at industrial enterprises in Ukraine. *Econ. promisl.*, 2 (90), 116—132. <https://doi.org/10.15407/econindustry2020.02.116> [in Ukrainian].
- Vyshnevskiy, O. S. (2021). *Digital platformization of the process of strategizing the development of the national economy*. Kyiv: Institute of Industrial Economics of the National Academy of Sciences of Ukraine. <https://iie.org.ua/monografii/cifrova-platformizacija-procesu-strateguvannja-rozvitku-nacionalnoi-ekonomiki/> [in Ukrainian].
- Liashenko, V. I., & Vyshnevskiy, O. S. (2018). *Digital modernization of the Ukrainian economy as an opportunity for breakthrough development*. Poltava: Ukoopspilka Higher Educational Institution «Poltava University of Economics and Trade» [in Ukrainian].
- North, D., Wallis, D., & Weingest, B. (2017). *Violence and social order. The main factors that influenced the course of history*. Kyiv: Nash Format [in Ukrainian].
- Thaler, R. (2023). *Behavioral Economics. Why people act irrationally and how to benefit from it*. Kyiv: Nash Format [in Ukrainian].
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2019). *Blockchain revolution. How the technology behind Bitcoin and other cryptocurrencies is changing the world*. Lviv: LITOPYS [in Ukrainian].
- Schumpeter, J. (2011). *Theory of economic development. A study of earnings, capital, credit, interest, and the business cycle*. Kyiv: Kyievo-Mohylianska akademiia [in Ukrainian].
- Eggertsson, T. (2005). *Imperfect Institutions: Possibilities And Limits Of Reform*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Furubotn, G. (1990). Different Approaches to the Economic Analysis of Institutions: Some Concluding Remarks. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 146 (1), 226—232.
- Furubotn, E., & Richter, R. (1997). *Institutions and Economic Theory*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Moore, G. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38, 33—35.
- North, D. (1990). *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Perez, C. (2002). *Technological Revolutions and Financial Capital. The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Northampton: Edward Elgar Publishing.
- Schumpeter, J. (1980). *Theory of Economic Development*. Oxfordshire: Routledge.
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. New-York: Penguin.
- Schwab, K. (2018). *Shaping the Future of the Fourth Industrial Revolution*. New-York: Penguin.
- Zuboff, Sh. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. New York: PublicAffairs.

Received: 04.06.2025

Accepted: 26.06.2025

Oleksandr S. Serdiuk, Doctor of Economic Science, Senior Researcher
E-mail: serdyuk_o@nas.gov.ua; <https://orcid.org/0000-0003-3049-3144>

Institute of Industrial Economics of NAS of Ukraine
2 Maria Kapnist Street, Kyiv, 03057, Ukraine

TRANSFORMATION OF THE ECONOMIC SYSTEM UNDER THE INFLUENCE OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES

Economic development is inextricably linked to the introduction of new technologies that improve production processes, resource management, and economic activity organization. However, the scale and nature of this impact vary significantly depending on the industry, region, and level of technological integration in production, leading to ambiguous consequences for the economy. Given this, the study of mechanisms through which new technologies affect production processes and the identification of patterns of economic system transformation under technological progress conditions is becoming increasingly relevant. In the modern context, it is essential to determine the economic consequences of the widespread adoption of Industry 4.0 technologies, such as artificial intelligence, the Internet of Things, blockchain, and 3D printing. Will these technologies lead to structural shifts in the economic system, or will their impact be limited to improving the efficiency of specific production processes? The answers to these questions will help assess the feasibility and prioritization of stimulating the development of Industry 4.0 technologies. Considering the importance of this issue, the article examines the impact of Industry 4.0 technologies on economic system transformation. The role of key technological innovations, including artificial intelligence, the Internet of Things, blockchain, and 3D printing, is analyzed concerning their influence on production process changes, resource optimization, and the formation of new economic relationships. The historical context of previous technological revolutions is reviewed, comparing their impact with modern changes driven by digitalization and automation. Theoretical approaches to understanding the diffusion of technology and its influence on economic growth are substantiated, drawing on the concepts of Joseph Schumpeter, Carlota Perez, and Klaus Schwab. Particular attention is paid to the socio-economic consequences of integrating intelligent technologies into production, particularly automation's impact on the labor market, changes in institutional regulatory mechanisms, challenges of "surveillance capitalism," and potential solutions. The paper also explores the prospects for the application of Industry 4.0

technologies across various economic sectors, including industry, energy, transportation, healthcare, and finance. Based on an analysis of current technological innovation trends, conclusions are drawn regarding potential scenarios for the transformation of the economic system in the near future. Key challenges and opportunities for government policy, business, and society in the context of technological development and structural economic changes are identified. *The aim of the article* is to identify patterns of technological impact on economic processes and to forecast their influence on the structural elements of the economic system in the context of the widespread adoption of Industry 4.0 production models. The study results indicate that at the current stage of the Fourth Industrial Revolution, particularly the transition to the Industry 4.0 production model, artificial intelligence should be considered a breakthrough technology. It radically reduces production costs while enhancing the effectiveness of complementary technologies such as the Internet of Things, 3D printing, and blockchain. Each of these technologies, both individually and collectively, contributes to changes in the established structural elements of the economic system. 3D printing, combined with the infrastructure of the Internet of Things and the computational capabilities of artificial intelligence, simplifies the production of customized goods, altering the structural element of the economic system related to product assortment decisions-essentially answering the question of “what to produce.” Additionally, 3D printing shortens the value chain of product creation, which in turn affects production methods, addressing “how to produce.” This structural element is also influenced by blockchain technology, which provides opportunities to reduce the transaction costs of regulatory institutions governing economic relations. Finally, the structural element of “for whom to produce” is transformed by the Internet of Things, enabling manufacturers to collect and analyze consumer data, ensuring production adapts to individual needs.

Keywords: economic system, Industry 4.0, artificial intelligence, Internet of Things, blockchain, 3D printing.