

DOI: <https://doi.org/10.32782/2521-666X/2023-83-2>
УДК 338.22.021.4

Мельник Л.Г.

доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економіки, підприємництва
та бізнес-адміністрування,
Сумський державний університет;
директор Науково-дослідного інституту економіки розвитку
МОН України та НАН України
у складі Сумського державного університету
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7824-0678>

Melnyk Leonid

Research Institute for Development Economics (IDE),
Sumy State University

ДРАЙВЕРИ І ІНСТРУМЕНТИ ФОРМУВАННЯ АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ¹

DRIVERS AND TOOLS FOR THE FORMATION OF AN ADDITIVE ECONOMY

Стаття аналізує фактори, які обумовлюють перехід до адитивної економіки. Пропонується три групи факторів: необхідності, достатності та цілеспрямованості. Остання група визначає напрям, за яким має змінюватися система. Зазначені фактори є драйверами (рушійними силами) трансформації й розвитку систем. Їх дія реалізується через зміну тріади системоутворювальних начал: матеріального (забезпечує силову функцію руху системи), інформаційного (формує спрямованість дії енергетичних імпульсів), синергетичного (забезпечує узгодженість дії окремих складових системи). Відповідно до зазначених трьох груп природних начал, можна розглядати три групи інструментів впливу на трансформаційні процеси: через зміну матеріальних активів, інформаційного алгоритму функціонування систем та корекцію синергетичних факторів (комунікацій, зв'язків, відносин). В статті аналізується еволюція факторів обумовленості започаткування промислових революцій. Особливий акцент робиться на аналізі драйверів, тобто факторів необхідності, достатності й цілеспрямованості сучасних промислових революцій. Показується, як хід Industry 3.0 обумовлює старт і реалізацію Industry 4.0, а та, в свою чергу, дає поштовх започаткування Industry 5.0.

Ключові слова: адитивна економіка, обумовленість, Industries 3.0, 4.0, 5.0, системоутворювальні начала, необхідність, достатність, цілеспрямованість.

The article analyzes the factors that determine the transition to the additive economy. Three groups of factors are proposed: necessity, sufficiency and purposefulness. The last group determines the direction in which the system should change. The specified factors are drivers (driving forces) of system transformation and development. Their action is implemented through the change of the triad of system-forming principles: material (ensures the power function of the movement of the system), informational (forms the direction of action of energy impulses), synergistic (ensures the coherence of the action of individual components of the system). According to these three groups of natural principles, three groups of tools for influencing transformational processes can be considered: through the change of material assets, the information algorithm of the functioning of systems and the correction of synergistic factors (communications, connections, relations). The article analyzes the evolution of factors determining the initiation of industrial revolutions. Particular emphasis is placed on the analysis of drivers, i.e. factors of necessity, sufficiency and purposefulness of modern industrial revolutions. It is shown how the course of Industry 3.0 determines the start and implementation of Industry 4.0, and that, in turn, gives impetus to the initiation of Industry 5.0.

Key words: additive economy, conditionality, Industries 3.0, 4.0, 5.0, system-forming principles, necessity, sufficiency, goal orientation.

Постановка проблеми. Сьогодні в ході трьох промислових революцій (Industries 3.0, 4.0, 5.0) відбувається перехід до нової соціально-економічної формації. Причиною цього явища є неможливість вирішення глобальних і локальних екологічних проблем в межах існуючих методів виробництва

необхідних для людства виробів та послуг. Ключові принципи зазначених методів побудовані на підході до взаємовідносин з природою, який умовно може бути названий *субтрактивним*. Він означає, що людина використовує корисно лише незначну частину речовин, яку вона вилучає з природи. За деякими

¹ Робота виконана в рамках НДР «Реструктуризація національної економіки в напрямі цифрових трансформацій для сталого розвитку» (№ 0122U001232) за підтримки Національного фонду досліджень України.

оцінками, ця частка не перебільшує 10%. Решта повертається в природу в вигляді відходів, а отже – в значно токсичнішому і шкідливішому для людини й природних екосистем стані. Саме такі принципи отримання енергії і матеріалів, необхідних для існування цивілізації, призвели сучасну глобальну екологічну кризу та масове руйнування локальних екологічних систем.

Зазначена проблема може бути вирішена переходом до принципово інших принципів використання природної речовини. Підхід, що побудований на таких принципах, умовно можна назвати *адитивним*. Він побудований на вилученні з природи кількості речовини, що наближена лише до тієї, яка використовується корисно. Основу адитивних методів виробництва складають відновлювані джерела енергії й переробка матеріалів за допомогою 3D-принтерів.

Зазначений перехід є складним соціально-економічним явищем, яке наразі відбувається у ході трьох промислових революцій: Industries 3.0, 4.0, 5.0. Кожна з них вирішує особливі завдання. Зокрема, Industry 3.0 спрямована на пошук і реалізацію дружніх природі засобів виробництва. Аналіз цих шляхів аналізується в роботах: Rifkin (2013), Rifkin (2015); Shahan (2020); Solar (2020); Global (2020); Additive (2017); Cockburn (2020); Shumilo et al., 2020. Industry 4.0 спрямована на тотальний перехід виробничих комплексів до кіберфізичних систем, які зможуть через автоматизовані системи забезпечити вирішення завдань Industry 3.0. Зазначені питання розглядаються в роботах: Schwab (2017); Schwab et al. (2018); Skinner (2018); Vollmer (2018); Harmoon (2018); Elder (2019); Zennaro (2017). Industry 5.0 спрямована на пошук місця людині в кібергізованому світі виробництва. Зазначені питання розглядаються в роботах: Østergaard (2019); Rada (2018); Rossi (2018).

Мета статті. Недослідженим аспектом зазначеної тематики є формування причинно-наслідкових зв'язків, що обумовлюють механізми (драйвери та інструменти) переходу до адитивної економіки. Саме ці питання й розглядаються в даній статті.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Фактори обумовленості переходу до адитивної економіки

Все, що існує в світі, є відкритими стаціонарними системами і частинами інших відкритих стаціонарних систем. Відкритість системи означає, що вона здатна обмінюватися з довкіллям матеріалами, енергією й інформацією. Стаціонарність означає здатність системи підтримувати гомеостаз, тобто стабільний вузький інтервал своїх параметрів.

Світ динамічний. Він весь час перебуває в русі. При цьому змінюються складові матеріальних систем, які й самі є системами.

Закономірністю будь-якого трансформаційного процесу є його обумовленість тріадою факторів впливу. Вони визначають: *необхідність* певних змін системи, *достатність* потенціалу системи для таких змін і цілеспрямування, тобто *напряму* (вектор), за яким має змінюватися система.

Відсутність першої групи факторів веде до стагнації системи, коли система перебуває у відносно стабільному стані (від добра добра не шукають). В такому стані система за допомогою механізмів негативного зворотного зв'язку підтримує існуючі параметри свого гомеостазу доти, доки зовні не зміняться оптимальні умови комфортного функціонування системи. В них вона має можливості функціонування в режимі максимальної ефективності.

Якщо умови функціонування системи змінюються, і їх параметри віддаляються від значень оптимальних для функціонування системи в попередньому режимі, виникає дві можливі ситуації. В першому випадку потенціалу системи й наявних ресурсів їй вистачає для перебудови й функціонування в нових умовах. Система за допомогою механізмів позитивного зворотного зв'язку змінює параметри свого гомеостазу, переводячи його на новий рівень. При цьому стан системи (наприклад, якоїсь спільноти) може поліпшитися, залишитися умовно на попередньому рівні або погіршитися (система деградує). Альтернативою зазначеного варіанту є припинення існування системи.

Таке виникає, коли система не здатна набути будь-який вигляд, який би давав їй можливість функціонувати в нових умовах. У цьому випадку можна говорити, що система не пройшла фазовий бар'єр.

Третя група факторів (цілеспрямування) обумовлює напрям зміни параметрів системи й її гомеостазу. Від цього залежить, якого вигляду може набути система після своєї перебудови. Зокрема, її стан може поліпшитися, погіршитися або залишитися відносно стабільним у порівнянні з попереднім станом. Від напряму розвитку системи залежить результативність використання її потенціалу та наявних ресурсів.

При виборі хибного напряму навіть при достатніх ресурсах стан системи може погіршитися через зниження ефективності її функціонування. В найгіршому варіанті система може припинити своє існування. Сказане стосується перш за все соціальних систем.

2. Триалектика системоутворювальних начал і інструментарію прогресу

В основі формування будь-якої системи лежать три природні начала:

– **матеріально-енергетичне** (або просто – матеріальне); воно рухає, дає можливість системі та її окремим частинам (підсистемам) пересуватися,

трансформуватися і виконувати роботу, а отже, змінюватися і розвиватися;

– **інформаційне** – *направляє*; воно забезпечує спрямованість руху в просторі і часі; завдяки цьому на початку формуються інформаційний алгоритм взаємодії між собою окремих частин системи і програма її розвитку в цілому;

– **синергетичне** – *об'єднує*; воно забезпечує об'єднання окремих частин системи в єдине ціле.

Проявляти себе природні начала можуть лише спільними зусиллями – взаємодіючи одне з одним. Скажімо, обов'язковою умовою цілеспрямованої дії енергетичного потенціалу є спрямовуючий (керуючий) вплив *інформаційного* начала. Без нього сила здатна продукувати лише «броунівський рух» – безсистемне шарахання об'єкта в різні боки. З іншого боку, спрямовувати і об'єднувати можна лише щось матеріальне, що має *енергетичний потенціал*.

І нарешті, хіба можуть матеріально-енергетичне та інформаційні начала бути реалізовані без *синергетичного* начала? Щоб система могла здійснити всередині або поза собою хоч якусь роботу, її окремі частини повинні діяти узгоджено, взаємодіючи одна з одною.

Проявляючи себе подібним чином, природні начала колись сформували і продовжують відтворювати різні види систем – системні сутності природи: елементарні частинки, атоми, молекули, клітини, організми, громадські організації (сім'ї, підприємства, країни). Із них складаються Всесвіт, природа нашої планети і людська цивілізація. Кожен такий вид систем, представлений безліччю окремих його одиниць. Скажімо, якщо ми говоримо про електрон, необхідно мати на увазі безліч цих частинок у Всесвіті. Якщо мова йде про якийсь біологічний вид, наприклад, жаб або комарів, то мають на увазі мільярди окремих біологічних особин на планеті.

Кожна така одиниця може існувати не інакше, як відтворюючи в собі три згаданих начала: *матеріально-енергетичне, інформаційне та синергетичне*.

На підставі зазначеного можна зробити висновок, що природа будь-якої із систем, які оточують нас (скажімо, молекули, рослини або підприємства), триалектична. З одного боку, це матеріальна сутність, з іншого – інформаційна програма, з третього – продукт узгодженої взаємодії інших систем (підсистем) природи.

Як *матеріальний об'єкт* система здатна накопичувати і витрачати енергію, виконуючи роботу.

Як *інформаційна програма* вона самоорганізується, сприймаючи і переробляючи інформацію зовнішнього середовища, відтворюючи свою власну; при цьому вона керує процесами свого формування, функціонування та розвитку.

Як *синергетичний феномен*, система формується в процесі взаємодії, а отже, взаємної підгонки і коригування, по-перше, параметрів її власних підсистем заради виконання загальносистемних функцій, а по-друге, поведінки цієї системи з іншими подібними її системами під умови їх надсистемного рівня.

І формувати, і руйнувати систему можна, впливаючи на кожну зі згаданих складових (начал), а також на весь триєдиний механізм відтворення системи в цілому. Зазначене можна проілюструвати на прикладі економічної системи.

Підприємство створюється за допомогою формування його головних засад:

– *матеріальної* основи (основного і оборотного капіталів); це забезпечує виконання силових функцій із виготовлення продукції;

– *інформаційної*; забезпечує дію алгоритмів (технологій), за якими підприємство здійснює свою виробничу і торговельну діяльність, а також керує ними;

– *синергетичної*; забезпечує реалізацію зв'язків усередині і поза межами підприємства;

інтеграційної, яка утворює цілісний потенціал відтворення трьох зазначених основ.

Підприємство буде деградувати, якщо процеси відбудуватимуться в зворотному напрямку: 1) спрацювання основного капіталу буде недоамортизовуватися, будуть зменшуватися обсяги оборотного капіталу та інтенсивність його обороту; 2) інформаційні алгоритми оперативної діяльності та управління на підприємстві будуть неадекватні поточній ситуації в часі і просторі; 3) погіршуватиметься взаємодія ланок на внутрішньо- і зовнішньогосподарських рівнях; 4) блокуватиметься самовідтворювальний механізм підприємства.

За мільйони років еволюції природа змогла досягти в кожному зі своїх творінь ідеальне поєднання природних начал. Технологічним системам, створеним людством, на жаль, поки далеко до такої досконалості. Однією з причин, яка чітко проявилася на «останніх стадіях» індустріального суспільства, є недосконалість саме *інформаційної та синергетичної* основ технічних і організаційних систем. Накопичений людством колосальний енергетичний потенціал виявляється практично надлишковим і непродуктивно розсіюється через надзвичайно низькі ККД технічних систем і жахливо високі втрати на «стиках» (у транзакціях) – між ланками економічної системи.

Логіка еволюції людства в його просуванні до інформаційного суспільства виявляє тенденцію вдосконалення саме зазначених «вузьких місць», тобто *інформаційного алгоритму* управління процесами виробництва і споживання продукції (зокрема систем прийняття рішень, постановки цілей, технологічного забезпечення, мотивації та ін.), а також

синергетичної основи (зокрема реалізації зв'язків, комунікацій, відносин тощо) функціонування економічних систем. Основні види інструментів переходу до адитивної економіки показані на рис. 1. При цьому слід пам'ятати про умовний характер представленого поділу на зазначені групи. Адже в кожному з показаних інструментів втілюються всі три згаданих системоутворювальних начала.

Ведучи мову про інструменти переходу до адитивної економіки, доцільно в кожній із груп виділити ті, які є найбільш значущими.

У групі *матеріальних* інструментів вирішальну роль відіграють: по-перше, засоби альтернативної енергетики, по-друге, знаряддя, які забезпечують реалізацію 3D принтингу.

У групі *інформаційних* інструментів найважливішу роль відіграють: масова цифровізація всіх сфер економічної системи й суспільного життя, штучний

інтелект, кібергізація виробничих процесів, а також формування Хмари як глобальної системи пам'яті й керівного центру управління процесами всепланетного метаболізму.

У групі синергетичних інструментів найбільш важливими слід визнати: мережевізацію економічних систем і суспільного життя, а також глобалізацію всепланетних систем життєзабезпечення цивілізації.

3. Об'єктивні передумови сучасного фазового переходу

Перехід людства до адитивної економіки має об'єктивний характер і обумовлений проблемами виживання цивілізації в умовах глобальної екологічної кризи. Не виникає сумнівів, що умовою існування людства на Землі є підтримання рівноважного стану складових біосфери планети. Стан суспільства, що дозволяє підтримувати в довготривалому

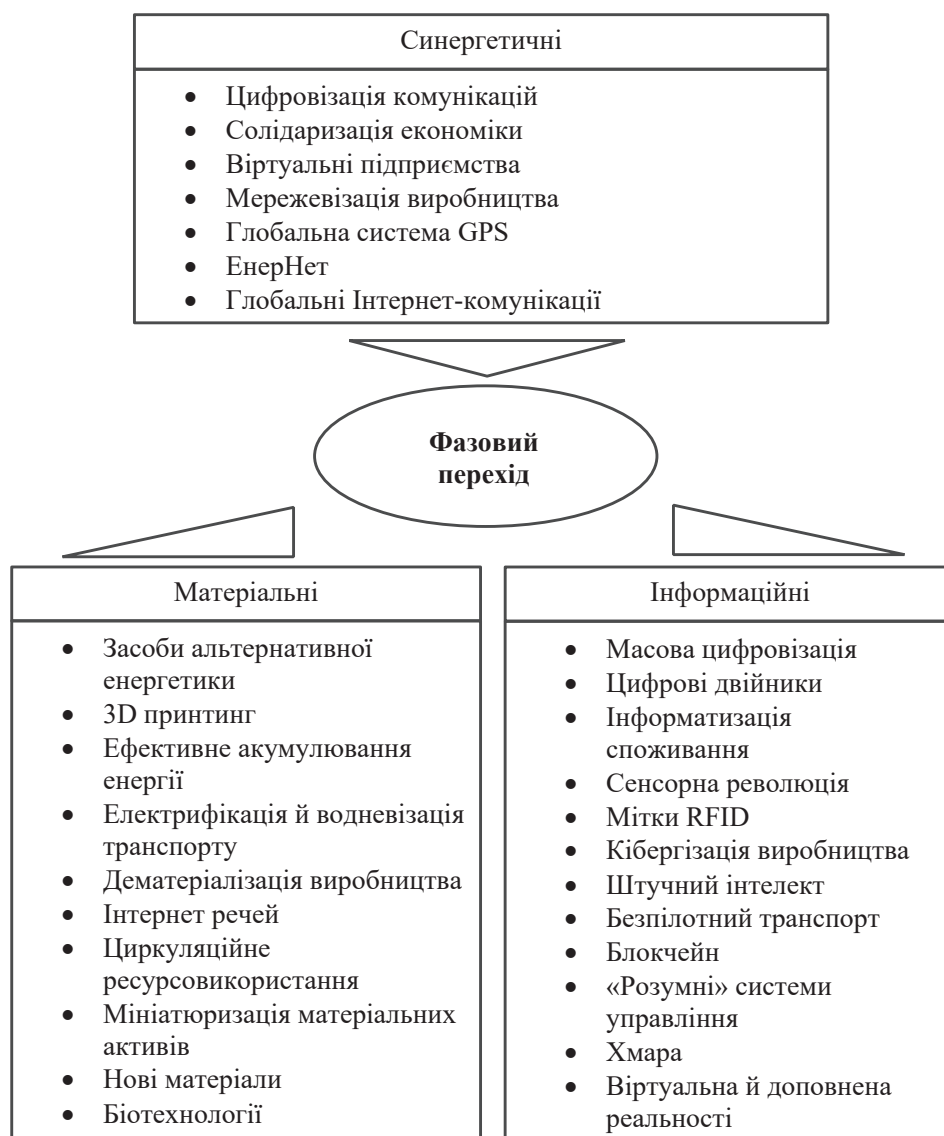


Рис. 1. Ключові інструменти переходу до адитивної економіки

періоді зазначений рівноважний стан екосистем, отримав назву *сестейновості*.

Сестейновість (sustainability) – це стан упорядкованості (rearrangement) технічних, наукових, екологічних, економічних і соціальних ресурсів, який досягається і постійно підтримується на основі дії зворотних зв'язків і за якого система здатна забезпечувати динамічну урівноваженість процесів свого метаболізму в часі і просторі [23].

Концепція сестейнового розвитку фактично передбачає підтримання сестейнового (динамічно рівноважного) стану триєдиного системного цілого, що містить три базові компоненти: людина (як біологічна істота) – природа – суспільство.

Це завдання надзвичайної складності. Адже мова йде про приведення до збалансованого стану рівнів гомеостазу (тобто відносно вузьких інтервалів зміни параметрів) трьох ключових взаємозв'язаних систем:

- організму людини (а фактично – мільярдів людей, що живуть на Землі);
- біосфери (а фактично – трильйонів особин, що утворюють екосистеми планети);
- економіки (а фактично – сотень мільйонів економічних суб'єктів, які забезпечують функціонування економічних систем світу).

Завдання це нескінченно складне ще й через динамізм зазначеної системної тріади. Будь-який її стан має відтворюватися заново щомоментно в кожній точці простору.

Щоб згадане триєдине системне ціле: «людина (у розумінні людської популяції) – біосфера – економіка» зберігало свою цілісність і стійкість, необхідно, щоб підтримувалася (точніше – самопідтримувалася) стійкість кожної із згаданих систем. Біологічна природа людини значною мірою обмежує умови середовища, у яких вона може фізично існувати, підтримуючи рівень свого гомеостазу. Будь-яке відхилення за межі допустимих порогів у той чи інший бік температури, тиску, сонячної радіації і сотень інших параметрів середовища, від яких залежать умови життя і діяльності людини, буде для неї фатальним. Але щоб підтримувати наявні на Землі природні умови (поки що придатні для життя людини), біосфера, зі свого боку, повинна зберігати свій самовідтворювальний потенціал і параметри свого гомеостазу, а отже, кількісний склад своїх екосистем і якісні характеристики процесів, що відбуваються в них.

Саме біосфера забезпечує умови існування для біологічної природи людини і розвитку її особистісної (соціальної) сутності. Вона також є середовищем для функціонування соціально-економічної системи (джерело ресурсів і середовище утилізації відходів).

А соціально-економічна система в кінцевому підсумку задовольняє ліву частку матеріальних та інформаційних потреб людини. Адже сучасна людина існує саме в індустріалізованому соціальному світі. Несуча здатність біосфери та її складових екосистем може без шкоди для себе «витримати» обмежену кількість населення планети, точніше – те екологічне навантаження, яке спричиняє виробнича система, що працює, щоб прогнати і створити умови життя для тієї кількості людей, які живуть на планеті.

Якщо не змінюється технологічний рівень виробництва, і залишається незмінним рівень питомого екологічного навантаження від обслуговування одного мешканця планети (останнє вимірюється, зокрема, показниками природоємності, матеріаломісткості, енергоємності, «екологічного сліду» та ін.), то будь-яке збільшення кількості населення автоматично посилює навантаження на природні системи Землі. Після того, як антропогенне навантаження переходить певну критичну межу, екосистеми, не витримуючи такого впливу і не встигаючи самовідтворюватися, починають руйнуватися. Це, до речі, ми й спостерігаємо зараз як на локальному, так і на глобальному рівнях.

Отже, якщо ми прагнемо зберегти несучу здатність біосфери та хочемо, щоб її екосистеми не втрачали основи своїх самовідтворювальних потенціалів, потрібно домагатися одного з двох:

- 1) або зупинити зростання населення планети, стабілізувавши його в межах, які здатна забезпечити життєвими ресурсами біосфера планети;
- 2) або навчитися так якісно трансформувати виробничий комплекс (а заодно і потреби населення), щоб питоме екологічне навантаження (у розрахунку на одного мешканця), яке діє на природу планети, знижувалося хоча б з такою самою швидкістю (краще – швидше), з якою зростає населення Землі.

Однак фізична стійкість зазначеної системи (людина – біосфера – економіка) – лише передумова того, що на Саміті в Ріо в 1992 році названо *сестейновим розвитком*. Бо цей розвиток передбачає не тільки фізичне виживання людської цивілізації, але і її неухильний соціальний прогрес. Без нього цивілізація може перетворитися на якусь подобу мурашника (за влучним висловом радянського філософа О. Зінов'єва, – «человеяника»), мешканці якого виживуть, законсервувавши природні умови свого помешкання (як це зробили мурахи у своїх мурашниках), а одночасно із цим й зупинивши рівень свого особистісного розвитку.

Парадоксом є те, що людина сама ж руйнує наявний гомеостаз біосфери. Відбувається це з двох причин: по-перше, через зростання населення планети (новим мешканцям потрібні нові природні блага, яких на Землі залишається незадіяними все менше),

по-друге, через якісну зміну потреб людей. У ході наукового прогресу з'являються нові форми впливу на довкілля. Перебудовуючи своє життя, людина змінює й природу.

Згідно з прогнозами [22], стабілізація населення (демографічний перехід) Землі може настати в межах 2050 року.

Констатуючи незаперечливий факт негативно-го, руйнівного впливу виробничого комплексу на природу, не можна не визнати до того ж значну стимулювальну роль цього явища для прогресивного розвитку людини. Уявімо собі, що людство постійно перебуває в гармонії із природою, не створюючи екологічних криз, не обумовлюючи виникнення відповідних суперечностей і необхідності їхнього розв'язання. Фактично це означатиме припинення розвитку людини і перетворення історії соціального розвитку в історію біологічного існування популяції людей.

Тому згубне з екологічного погляду зростання населення відіграє насправді важливу роль рушійної сили соціального прогресу. За умов стабілізації кількості населення Землі людству доведеться відшукувати інші форми мотиваторів для забезпечення свого прогресивного соціального розвитку.

Отже, іще раз зазначимо. В умовах, коли процеси впливу людини на природу досягли глобальних масштабів, у її арсеналі залишилося лише два можливі напрямки для збереження стійкості природних умов на планеті (а отже, й самої себе). Перший – обмежити зростання населення Землі. Другий – навчитися змінювати процеси суспільного виробництва і споживання продукції, зменшивши їхній негативний вплив на природу. Це можна зробити, лише різко знизивши природоємність (матеріаломісткість, енергоємність) систем життєзабезпечення людини; причому швидкість цього зниження повинна обганяти темпи зростання населення або хоча б їм відповідати [21].

З урахуванням причинно-наслідкових зв'язків можна виділити три рівні цілей: *генеральну мету* – збереження людини як біологічного виду і прогресивний особистісний розвиток людства; *забезпечувальні* цілі – збереження умов, у яких може існувати і розвиватися людство; *підтримувальні* цілі – збереження біосфери і локальних екосистем, які підтримують умови існування людства.

Ще раз підкреслимо, що генеральна мета має два рівні виміру, або розпадається на два рівні підцілей:

1) необхідний – фізичне виживання людини біологічної;

2) достатній – особистісний розвиток людини соціальної.

Обидва рівні надзвичайно важливі, хоча це не завжди відразу можна усвідомити.

Забезпечувальні цілі, на підставі вищезазначеного мають два рівні орієнтирів:

1) збереження в досить вузьких межах параметрів біосфери, у яких здатна існувати біологічна природа людини (тобто, у яких людський організм може підтримувати рівень свого гомеостазу); серед цих параметрів необхідно виділити ключові: характеристики клімату, фізичні параметри довкілля (температура, електромагнітні показники, космічні випромінювання та ін.), склад атмосфери та води, склад ґрунтів для виробництва продукції сільського господарства;

2) збереження цілісних природних ландшафтів, інформаційний контакт із якими життєво необхідний для відтворення особистісних властивостей соціальної людини.

Підтримувальні цілі передбачають створення (підтримання) умов, у яких можуть існувати біосфера та її складові екосистеми. Саме вони і підтримують (відтворюють) життєво важливі параметри існування людини як біологічної істоти та особистості.

Досягнення зазначених цілей – важливе завдання, яке повинна взяти на себе людина. Воно вирішується за допомогою консервування (збереження в незмінному вигляді) окремих ландшафтів дикої природи (створення заповідників) або мінімізації антропогенного впливу на екосистеми (створення заказників і природних парків), а також обмеження можливостей втручання людини в природу (розроблення і дотримання екологічних стандартів, нормування умов життя і діяльності та ін.).

Але це лише частина проблеми. Інша складова пов'язана з перебудовою людиною своєї технологічної основи. Річ у тім, що якщо кількість населення Землі зростатиме і далі (як це, зокрема, відбувається зараз), за умови збереження наявного технологічного рівня жодні екологічні стандарти й обмеження не врятують екосистеми від згубного для них техногенного впливу. Технологічні системи повинні удосконалюватися так, щоб у міру зростання населення їхня відносна екодеструктивність (за величиною екологічних наслідків у розрахунку на одного жителя планети) знижувалася. Причому ця екологічно обумовлена трансформація виробництва повинна відтворюватися постійно. Інакше кажучи, повинно постійно відтворюватися підвищення ефективності (зокрема екоефективності) функціонування соціально-економічної системи.

До зазначеного необхідно додати, що постановка завдання, у межах якого реалізація цілей сестейного розвитку досягалася б одночасно зі стійкістю як соціально-економічної системи, так і біосфери, серед фахівців отримала назву *сильної стійкості (сестейновості)*.

У тому разі, якщо передбачається досягнення відносної стійкості лише соціально-економічної системи (без урахування зміни стану довкілля), говорять про *слабку стійкість*. Мабуть, такий вибір термінології не є випадковим, оскільки без забезпечення стійкості природного середовища не може бути надовго досягнута і стійкість соціально-економічної системи.

Названі проблеми і покликана розв'язати «зелена» (сестейнова) економіка, що формується в процесі Третьої промислової революції.

4. Обумовленість переходу суспільства до адитивної економіки

Адитивна економіка – це система сфер господарської діяльності (включаючи виробництво та споживання продукції), а також сукупність суспільних відносин (щодо виробництва, розподілу, обміну та споживання), в основі яких лежать процеси адитивного виробництва.

Перехід до адитивної економіки, згідно зі сформульованою нами вище тріадою факторів обумовленості трансформації систем, має об'єктивний характер і визначається трьома групами факторів: необхідності, достатності й цілеспрямування.

Фактори необхідності обумовлені тим, що людина впритул наблизилася й почала переходити небезпечні обмеження руйнації біосфери. До цього ведуть три ключові причини. Перша – пов'язана з виробництвом і споживанням енергії. Її надлишкове виробництво в поєднанні з екодеструктивними технологіями отримання енергії (спалювання карбононасиченого палива) веде до перегріву планети, порушення системи її терморегуляції та руйнування клімату на Землі.

Друга причина обумовлена колосальними масштабами переробки природної речовини та вкрай низькою ефективністю технологій, які традиційно для цього використовуються. Лише десята частина вилучених з природи матеріальних ресурсів в кінцевому рахунку доходять до матеріалізації в корисні товари (вироби й послуги). Решта повертається природі вже у формі відходів (тобто в значно токсичнішому і шкідливішому вигляді). Результатом цього є критичне порушення екосистем планети й біосфери в цілому.

Як традиційні технології отримання енергії, так і чинні технології переробки матеріальних ресурсів побудовані на так званому субтрактивному принципі. Він полягає у тому, щоб з вилучених у природі первинних ресурсів відсікалося зайве. Саме воно й переводиться у відходи. Звідси й назва даного принципу (subtract (англ.) – *віднімати*).

Можливості змінити ситуацію й відійти від екодеструктивного принципу у природокористуванні почали з'являтися на початку ХХІ сторіччя з появою

нових революційних технологій отримання енергії й виробництва продукції. Вони були основані не на відсіканні зайвої частини природних ресурсів, а на додаванні лише корисної їх компоненти. Саме такими є методи альтернативної енергетики й 3D принтингу. Завдяки своєму базовому принципу, зазначені технології можуть бути названі адитивними (від англ. add – *додавати*). Саме ці технології й закладають основу факторів *достатності* для переходу до адитивної економіки.

Окремо слід сказати про фактори цілеспрямування (визначення напряму трансформації). У фазовому переході, який ми наразі спостерігаємо в ході сучасних промислових революцій, проглядається спрямування розвитку цивілізацій на радикальне скорочення енергоємності й матеріаломісткості функціонування соціальних систем у поєднанні з природозаощаджувальними (nature friendly) технологіями.

Це дає можливість не обмежувати споживання необхідних товарів, не гальмувати соціальний прогрес і жорстко не стримувати зростання населення планети. Демографічна стабілізація має відбутися природним шляхом при високому рівні добробуту, за прогнозами вчених, на межі 2040 і 2050 років.

Альтернативою цього вибору може бути консервація соціально-технічного стану суспільства, гальмування соціального прогресу й депопуляція населення через низький рівень добробуту. Явище, в ході якого відбувається зазначений трансформаційний перехід до нового суспільного укладу й адитивної економіки, отримало назву Третьої промислової революції (Industry 3.0).

5. Еволюція драйверів виникнення й реалізації промислових революцій

Нагадаємо, що Першу промислову революцію пов'язують із винаходом і впровадженням першої парової машини. Перебіг цих подій датується орієнтовно 1770-1860 рр. Фактори необхідності пов'язують з дефіцитом робочої сили в Європі, де в процесах кількох спустошуючих епідемій відбулася депопуляція населення, яка спричинила дефіцит робочої сили. Лідуючу роль у трансформаційних процесах займала матеріально-енергетична група факторів. Основним було вирішити завдання нарощування силового потенціалу. Це й відбувалося в переході від ручної праці до машинного виробництва.

Слід зазначити, що технічний рівень розвитку суспільства був підготовлений до виникнення відповідних потреб. Як відомо, протягом кількох десятиріч, попередники Джеймса Ватта (зокрема, Севері, Папен, Ньюхомен та інші) пропонували свої рішення винаходу парової машини, які не були затребувані суспільством або через недостатню потребу, або через їх недостатню досконалість (поєднання факторів необхідності й достатності).

Ключові «прориви» Першої промислової революції, прямо або опосередковано були пов'язані з вирішенням саме енергетичних проблем. Один із них вирішував проблему дефіциту робочої сили (фізичної праці), що виникла внаслідок депопуляції в Європі через кілька хвиль епідемій. Інший був безпосередньо пов'язаний з необхідністю посилення потужності знарядь праці, що досягалося за рахунок впровадження у виробництво винайдені парової машини і її «накачування» енергоносіями (деревиною, вугіллям). Третій вирішував проблему дефіциту енергоносіїв, що виникла через вирубування лісів у Європі. Зазначена промислова революція вирішувала також і інші проблеми модернізації саме матеріальної основи. На зміну деревині як основного будівельного і конструкційного матеріалу прийшов метал, який давав можливість різко підвищити міцність виробів, а отже, і підняти межі силових навантажень, які вони могли витримати. Завдяки цьому значно розширювалися функціональні можливості промислового виробництва, будівництва, сфери споживання.

Існувала ще одна причина, яка обумовила виникнення достатніх передумов для початку промислової революції. До другої половини XVIII століття в Європі (насамперед в Англії завдяки потенціалу її колоній) відбулося накопичення критичної маси капіталу. Саме він відіграв роль квазіенергетичного ресурсу для забезпечення техніко-економічних трансформацій необхідним фінансовим «паливом».

Таким чином, можна констатувати, що і *передумови необхідності* (зміни ресурсної парадигми), викликані дефіцитом робочої сили і енергоресурсів (деревини), і *передумови достатності*, обумовлені формуванням економічних можливостей, мали матеріально-енергетичний характер. Саме матеріальні чинники створювали імпульси до трансформації (приведення у відповідність) двох інших груп чинників – інформаційних та синергетичних.

Виробничий потенціал фабрик зріс і вимагав розвитку транспортних комунікацій (залізничних доріг, каналів), з одного боку, для поставок вихідних ресурсів, з іншого – для торгівлі готовою продукцією. Це стимулювало також розвиток більш швидких засобів зв'язку (зокрема, телеграфа).

Друга промислова революція пов'язана з формуванням навколо машини системи машин і механізмів і перетворенням виробництва на цілісний індустріальний світ.

Індустріально-фабричний монстр, який збільшився в розмірах, набув енергетичної могутності, але був незграбним у своїй координації, почав «задихатися» без нових інформаційних ідей. Вони стали життєво необхідними для удосконалення виробничого обладнання, підвищення точності його роботи, поліпшення якості продукції, що випуска-

лася, об'єднання в єдине системне ціле виробничих потужностей, що розповзалися на великі відстані від джерел сировини і споживчих мереж. Матеріально-енергетичні фактори почали поступатися у лідерстві *факторам інформаційної групи*.

У Другій промисловій революції (яка стартувала з 1860 років) рушійною силою трансформацій стає саме інформація. Розвиток економіки починає базуватися переважно на наукових досягненнях, а не просто на вданих винаходах. Удосконалюються процеси отримання металів і металообробки, розвивається машинобудування. Виробничі процеси починають формуватися на основі рукотворних хімічних та фізичних явищ (синтез новостворених речовин і тих, що вже використовуються у виробництві, нові технології виробництва виробів, нові принципи двигунів і видів транспорту, електрифікація виробничих процесів та ін.).

Безумовно, розвиток інформаційної основи впливав на матеріально-енергетичну і синергетичну групи факторів. Створювалися нові способи отримання і використання енергії, нові матеріали, двигуни, транспортні засоби. Удосконалювалися комунікації (створювалися мережі транспортних магістралей, лінії зв'язку тощо).

Ініціюючи розвиток двох інших груп факторів (матеріальних та синергетичних), потужний поштовх отримали і самі *інформаційні фактори*. Зазнали підйому фундаментальна і прикладна науки. Держава і окремі корпорації почали вкладати в це значні кошти. Виникли нові засоби фіксації, обробки, передачі і відтворення інформації (поліграфія, телефон, радіо, фотографія, кіно, відео, телебачення, комп'ютер (електронно-обчислювальна машина), факс, ксерокс, принтер).

Але найголовніше – нові умови виробництва почали вимагати нових знань, світогляду, інтелектуальних навичок роботи, причому для більшості виконавців. Професія під умовною назвою «білий комірць» (а це – інженерно-технічні працівники, службовці, секретарі, менеджери тощо) перетворилася на масову. Виникла потреба в забезпеченні загальної грамотності, використанні нових методів управління, застосування специфічних прийомів впливу на робітників, їх організації й мотивації праці.

Таким чином, можна стверджувати, що Друга промислова революція створила не тільки метало-різальні верстати, потокове виробництво, електрику, телефон, радіо, комп'ютер, автомобіль та авіацію. Її творінням стала також нова «людина-трудо» – учасник виробничого процесу, масовий працівник, в діяльності якого навички розумової праці були пріоритетними.

Лише такий виконавець здатний орієнтуватися в інформаційних умовах промислового виробництва, які значно ускладнилися. Лише такий виконавець може розробляти стандарти і досягати їх дотримання, без чого неможливо створення виробів, які складаються із сотень деталей, виготовлених тисячами робітників у різних куточках Землі.

Лише такий працівник здатний контролювати десятки параметрів виробничих процесів, що відбуваються у надвисоких (поза межних) фізико-хімічних режимах (температур, тисків, електромагнітних характеристик, радіації, хімічної агресивності або біологічної активності).

Лише такий виконавець може керувати колективами працівників, у руках яких сконцентрована подібна енергетична могутність. Лише такий виконавець може справлятися із завданнями самоорганізації, самонавчання та саморозвитку, необхідність яких диктується колосальною швидкістю змін в умовах соціально-економічного середовища.

Одночасно відбувалися якісні структурні зміни суспільства. У промислово розвинених країнах критична більшість населення стала належати до інтелектуалізованих виконавців, які в більшості своїй залишалися найманими працівниками. Але саме вони зі своїми потребами і фінансовими можливостями перетворилися на масових споживачів (а отже, і замовників) виробленої продукції, визначаючи попит на неї.

Під впливом процесу інтелектуалізації споживачів вигляд цієї продукції постійно змінюється. Зростає складова інформаційних факторів, зростають наукоємність та інформаційна ємність. Сучасні побутові прилади, засоби зв'язку, житло, індивідуальний транспорт стають все «розумнішими», вбираючи в себе керуючі електронні засоби і навіть елементи комп'ютерної техніки. Те саме можна сказати й про ще одну частину товарів, що надходять на ринок, – *засоби виробництва*. Не менше інформатизується і *сфера послуг*. Це стосується як самих послуг (освіти, літератури, мистецтва, шоу, туризму), так і засобів їх виробництва.

Підбиваючи підсумки зазначеного, можна констатувати, що *передумови необхідності* в ході трансформаційних процесів Другої промислової революції почали обумовлюватися потребами інтелектуалізованої «людини-трудо», яка в той самий час перетворилася на масового покупця на ринку. Стрімко зростаючі доходи останнього стали виконувати функції капіталу (своєрідної квазіенергії економічної системи), чим фінансово забезпечили попит на масово вироблену продукцію. Це і створило *передумови достатності* у розвитку індустріального суспільства.

Основні завдання, які покликана вирішити Третя промислова революція (Industry 3.0) принципово відрізняються від завдань її попередниць Industries 1.0 та 2.0. В ході їх людство намагалося наростити свою матеріально-енергетичну міць, змагаючись у цьому з природною стихією. Досить зазначити, що в 1950 роках у багатьох країнах девізом було: «все, що велике, – красиво!»

Для Industry 3.0 історично задана інша мета: на новій хвилі соціально-енергетичного розвитку повернутися до гармонії з природою через трансформацію виробничих систем, екологізацію суспільного устрою, стилю життя й екологічно спрямоване перетворення самої людини. За таких умов необхідно прагнути не до збільшення масштабів, потужностей і форм суспільного виробництва, а швидше до їх мініатюризації, що, як правило, супроводжується зростанням продуктивності, збільшенням функціональних можливостей, підвищенням ефективності економічних систем.

Як і в двох попередніх промислових революціях, у Третій – трансформаційним зрушенням піддаються всі три групи системоутворювальних факторів економічних систем: матеріально-енергетичні, інформаційні й синергетичні. Однак на сучасному етапі естафета лідерства переходить до *синергетичних* факторів. Саме вони покликані інтегрувати окремі компоненти локальних економічних систем в єдине системне ціле – глобальну економіку «космічного корабля» Земля. Саме такі інтеграційні процеси відбуваються у природі, де окремі локальні екосистеми, об'єднуючись, формують єдину біосферу планети.

Те, що в ході Третьої промислової революції основою трансформаційних процесів, які відбуваються, стають синергетичні (комунікаційні) фактори, пояснюється об'єктивними причинами.

По-перше, у виробничому секторі «центр ваги» переноситься з великих господарських форм (потужних регіональних електростанцій, виробничих гігантів, величезних переробних і збагачувальних комплексів) на мережі, що складаються з тисяч і навіть мільйонів маленьких виробничих одиниць (ІТ-підприємств, міні-енергетичних установок, виробництв, що використовують 3D-принтери). Вони можуть стати реальною продуктивною силою, лише будучи об'єднаними в цілісні системи.

По-друге, сьогодні реальністю стає діяльність транскордонних віртуальних виробництв, які можуть функціонувати лише на основі досконалих синергетичних зв'язків.

По-третє, функціонування комп'ютерних (інформаційних) керуючих систем за принципом: «розумний» завод, «розумний» будинок, «розумне» місто, «розумна» транспортна магістраль, «розумна» кра-

їна – також нездійсненне без аналітичного й інтегруючого впливу інформаційних мереж (передусім Інтернету).

По-четверте, сам Інтернет як базовий фактор всепланетної пам'яті людства став продуктом синергетичної інтеграції локальних інформаційних систем.

Фактично межу XX і XXI століть і слід вважати часом початку Третьої промислової революції. Саме в цей період повною мірою з'єдналися в єдине ціле – Всесвітню павутину (www – World Wide Web) – три головних винаходи людства, які формують ключові інструменти всепланетної пам'яті: персональний комп'ютер, Інтернет та цифрові технології. Вони й забезпечили колосальну швидкість (швидкодію) реалізації на глобальному рівні трьох ключових функцій пам'яті, а саме: фіксації, зберігання та відтворення інформації в будь-яких її формах (друкованих, аудіо-, відео-). Це і стало в кінцевому підсумку причиною лавиноподібного прогресу суспільних відносин і технологій, зокрема через трансфер останніх, оскільки швидкість розвитку будь-яких систем (передусім, соціально-економічних) обумовлена саме характеристиками швидкодії їх пам'яті.

Одним із найважливіших завдань трансформації матеріально-енергетичної основи економіки в ході Industry 3.0 є її гармонізація з природним середовищем. Це передбачає передусім дематеріалізацію систем виробництва й споживання продукції, інакше кажучи, їх значне «полегшення», тобто зниження матеріаломісткості та енергоємності на одиницю виробленої продукції (виконаної роботи) і на одного мешканця Землі, життєдіяльність якого потрібно забезпечити всім необхідним. Крім того, завдання екологічної гармонізації матеріально-енергетичної основи обумовлює необхідність переходу на органічно прийнятні для екосистемного метаболізму речовини і замкнені цикли використання ресурсів. Не випадково в англійській мові щодо екологічних виробів використовуються терміни: «environment friendly» та «natural sound», що означає *дружні* щодо природного середовища, або *співзвучний* з природою.

Не можна не згадати ще про одне завдання, яке покликана вирішити Industry 3.0. Вона повинна змінити імператив формування сутнісних начал людини. Зокрема, економіка повинна перейти від обслуговування переважно матеріальних потреб фізіологічної та економічної природи людини (тобто «людини-біо» та трудової сутності «людини-трудо») до забезпечення системного особистісного розвитку соціальної сутності людини («людини-соціо»).

У ході Industry 3.0 передумови формування «зеленої» економіки закладаються через триєдину систему взаємодії матеріально-енергетичних,

інформаційних і синергетичних факторів. Вони передбачають: по-перше, наявність ефективних (тобто досить дешевих на одиницю виконаної роботи) технічних засобів (зокрема, установок альтернативної енергетики й 3D-принтерів); по-друге, забезпечення єдиної («цифрової») основи фіксації й передачі інформації (для реалізації комунікацій: людини з людиною, людини з машиною й машини з машиною), а також формування глобальної системи пам'яті й своєрідного всепланетного «мозкового центру» на основі «хмарних» технологій; по-третє, формування єдиної комунікаційної основи на базі Інтернету й мережевих систем.

Після детального аналізу можна зрозуміти, що кожна із зазначених груп передумов обумовлює, умовно кажучи, два розрізи: *технічний та економічний*. Перший – передбачає саме технічне вирішення проблеми створення відповідних засобів. Другий – пов'язаний із забезпеченням їх дешевизни, достатньої для масового впровадження на рівні підприємств, регіонів та національних економік.

Із певною мірою умовності можна сказати, що згадані технічні групи передумов закладалися в межах Другої промислової революції. Саме тоді виникали принципові технічні рішення зі створення сонячних панелей, вітрогенераторів, 3D-принтерів та комп'ютерів. Однак їх досконалість, ефективність, технологічність, що забезпечують різке здешевлення, досягалися вже зі стартом Industry 3.0. Втім, можна сказати й інакше: досягнення достатньої дешевизни зазначених засобів і стало тим спусковим гачком, який дав старт лавиноподібному ходу Industry 3.0.

Головними проривами Industry 3.0. стало забезпечення дешевизни та ефективності: а) отримання відновлюваної енергії; б) акумулявання енергії; в) виробництва та експлуатації 3D-принтерів; г) фіксації, обробки і передачі інформації. У цьому переконують факти безлічі публікацій.

Із 1970 р. вартість виробництва сонячної енергії скоротилася в 150 разів (!). Прогнозоване на 2021 р. вирівнювання цін на традиційну та альтернативну енергії було досягнуто вже в 2015 році [14].

У пресі з'явилися відомості про можливе істотне зниження вартості 3D-принтера. Зокрема, такий пристрій може коштувати не більше холодильника – в межах від 100 до кількох сотень доларів США.

Сьогодні технології стали настільки дешевими, що, наприклад, виробництво сенсорів і RFID-міток перейшло поріг дешевизни в один долар. Тим самим зроблено вирішальний крок до їх масового застосування і до старту Четвертої промислової революції, основою якої є ідентифікація матеріальних об'єктів машинами.

Формування зазначених передумов створило реальну основу для вирішення в ході Industry 3.0 революції ряду практичних завдань сестейнової трансформації економіки.

«Зелена» революція, яка відбувається у ході Industry 3.0, пов'язана з колосальним інформаційним ускладненням процесів виробництва і споживання продукції. Досить лише згадати перехід від сконцентрованих у просторі виробничих потужностей до горизонтальних розподілених мереж, які можуть інтегрувати тисячі й навіть мільйони виробничих одиниць. Їх функціонування пов'язане з вирішенням у просторі та часі надскладних технічних, економічних і соціальних завдань. Людина вже не здатна контролювати подібні процеси й змушена передавати функції управління виробництвом і споживанням відповідним кіберфізичним системам, здатних обробляти великі бази даних з високою швидкістю.

Як бачимо, механізм обумовленості формування адитивної економіки продовжує розкручуватися. Хід реалізації Industry 3.0 покликав до життя (дія факторів необхідності) кібергізацію простору існування людини і пов'язані з цим забезпечувальні процеси. Подібний трансформаційний перехід отримав назву Четвертої промислової революції (Industry 4.0). Розвиток Industry 4.0 спирається на формування цілої низки передумов (факторів достатності), які роблять реальним досягнення завдань даної революції. Серед таких подій слід назвати перш за все: розробку штучного інтелекту, сенсорну революцію, формування «розумних» систем управління діяльністю соціально-економічних структур (підприємств, територій, спільнот), інформатизацію виробництва, цифровізацію суспільного життя.

Провідним напрямом реалізації Industry 4.0 є: впровадження Інтернету речей, цифровізація комунікацій, розвиток штучного інтелекту, формування Хмари як глобальної системи пам'яті й сутності, що управляє процесами метаболізму пам'яті.

Передбачається, що кіберфізичні системи будуть об'єднані в єдину мережу з формуванням усередині неї своєрідних локальних «екосистем», які функціонально обслуговують, скажімо, певний будинок, підприємство, місто. Як бачимо, штучні технічні системи об'єднуються в цілісну глобальну мережу (систему). Це чимось нагадує біосферу, що об'єднує живий світ планети.

На основі аналізу ряду публікацій [6; 12; 13] автором сформульовані найважливіші функції, які зазначені кіберфізичні системи повинні будуть виконувати *без участі людини*:

– *обмін інформацією* (своєрідне «спілкування» між собою) в режимі реального часу;

– *контроль параметрів* зовнішнього середовища і своїх власних;

– *самоактивізація й припинення* при певних інформаційних сигналах;

– *самонастроювання* на оптимальні режими роботи;

– *прогнозоване* (випереджальне, профілактичне) самообслуговування систем;

– *взаємодія з виробленими ними товарами* (якщо мова йде про виробничі системи);

– *адаптація під нові потреби* споживачів;

– *визначення обладнання*, необхідного для виробництва необхідних товарів або задоволення нових потреб;

– *самонавчання* новим прийомам роботи.

Реалізація в повному обсязі Industry 4.0 породжує ще одну проблему, яку покликана вирішувати П'ята промислова революція (Industry 5.0). Справа в тому, що кіберфізичні системи, які не потребують участі людського фактору витісняють людину із виробничого простору. Це створює значні загрози для особистісного розвитку людства. Адже без необхідності розв'язання серйозних проблем економічного розвитку людство приречене на споживацьку деградацію. Саме на пошук місця людини у економічній системі кіберфізичної доби і спрямована Industry 5.0.

За задумами авторів концепції Industry 5.0, людина дійсно повинна полишити виробничі процеси, звідкіля її вже витісняють кіберфізичні системи та Інтернет речей. Саме вони виконуватимуть усю рутинну, стандартну, монотонну й нецікаву роботу. Але людина, яка піде з виробництва, буде людиною-трудом. Вона звикла до виконання стандартних операцій, на яких виробляються стандартизовані товари для споживачів зі стандартними потребами та запитамі.

На місце людини-трудом у виробництво повинна прийти зовсім інша людина – людина-особистість. Замість виготовлення виробів вона створюватиме інформаційні образи, які легко матеріалізуватимуть адитивні технологічні системи за допомогою 3D-принтерів. Саме так зараз 2D-принтери нам друкують на папері все, що ми вигадали на своїх дисплеях. Причому матеріалізуватиметься кінцевий продукт буде вже за місцем його призначення, тобто за адресою споживача. І що важливо: продукт цей буде персоналізованим, тобто виготовленим за індивідуальними бажаннями й уподобаннями споживачів. Це надзвичайно важливо. Адже головним споживачем також стане *людина-особистість*. А особистісний розвиток людства можливий лише там, де люди відрізняються один від одного, і ця відмінність все збільшуватиметься.

Висновки. Підсумовуючи сказане, можна стверджувати, що необхідність переходу суспільства до

адитивної економіки має закономірний характер, обумовлений логікою розвитку цивілізації і ставлення виробничого комплексу до біосферного потенціалу природи. Об'єктивний характер мають і промислові революції, в ході яких відбувається зазначений перехід.

Третя промислова революція (Industry 3.0), значно збільшуючи ефективність функціонування виробничих систем і дематеріалізуючи індустріальний метаболізм, зокрема, через суттєве зменшення матеріаломісткості та енергоємності економічних систем, створює передумови вирішення проблем глобальної екологічної кризи.

Четверта промислова революція (Industry 4.0), створюючи глобальну єдність самокерованих кібер-

фізичних систем, закладає передумови для подальшого вирішення проблем сестейнізації економіки в умовах колосального зростання інформаційної складності функціонування систем, яке людство контролювати вже не в змозі.

П'ята промислова революція (Industry 5.0) спрямована на пошук рішень щодо місця людини в тотально кібергізованому просторі і подальшого розвитку особистісного начала глибинної сутності людини. В цьому зв'язку надзвичайно важливим питанням є повернення людини в сферу виробництва для вирішення творчих завдань у поєднанні з когнітивними можливостями кіберфізичних систем.

Список літератури:

1. Additive manufacturing – a definition: what is additive manufacturing? *SPI Lasers*. URL: <http://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/additive-manufacturing-a-definition/>
2. Cockburn H. Climate crisis: Renewable energy provided almost half of UK's electricity in first three months of 2020. *Independent*. 26.06.2020. URL: <https://www.independent.co.uk/author/harry-cockburn>
3. Elder J. The internet's first thing – John Romkey's «smart» toaster. *Avast news*. 03.09.2019. URL: <https://blog.avast.com/the-internets-first-smart-device>
4. Global Electricity Review. *EMBER*. 20.03.2020. URL: <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2020/03/Ember-2020GlobalElectricityReview-PrintA4.pdf>
5. Harmon J. What are digital technologies? *Quora*. 27.04.2018. URL: <https://www.quora.com/What-are-digital-technologies> (accessed on 25.05.2020).
6. Industry 4.0. URL: http://en.m.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0
7. Østergaard E. H. Welcome to Industry 5.0. The «human touch» revolution is now underway Magazine «Quality». 08.05.2019. URL: <https://www.qualitymag.com/articles/95450-welcome-to-industry-50>
8. Rada M. Industry 5.0 definition. 21.01.2018. URL: <https://medium.com/@michael.rada/industry-5-0-definition-6a2f9922dc48>
9. Rifkin J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, The Economy, and The World*. New York: St. Martin's Griffin Publisher, 2013. 304 p.
10. Rifkin J. *Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*. New York: St. Martin's Griffin Publisher, 2015. 448 p.
11. Rossi B. What will Industry 5.0 mean for manufacturing? *Raconteur*. 07.03.2018. URL: <https://www.raconteur.net/technology/manufacturing-gets-personal-industry-5-0>
12. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, Committed to Improving the State of the World, 2017. 208 p.
13. Schwab K., Davis N. *Shaping the Fourth Industrial Revolution*. Cologny, Switzerland: World Economic Forum, Committed to Improving the State of the World, 2018. 320 p.
14. Shahan Z. 10 Solar Energy Facts & Charts You (& Everyone) should know // *Clean Technica*. 17.08.2016. URL: <https://cleantechnica.com/2016/08/17/10-solar-energy-facts-charts-everyone-know/>
15. Shahan Z. Renewable Energy = 22.2% of US Electricity in 1st Half of 2020 (Charts). *CleanTechnica*. 12.09.2020. URL: <https://cleantechnica.com/2020/09/12/renewable-energy-22-2-of-us-electricity-in-1st-half-of-2020-charts/>
16. Shumilo O., Kalinichenko L., Yanchenko N., Blaga V. Evaluation of management effectiveness for trade enterprises economic security in supply chains. *Estudios de Economía Aplicada*, 2020, 38(4). Special Issue: The Recent Economic Trends and their Impact on Marketing. Monograph. DOI: [http://dx.doi.org/10.25115/eea.v38i3%20\(1\).3985](http://dx.doi.org/10.25115/eea.v38i3%20(1).3985)
17. Skinner C. *Digital Human*. Marshall Cavendish International (Asia) Pte Ltd, 2018.
18. Solar Power Costs Dropped Dramatically In 2013–2018. *CleanTechnica*. 17.09.2020. URL: <https://cleantechnica.com/2020/09/17/solar-power-costs-dropped-dramatically-in-2018/>
19. Vollmer M. What is Industry 5.0? *Linked in*. 23.08.2018. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/what-industry-50-dr-marcell-vollmer>
20. Zennaro M. Introduction to the Internet of things. *NBTC-ITU Training on «Building IoT solutions for e-applications»*. 27.11.2017. URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2017/Nov_IOT/NBTC%E2%80%93ITU-IoT/Session%201%20IntroIoTMZ-new%20template.pdf
21. Вайцеккер Еге., Харгроуз До., Сміт М. Фактор п'ять. Формула сталого зростання. Доповідь Римського клубу / перекл. з англ. М.: АСТ-ПРЕС КНИГА, 2013. 368 с.
22. Капіца С.П. Парадокси зростання: Закони розвитку людства. М.: Альпіна нон-фікшн, 2010. 192 с.
23. Хенс Л., Флаемінк К. Методи оцінки показників сталого розвитку. Соціально-економічний потенціал сталого розвитку : підручник / за ред. Л.Г. Мельника, Л. Хенса. Суми : Університетська книга, 2007. С. 231–257.

Referencrs:

1. Additive manufacturing – a definition: what is additive manufacturing? *SPI Lasers*. Available at: <http://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/additive-manufacturing-a-definition/>
2. Cockburn H. Climate crisis: Renewable energy provided almost half of UK's electricity in first three months of 2020. *Independent*. 26.06.2020. Available at: <https://www.independent.co.uk/author/harry-cockburn>
3. Elder J. The internet's first thing – John Romkey's «smart» toaster. *Avast news*. 03.09.2019. Available at: <https://blog.avast.com/the-internets-first-smart-device>
4. Global Electricity Review. *EMBER*. 20.03.2020. URL: <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2020/03/Ember-2020GlobalElectricityReview-PrintA4.pdf>
5. Harmon J. What are digital technologies? *Quora*. 27.04.2018. Available at: <https://www.quora.com/What-are-digital-technologies> (accessed on 25.05.2020).
6. Industry 4.0. Available at: http://en.m.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0
7. Østergaard E. H. Welcome to Industry 5.0. The «human touch» revolution is now underway Magazine «Quality». 08.05.2019. Available at: <https://www.qualitymag.com/articles/95450-welcome-to-industry-5-0>
8. Rada M. Industry 5.0 definition. 21.01.2018. Available at: <https://medium.com/@michael.rada/industry-5-0-definition-6a2f9922dc48>
9. Rifkin J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, The Economy, and The World*. New York: St. Martin's Griffin Publisher, 2013. 304 p.
10. Rifkin J. *Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*. New York: St. Martin's Griffin Publisher, 2015. 448 p.
11. Rossi B. What will Industry 5.0 mean for manufacturing? *Raconteur*. 07.03.2018. Available at: <https://www.raconteur.net/technology/manufacturing-gets-personal-industry-5-0>
12. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, Committed to Improving the State of the World, 2017. 208 p.
13. Schwab K., Davis N. *Shaping the Fourth Industrial Revolution*. Cologne, Switzerland: World Economic Forum, Committed to Improving the State of the World, 2018. 320 p.
14. Shahan Z. 10 Solar Energy Facts & Charts You (& Everyone) should know // *Clean Technica*. 17.08.2016. Available at: <https://cleantechnica.com/2016/08/17/10-solar-energy-facts-charts-everyone-know/>
15. Shahan Z. Renewable Energy = 22.2% of US Electricity in 1st Half of 2020 (Charts). *CleanTechnica*. 12.09.2020. Available at: <https://cleantechnica.com/2020/09/12/renewable-energy-22-2-of-us-electricity-in-1st-half-of-2020-charts/>
16. Shumilo O., Kalinichenko L., Yanchenko N., Blaga V. Evaluation of management effectiveness for trade enterprises economic security in supply chains. *Estudios de Economia Aplicada*, 2020, 38(4). Special Issue: The Recent Economic Trends and their Impact on Marketing. Monograph. DOI: [http://dx.doi.org/10.25115/eea.v38i3%20\(1\).3985](http://dx.doi.org/10.25115/eea.v38i3%20(1).3985)
17. Skinner C. *Digital Human*. Marshall Cavendish International (Asia) Pte Ltd, 2018.
18. Solar Power Costs Dropped Dramatically In 2013–2018. *CleanTechnica*. 17.09.2020. Available at: <https://cleantechnica.com/2020/09/17/solar-power-costs-dropped-dramatically-in-2018/>
19. Vollmer M. What is Industry 5.0? *Linked in*. 23.08.2018. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/what-industry-5-0-dr-marcell-vollmer>
20. Zennaro M. Introduction to the Internet of things. *NBTC–ITU Training on «Building IoT solutions for e-applications»*. 27.11.2017. Available at: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2017/Nov_IOT/NBTC%E2%80%93ITU-IoT/Session%201%20IntroIoTMZ-new%20template.pdf
21. Vaitszekker Ehe., Kharhrouz Do., Smit M. (2013) Faktor piat. Formula staloho zrostannia. Dopovid Rymaskoho klubu [Factor five. The formula for sustainable growth. Report of the Club of Rome] perekl. z anhl. M.: AST-PRES KNYHA, 368 p.
22. Kapitsa S.P. (2010) Paradoxy zrostannia: Zakony rozvytku liudstva [Paradoxes of growth: Laws of human development]. M.: Alpina non-fikshi, 192 p.
23. Khens L., Flaemink K. (2007) Metody otsinky pokaznykiv staloho rozvytku [Methods of assessing indicators of sustainable development]. *Sotsialno-ekonomichniy potentsial staloho rozvytku : pidruchnyk / za red. L.H. Melnyka, L. Khensa*. Sumy: Universytetska knyha, pp. 231–257.