

Монографію підготовлено в рамках проєктів Жана Моне:

«Законодавчий, економічний та соціальний перехід ЄС до сестейнового суспільства в рамках Індустрій 4.0 та 5.0» / «Legislative, Environmental and Social Transition of the EU to Sustainable Society within Industries 4.0 and 5.0» (619997-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-CHAIR)

«Проривні технології для сталого розвитку в умовах Industry 4.0 та 5.0: досвід ЄС» / «Disruptive technologies for sustainable development in conditions of Industries 4.0 and 5.0: the EU» (101083435-DTSDI-ERASMUS-JMO-2022-HEI-TCH-RSCH)

With the support of the
Erasmus+ Programme
of the European Union



The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein

Additive economy (Economics of Transformations):

**EU experience of economic transformations
(Industries 3.0, 4.0, 5.0)**

Monograph

**Book series: “Methods of Ecological Problems Solving”,
Issue 6**



Адитивна економіка (Економіка перетворень):

**Досвід ЄС щодо економічних перетворень
в ході Industries 3.0, 4.0, 5.0**

Монографія

**Серія: «Методи вирішення екологічних проблем»,
випуск 6**



УДК 330.342.22/.24ЄС

М 48

Рекомендовано до видання вченою радою Сумського державного університету як монографія (протокол № 3 від 19 жовтня 2023 року)

Рецензенти:

А. А. Гриценко – академік НАН України, доктор економічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту економіки та прогнозування НАН України, м. Київ;

Л. Л. Калініченко – доктор економічних наук, професор кафедри економіки та менеджменту Харківського національного університету ім. В. Н. Казаріна, м. Харків;

В. М. Тарасевич – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри міжнародної економіки і соціально-гуманітарних дисциплін Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро

Мельник Л. Г.

М 48 Адитивна економіка (Економіка перетворень): Досвід ЄС щодо економічних перетворень в ході Industries 3.0, 4.0, 5.0. – Суми : Університетська книга, 2023. – 208 с.

ISBN 978-617-521-048-2

В монографії розкривається зміст адитивної економіки як системи сфер господарської діяльності, а також сукупності суспільних відносин, щодо виробництва, розподілу, обміну та споживання, в основі яких лежать процеси адитивного виробництва. Характеризуються драйвери і механізми переходу до адитивної економіки в ході сучасних промислових революцій: Industries 3.0, 4.0, 5.0. Досліджуються процеси реструктуризації економічних систем в трансформаційному переході. Приділяється увага формуванню людського капіталу в нових умовах. Розглядається досвід країн ЄС та практика України в перехідних процесах.

Призначена для наукових працівників, фахівців підприємств, спеціалістів місцевих органів адміністрації, викладачів і студентів навчальних закладів.

УДК 330.342.22/.24ЄС

ISBN 978-617-521-048-2

© Мельник Л. Г., 2023

© «Видавництво «Університетська книга», 2023

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Обумовленість та драйвери формування адитивної економіки	13
1.1. Триалектика обумовленості переходу до адитивної економіки.....	13
1.2. Триалектика системоутворювальних начал і розвитку систем	15
1.3. Аналіз об’єктивних передумов переходу до адитивної економіки.....	19
1.4. Фактори обумовленості переходу суспільства до адитивної економіки.....	24
Розділ 2. Соціально-економічна характеристика очікуваного суспільства та сучасних промислових революцій (Industries 3.0, 4.0, 5.0)	37
2.1. Контури нового суспільства	37
2.2. Людський вимір промислових революцій	42
2.3. Драйвери прояву сучасних промислових революцій	45
Розділ 3. Зміст адитивної економіки*	52
3.1. Передумови переходу до адитивної економіки.....	52
3.2. Поняття адитивної економіки	55
3.3. Ключові сектори адитивної економіки.....	59
3.4. Переваги й проблеми адитивного виробництва	62
Розділ 4. Перспективи розвитку адитивної економіки*	65
4.1. Складові фазового переходу до адитивної економіки.....	65
4.2. Напрями розвитку адитивного виробництва	82
4.3. Горизонти розвитку адитивної економіки	89

Розділ 5. Трансформація соціально-економічних систем як передумова переходу до адитивної економіки *	93
5.1. Фундаментальні засади трансформації соціально-економічних систем	93
5.2. Фактор часу в діяльності системи	98
5.3. Фактори зміни динаміки економічних систем при переході до адитивної економіки	107
5.4. Управління параметрами часу в умовах адитивної економіки	109
5.5. Напрями трансформації соціально-економічних систем при переході до адитивної економіки	113

Розділ 6. Реструктуризація соціально-економічних систем при переході до адитивної економіки **	117
6.1. Реалізації Industry 4.0 як передумови формування АЕ	117
6.2. Ключові напрями соціально-економічних змін	120
6.3. Реструктуризація складових економічних систем при переході до АЕ	125
6.4. Реструктуризація соціально-економічних факторів при переході до АЕ	135
6.5. Ринкові особливості переходу до АЕ	139

Розділ 7. Формування людського капіталу при переході до адитивної економіки	145
7.1. Фундаментальні основи формування людського капіталу	145
7.2. Людський капітал як рушійна сила економічних систем	150
7.3. Триалектика відтворення капіталу	152
7.4. Перехід до адитивної економіки й транзит відтворення людського капіталу	158

Розділ 8. Сестейнізація енергетики як передумова переходу до адитивної економіки	162
8.1. Складові сестейнізації енергетичного комплексу	162
8.2. Розвиток відновлюваних джерел енергії й систем її зберігання	164
8.3. Трансформація організаційної структури енергетичного комплексу	169
8.4. Зменшення енергоємності виробництва й споживання продукції	173
8.5. Системна сутність сестейнізації енергетики	177
Висновки	184
Література	188
Table of Contents	204

* Матеріал підготовлено в рамках НДР «Фундаментальні основи фазового переходу до адитивної економіки: від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень» (№ 0121U109557), що фінансується з держбюджету України.

** Матеріал підготовлено в рамках проекту НФДУ «Реструктуризація національної економіки в напрямі цифрових трансформацій для сталого розвитку» (№0122U001232), що фінансується з держбюджету України

ВСТУП

Покоління людей, які нині живуть на Землі, мають можливість бути учасниками при народженні без перебільшення нової ери. На наших очах в ході сучасних промислових революцій (Industries 3.0, 4.0, 5.0) відбувається перехід до небаченої в історії людства суспільної формації. Її історичну унікальність обумовлюють принаймні три безпрецедентні події, до яких стрімко наближається цивілізація.

Одна з них пов'язана з тим, що вперше в історії людство може позбавитися необхідності виконувати фізичну роботу. Це обіцяє взяти на себе Інтернет речей, інтегрований в мережі суцільно автоматизованих кіберфізичних систем. Саме вони наразі форсованими темпами створюються в ході Четвертої промислової революції (Industry 4.0).

Масштаби й глибину другої події взагалі важко навіть уявити. Ще важче спрогнозувати можливі її наслідки. Мова йде про перспективи штучного інтелекту управляти життям людей і взяти на себе через Хмару контроль за всією системною сутністю процесів метаболізму на планеті.

Осмилення всього можливого спектру зазначених подій вимагає їх системного професійного дослідження. Адже вони вміщують в себе надзвичайно складні технічні, соціальні, гуманітарні й економічні явища.

І перша, і друга очікувані події обумовлені процесами ще одного безпрецедентного явища. Мова – про трансформаційний перехід до принципово нової побудови виробничих сил. Вперше в історії своєї цілеспрямованої виробничої діяльності людство змінює базовий принцип відносин із природою. Узагальнюючи, це можна назвати переходом від субтрактивних до адитивних методів виробництва.

Субтрактивні методи базуються на надлишковому вилученні з природи первинних ресурсів. Процеси отримання з них корисних виробів спрямовані на відсіканні від маси взятих у природи первинних ресурсів їх зайвої частини. Звідси – й назва методів:

subtract – англійською *віднімати*. Саме такі процеси, наприклад, покладені в основу виробництва металів і їх подальшої переробки, де лише кілька відсотків маси руди використовуються корисно – решта перетворюється у відходи. Схожі процеси відбуваються в хімічній промисловості, а також в тепловій енергетиці, де спалюється лише карбонова компонента. Залишки у вигляді шкідливих відходів викидаються в компоненти довкілля, забруднюючи й руйнуючи екосистеми планети, отруюючи людину, завдаючи шкоди об’єктам її господарської діяльності.

Наслідками застосування субтрактивних методів виробництва є глобальна екологічна криза, порушення екосистем біосфери, руйнування енергетичного терморегулювання планети, загрозна зміна клімату Землі.

На початку ХХІ сторіччя в арсеналі людства почали з’являтися виробничі методи, які можна вважати альтернативою субтрактивного інструментарію. Вони побудовані на вилученні з природи й використанні в процесах виробництва лише необхідної складової первинних ресурсів. Готова продукція таким чином створюється послідовним додаванням виключно корисної частини природних субстанцій (енергії й матеріалів). Звідси метод отримав назву «адитивний» – від англійського add – *додавати*.

В наукових публікаціях розкривається зміст таких понять, як «адитивна технологія» та «адитивне виробництво». Як правило, під цим розуміються процеси виготовлення виробів із застосуванням 3D принтерів. Між тим, зміст процесів адитивного виробництва значно ширше. Вони узагальнюють у собі цілісну сукупність методів та інструментів, на основі яких реалізуються адитивні технології. Їх застосування значно мінімізує утворення відходів. Зокрема, саме такими за своєю сутністю є процеси отримання енергії з відновлюваних джерел. Наприклад, сонячну та вітрову енергії отримують напряму від природи, не використовуючи надлишкових природних субстанцій, які б повертались природі у вигляді відходів, як це відбувається у тепловій енергетиці. Умовно за своїм змістом до адитивного виробництва можна також віднести методи транспортування продуктів за допо-

могою передавання на відстань їх цифрових двійників з наступною матеріалізацією виробів на 3D принтерах та й інші сфери господарської діяльності (наприклад, ІТ-сектори, індустріальне агровиробництво, інформаційна творчість тощо).

Ще ширше поняття «адитивної економіки». Воно вбирає в себе не тільки власне виробничі процеси, але також пов'язану з ними всю цілісну систему сфер господарської діяльності, а також сукупність суспільних відносин щодо виробництва, розподілу, обміну та споживання продукції.

Існує об'єктивна закономірність переходу людства до адитивної економіки. Це обумовлюється факторами *необхідності, достатності і цілеспрямування*. Необхідність зазначеного переходу обумовлена ризиком настання катастрофічних для людства наслідків глобальної екологічної кризи, що викликана діяльністю сучасного виробничого комплексу. Фактори достатності забезпечуються появою на початку ХХІ сторіччя технологічних рішень, здатних змінити характер екодеструктивної діяльності індустріальних систем на користь екологічно сприятливих процесів. Серцевину рятівних технологій складають саме методи адитивного виробництва. Напрямок зазначеного переозброєння спрямований на кардинальне підвищення ефективності функціонування виробничих систем і максимальне полегшення індустріального метаболізму через зменшення матеріаломісткості й енергоємності економічних процесів, а також зниження їх навантаження на екосистеми планети.

Будь-що нове ніколи не з'являється на порожньому місці. Воно має бути підготовлено необхідними передумовами. Щоб відбувся перехід до адитивної економіки необхідно сформуванню тріаду передумов, які б забезпечили хід трансформаційних процесів та успішне функціонування економічних систем на нових принципах. Ці передумови відіграють роль драйверів і інструментів для потрібних зрушень. Зазначена тріада віддзеркалює триєдність групи факторів, які лежать в основі формування будь-якої системи: матеріальних, інформаційних, синергетичних.

Матеріальні фактори, виконуючи силові функції, забезпечують рух і розвиток систем. Інформаційні – обумовлюють спрямованість руху в просторі та часі. Вони задають інформаційний алгоритм взаємодії між собою окремих частин й програму її розвитку. Синергетичні – об'єднують, забезпечуючи узгодженість конкретних дій окремих елементів системи (скажімо, виконавців) задля цілісного прояву діяльності системи.

Зокрема, для переходу до адитивної економіки в групі матеріальних факторів надзвичайно важливу роль відіграє створення технічного інструментарію, що забезпечує: діяльність 3D принтерів, роботу відновлюваних джерел отримання енергії та її зберігання, функціонування кіберфізичних систем. В групі інформаційних систем важливими є цифровізація, штучний інтелект, хмарні технології. В групі синергетичних факторів вирішальними є комунікаційні мережі (Internet, GPS, віртуальні зв'язки).

Перехід до адитивної економіки означає не просто заміну технологічного інструментарію. Зазначені трансформації несуть з собою системні зміни по всій глибині побудови суспільних засад: від організаційної структури виробництва до соціальних інструментів і самої людини з її стилем життя і життєвими потребами.

Нас очікують кардинальні структурні зрушення в ключових сферах життєдіяльності людини, зокрема: реструктуризація джерел отримання енергії, трансформація виробничих циклів і інтерфейсної сфери, зміни в соціальній структурі виробництва, економічних відносинах, змісті освітніх процесів та міжнародних зв'язків.

Вище ми лише стисло узагальнили те, з чим читач може детально познайомитися в книзі. Підготовка та публікація даної монографії – це спроба зазирнути за горизонт суспільного прогресу. Актуальність цього обумовлена важливістю соціального прогнозування. Адже лише передбачаючи прийдешні зміни, можна приймати випереджальні рішення щодо соціально-економічного устрою, обґрунтовано планувати використання

ресурсів суспільства, цілеспрямовано контролювати й спрямовувати процеси виробництва та споживання продукції, свідомо управляти ходом соціального розвитку людства та процесами біосферного метаболізму планети.

У цьому зв'язку монографія корисна не лише науковцям, керівникам різного рівня управлінських структур і фахівцям підприємств та бізнесу, але й викладачам та студентам освітніх закладів.



Розділ 1. ОБУМОВЛЕНІСТЬ ТА ДРАЙВЕРИ ФОРМУВАННЯ АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ

1.1. Триалектика обумовленості переходу до адитивної економіки

Все, що існує в світі, є відкритими стаціонарними системами й 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 напрям (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 яких вона має можливість 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 фазового бар'єру.

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 напрямку навіть при достатніх ресурсах стан системи може погіршитися через зниження ефективності її функціонування. В найгіршому варіанті система може припинити своє існування. Це означає, що система не пройшла фазовий бар'єр. Сказане стосується перш за все соціальних систем.

1.2. Триалектика системоутворювальних начал і розвитку систем

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

- *матеріально-енергетичне* (або просто – матеріальне); воно *рухає*, дає можливість системі та її окремим частинам (під-системам) рухатися, трансформуватися й виконувати роботу, а отже, змінюватися й розвиватися;
- *інформаційне* – *направляє*; воно забезпечує спрямованість руху в просторі й часі; завдяки цьому началу формуються інформаційний алгоритм взаємодії між собою окремих частин системи й 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 продуціювати лише «броунівський рух» – безсистемне шарахання об'єкта в різні боки. З іншого боку, спрямовувати й 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 й 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 сказаного 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 й витратити енергію, виконуючи роботу.

Як *інформаційна програма* вона самоорганізується, сприймаючи й переробляючи інформацію зовнішнього середовища, а також 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 й коригування, по-перше, параметрів її власних підсистем заради виконання загальносистемних функцій, а по-друге, самої системи в цілому з іншими подібними їй системами під умови їх надсистемного рівня.

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

Підприємство створюється за допомогою формування його головних засад:

- *матеріальної* основи (основного й оборотного капіталів); це забезпечує виконання силових функцій із виготовлення продукції;
- *інформаційної*; забезпечує дію алгоритмів (технологій), за якими підприємство здійснює свою виробничу й торговельну діяльність, а також керує ними;
- *синергетичної*; забезпечує реалізацію зв'язків усередині й поза межами підприємства;
- *інтеграційної*, яка утворює цілісний потенціал відтворення трьох зазначених основ.

Підприємство буде деградувати, якщо процеси відбуватимуться в зворотному напрямку:

- 1) спрацювання основного капіталу буде недоамортизуватися, 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 всередині підприємства та на зовнішньогосподарському рівні;
- 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 трансакціях) – між ланками економічної системи.

Логіка еволюції людства в його просуванні до адитивної економіки виявляє тенденцію вдосконалення саме зазначених «вузьких місць», тобто *інформаційного алгоритму* управління процесами виробництва й 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.



Рисунок 1.1 – Ключові інструменти переходу до адитивної економіки

Відповідно до трьох згаданих груп природних начал, можна розглядати три групи інструментів впливу на трансформаційні процеси: через зміну матеріальних активів, інформаційного алгоритму (програм) функціонування систем та корекцію синергетичних факторів (комунікацій, зв'язків, відносин) (рис. 1.1).

1.3. Аналіз об'єктивних передумов переходу до адитивної економіки

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

Сестейновість (sustainability) – це стан упорядкованості (rearrangement) технічних, наукових, екологічних, економічних і соціальних активів, який досягається і постійно підтримується на основі дії зворотних зв'язків і при якому система здатна забезпечувати динамічну урівноваженість процесів свого метаболізму в часі і просторі (Хенс і др., 2007).

Концепція сестейнового розвитку фактично передбачає підтримання сестейнового (динамічно рівноважного) стану триєдиного системного цілого, що містить три базові компоненти: людини (як біологічної істоти) – природи – суспільства.

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 – самовідтворювалася) стійкість кожної із згаданих систем. Біологічна природа людини значною мірою обмежує умови середовища, в 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 й 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 лівову 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 прогодувати і створити умови життя для тієї кількості людей, які живуть на планеті.

Якщо не змінюється технологічний рівень виробництва, й залишається незмінним рівень питомого екологічного навантаження від обслуговування одного мешканця планети (останнє вимірюється, зокрема, показниками природоємності, матеріало-

місткості, 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 й її неухильний соціальний прогрес. Без нього цивілізація може перетворитися на якусь подобу мурашника (за влучним висловом радянського філософа О. Зінов'єва, – «человейника»), 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 науко-

вого прогресу з'являються нові форми впливу на довкілля. Перебудовуючи своє життя, людина змінює й природу.

Згідно з прогнозами (Капица, 2010), стабілізація населення (демографічний перехід) Землі може настати в межах 2050 року.

Констатуючи незаперечливий факт негативного, 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 драйвера, певної рушійної сили, соціального прогресу. Перехід до адитивної економіки, зокрема, і стало результатом пошуку шляхів розв'язання протиріччя між необхідністю виробничого комплексу задоволення зростаючих потреб населення й обмеженістю природно-ресурсного потенціалу планети. За умов стабілізації кількості населення Землі людству доведеться відшукувати інші форми мотиваторів для забезпечення свого прогресивного соціального розвитку.

Отже, зазначимо. В умовах, коли процеси впливу людини на природу досягли глобальних масштабів, у її арсеналі залишилися 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 (Вайцзеккер и др., 2013). Саме на це й спрямоване формування адитивної економіки.

З урахуванням причинно-наслідкових зв'язків можна виділити три рівні цілей: *генеральну мету* – збереження людини як біологічного виду й прогресивний особистісний розвиток людства; *забезпечувальні* цілі – збереження умов, у яких може існувати й розвиватися людство; *підтримувальні* цілі – збереження

біосфери й локальних екосистем, які підтримують умови існування людства.

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, в яких здатна існувати біологічна природа людини (тобто, в 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 з 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 й 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 й 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 тому,

що якщо кількість населення Землі зростатиме й 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. Саме такі завдання покликана вирішити Industry 3.0, яка закладає основу адитивної економіки.

1.4. Фактори обумовленості переходу суспільства до адитивної економіки

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 цілеспрямовування.

Фактори необхідності обумовлені тим, що людина впритул наблизилася й почала переходити небезпечні обмеження руйнації біосфери. До цього ведуть дві 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 доходить 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 природи 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 XXI 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 напрямку трансформацій). У фазовому переході, який ми наразі спостерігаємо в ході сучасних промислових революцій, проглядається спрямування розвитку цивілізації 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 про-

гресу 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).

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 із дефіцитом робочої сили в Європі, де в процесах кількох спустошливих епідемій відбулася депопуляція населення, яка спричинила дефіцит робочої сили. Лідируючу 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, Ньюкомен 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 винайденої 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 й інші проблеми модернізації саме матеріальної основи. На зміну деревині як основного будівельного й конструкційного матеріалу

прийшов метал, який давав можливість різко підвищити міцність виробів, а отже, й 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, а також 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, телеграфу).

Друга промислова революція була пов'язана з формуванням цілісної системи машин і механізмів, а також перетворенням виробництва на цілісний індустріальний світ.

Фабричний монстр, побудований на парових машинах, збільшився в розмірах, набув енергетичної могутності, але був незграбним у своїй координації та почав «задихатися» без нових інформаційних ідей. Вони стали життєво необхідними для удосконалення виробничого обладнання, підвищення точності його роботи, поліпшення якості продукції, що випускалася, об'єднання в єдине системне ціле виробничих потужностей, що розпов-

залися на великі відстані від джерел сировини й 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 вдалих 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 й 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 й самі *інформаційні фактори*. Зазнали підйому фундаментальна та прикладна науки. Держава й окремі корпорації почали вкладати в це значні кошти. Виникли нові засоби фіксації, обробки, передачі й 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, застосуванні специфічних прийомів впливу на робітників, їх організації й мотивації праці.

Таким чином, можна стверджувати, що Друга промислова революція створила не тільки металорізальні верстати, потокове виробництво, електрику, телефон, радіо, комп'ютер, автомобіль та авіацію. Її творінням стала також нова «людина-труд» – 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 й фінансовими можливостями перетворилися на масових споживачів (а отже, й 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 й навіть елементи комп'ютерної техніки. Те саме можна сказати й про ще одну частину товарів, що надходять на ринок, – *засоби виробництва*. Не менше інформатизується й *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 й 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 останніх 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 і екологічно спрямоване перетворення самої людини. За таких умов необхідно прагнути не до збільшення масштабів, потужностей і форм суспільного виробництва, а скоріше 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 і синергетичні. Однак на сучасному етапі естафета лідерства переходить до *синергетичних* факторів. Саме вони покликані інтегрувати окремі компоненти локальних економічних систем в єдине системне ціле – глобаль-

ну 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 (горизонтальні розподілені мережі).

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» країна – також нездійсненне без аналітичного й інтегруючого впливу інформаційних мереж (передусім Інтернету і Хмари).

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

Фактично межу ХХ і ХХІ 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, збері-

гання та відтворення інформації в будь-яких її формах (друкованих, аудіо-, відео-). Це й стало в кінцевому підсумку причиною вибухового лавиноподібного прогресу суспільних відносин і технологій, зокрема, через трансфер останніх, оскільки швидкість розвитку будь-яких систем (зокрема 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) й 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 та замкнені цикли використання ресурсів. Не випадково в англійській мові щодо екологічних виробів використовуються терміни: «environment friendly» та «natural sound», що означає *дружній* відносно 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 біологічної сутності «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 і 3D-принте-

рів); 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 та 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, 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) акумулювання енергії; в) виробництва та експлуатації 3D-принтерів; г) фіксації, обробки і передачі інформації. У цьому переконують факти безлічі публікацій.

З 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 (Shahan, 2016).

Сьогодні ми стаємо свідками безпрецедентного скорочення вартості 3D обладнання (принтерів, сканерів, ручок). Зокрема, такий пристрій може коштувати не більше холодильника – в межах від 100 до кількох сотен 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 застосу-

вання й до старту Четвертої промислової революції (Industry 4.0), основою якої є ідентифікація матеріальних об'єктів машинами.

Формування зазначених передумов створило реальну основу для вирішення в ході Industry 3.0 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 й 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-економічної 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 планети.

Передбачається, що кіберфізичні системи будуть об'єднані в єдину мережу з формуванням усередині неї своєрідних локальних кібернетичних «екосистем», які функціонально обслуговуватимуть, 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 (Schwab, 2016; Industry 4.0, 2016) автором сформульовані найважливіші функції, які зазначені кіберфізичні системи повинні будуть виконувати *без участі людини*:

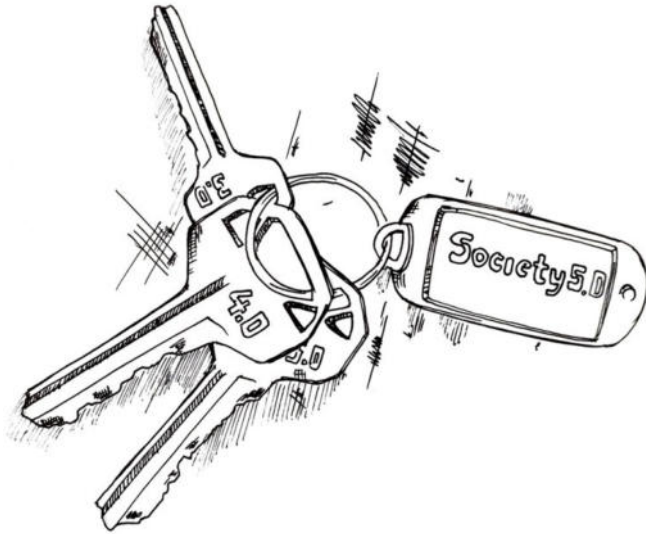
- *обмін інформацією* (своєрідне «спілкування» між собою) в режимі реального часу;
- *контроль параметрів* зовнішнього середовища й своїх власних;
- *самоактивізація і зупинення* при певних інформаційних сигналах;
- *самонастроювання* на оптимальні режими роботи;
- *прогнозоване* (випереджальне, профілактичне) 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 й 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-трудо. Вона звикла до виконання стандартних операцій, на яких виробляються стандартизовані товари для споживачів зі стандартними потребами та запитами.

На місце людини-трудо 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.



Розділ 2

СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОЧІКУВАНОГО СУСПІЛЬСТВА ТА СУЧАСНИХ ПРОМИСЛОВИХ РЕВОЛЮЦІЙ (INDUSTRIES 3.0, 4.0, 5.0)

2.1. Контури нового суспільства

З початку XXI століття людство увійшло в епоху фазового переходу до нової соціально-економічної формації. Її контури у багатьох публікаціях пов'язують із соціально-економічною та культурною стратегією розвитку людської цивілізації під умовною назвою «Суспільство 5.0» (англ. Society 5.0, або Super Smart Society, тобто «супер розумне суспільство»). Передбачається, що згадане суспільство ґрунтуватиметься на використанні інформації та інформаційних технологій у всіх сферах життя. Ініціаторами розробки даної стратегії виступили японські вчені та експерти (Society 5.0, 2019).

Що означає порядковий номер 5 у назві формації? Які суспільства мають на увазі як попередні? Японські автори статті «Реалізуючи Суспільство 5.0» (Realizing, 2019) пов'язують із цим такі види соціально-економічних формацій:

- 1.0: товариство мисливців та збирачів;
- 2.0: аграрне суспільство;
- 3.0: індустріальне суспільство;
- 4.0: інформаційно-орієнтоване суспільство.

Мається на увазі, що при формуванні Суспільства 4.0 на основі проривних інновацій було побудовано базис розвинутої інформаційної формації. До цього часу винайдено комп'ютер та здійснено масову комп'ютеризацію суспільства на основі персональних комп'ютерів (ПК). З'явився мобільний телефон, який згодом почав виконувати багато функцій ПК. Було створено Інтернет, який освоїв дистанційний режим роботи (через Wi-fi). На зміну аналоговим системам фіксації та передачі інформації прийшли цифрові. Було закладено основи створення штучного інтелекту, роботів та 3D-принтерів.

Формування Суспільства 5.0, на думку зазначених авторів концепції, передбачає: створення Інтернету речей, активне використання штучного інтелекту, колосальний прогрес біотехнологій, створення нових матеріалів з безпрецедентними властивостями, провідну роль кіберфізичних систем у функціонуванні економічних систем, реалізацію функцій «хмарних» технологій, що управляють, і багато іншого.

Перехід до Суспільства 5.0 реалізується під час Четвертої промислової революції (Industry 4.0) на основі про проривних технологій (disruptive technologies).

З інтерпретацією такого розвитку суспільства співзвучні погляди Президента Всесвітнього економічного форуму в Давосі Клауса Шваба. У книзі «Четверта промислова революція» (Schwab, 2017) він так позначив терміни та значення попередніх промислових революцій.

Перша промислова революція (1760-ті-1840-і роки) привела в кінцевому рахунку до створення механічного виробництва.

Поштовхом до неї став винахід парового двигуна та будівництво залізниць.

Результатом Другої промислової революції (кінець XIX ст. – початок XX ст.) стало виникнення масового виробництва. Фундаментом для цього було поширення електрики та використання конвеєра.

Основою Третьої промислової революції (1960-ті рр. – кінець XX ст.) стало розвиток комп'ютерів, зокрема, персональних (ПК), використання напівпровідників, перехід на «цифру», створення Інтернету. Результатом стали інформатизація суспільства та розвиток інформаційних технологій.

Четверта промислова революція розпочалася на межі нового тисячоліття. Вона спрямована на формування кіберфізичних (розумних мереж), здатних функціонувати без участі людини (Schwab, 2017).

Б. Россі більш конкретно позначає зміст та терміни Третьої та Четвертої промислових революцій, даючи їм лаконічні в одне слово визначення (Rossi, 2018).

1.0 – (початок 1780-ті роки): Механізація (на основі машинного виробництва, що приводиться до руху водою та паром).

2.0 – (початок 1870-х років): Електрифікація (масове виробництво з використанням складальних ліній).

3.0 – (початок 1970-х років): Автоматизація (автоматизація з використанням електроенергії та комп'ютерів).

3.5 – (початок 1980-х років): Глобалізація (перенесення виробничої діяльності за кордон у низьковартісні (low-cost) економіки).

4.0 – (наші дні) – Цифровізація (використання підключених пристроїв, баз аналітичних даних, штучного інтелекту для подальшого розвитку процесів автоматизації).

5.0 – (майбутнє) – Персоналізація (концентрація на взаємодії між людиною та машиною, досягненні гармонії розумової діяльності людини з когнітивними комп'ютерними системами; передбачає повернення людини у виробничі процеси, кастомізацію та персоналізацію споживання).

Одного з ідеологів європейської «зеленої» революції, Джемсі Ріфкін (Rifkin, 2013; Перелет, 2017), дотримується дещо іншого хронологічного та змістовного трактування циклів розвитку людського суспільства. Зокрема, на його думку, захід сонця Другої промислової революції припав на кінець 1980-х – початок 1990-х років (Rifkin, 2013). А починаючи з кінця 2000-х стартував хід Третьої промислової революції (Industry 3.0), ініційованої країнами ЄС. Її магістральним напрямом є радикальне вирішення глобальних екологічних проблем та побудова «зеленої» економіки. Остання покликана колосально знизити матеріаломісткість та енергоємність соціально-економічних систем. Її опорними вузлами є альтернативна енергетика, адитивні технології на основі 3D-принтерів, горизонтальні (розподілені) системи виробництва та споживання продукції. Дж. Ріфкін так формулює ключові напрями Industry 3.0 за умов ЄС:

- 1) розвиток «зеленої» енергетики;
- 2) використання для установок ВДЕ деталей вже задіяних об'єктів інфраструктури (зокрема, дахів та фасадів будівель);
- 3) формування потужних та ефективних енергозберігаючих систем;
- 4) створення інформаційно-енергетичної системи (ЕнерНет) для управління процесами виробництва та розподілу енергії;
- 5) електрифікація транспорту.

Уважний аналіз аргументів переконує, що розбіжності у наведених публікаціях не так характеризують протиріччя між названими концепціями, скільки є наслідком поглядів на різні аспекти названих явищ. Зокрема, на чільне місце свого трактування процесів розвитку суспільства К. Шваб ставить трансформацію технологічного базису засобів виробництва, тоді як Дж. Ріфкін та інші прихильники відповідної концепції – природно-ресурсні аспекти еволюції суспільства. Не кажучи вже про те, що хронологічні межі подій, що наводяться дослідниками, можна вважати виключно умовними. Наприклад, останні десятиліття ХХ століття в одному випадку називаються окремою інформаційно-орієнтованою фазою (революцією) розвитку продуктивних сил, що має,

до речі, подальший розвиток за межами зазначеного періоду (Schwab, 2017; Schwab et al, 2018). В іншому випадку ці самі явища автором концепції Industry 3.0 відносяться до завершального етапу Другої промислової революції (Rifkin, 2013).

Як би там не було, доводиться визнати, що нині людству доводиться жити в епоху одночасно трьох промислових революцій. Кожна з них вирішує свої завдання, але разом вони реалізують фазовий перехід до безпрецедентної соціально-економічної формації, що показано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Роль промислових революцій у здійсненні сучасного фазового переходу

Представлені вище класифікації трансформаційних зрушень людської цивілізації досить точно передають найхарактерніші особливості критичних періодів розвитку суспільства. При цьому на чільне місце класифікаційних ознак висувається зміна технологічної основи продуктивних сил суспільства.

2.2. Людський вимір промислових революцій

На нашу думку, для розуміння глибинного змісту згаданих еволюційних процесів необхідно уважно проаналізувати ще один вимір трансформацій, що відбуваються. Основним критерієм його мають бути зміни внутрішньої сутності самої людини.

В основу такого гуманітарного підходу могла б бути покладена ідея українського філософа П.П. Бобровського про троїчність внутрішньої сутності людини (Бобровський, 1973; Бобровський та ін, 1992). Основна сутність її зводиться до такого.

Кожна людина є єдиною системою, утвореною тріадою її сутнісних начал: «біо», «соціо», «трудо». «Біо» формується матеріальною природою людини й реалізується за допомогою фізіологічних процесів метаболізму, що протікають в її організмі. «Соціо» є нематеріальним інформаційним началом, що реалізує особистісну сутність людини. «Трудо» функціонує на основі здатності людини здійснювати роботу за рахунок інтеграції силових властивостей людини «біо» та особистісного потенціалу людини «соціо». Відмінність сутнісних начал людини зумовлює формування трьох різних груп потреб, які значно відрізняються одна від одної, а багато в чому навіть є взаємосуперечливими (Докладно – Мельник, 2017).

Виходячи з цієї теорії, еволюційну траєкторію сутності людини у світлі революційних цивілізаційних трансформацій можна уявити так.

Когнітивна революція (коли людина виокремилась з тваринного світу як мисляча істота) являє собою зародження в людині її особистісного начала.

Аграрна революція (коли людина від збирання перейшла до цілеспрямованого виробництва необхідних засобів існування ознаменувала виникнення в людині трудового початку).

Перша промислова революція заклала основи для фізичної емансипації людини. Такі можливості з'явилися з винаходом машини та використанням її на найбільш трудомістких операціях. У трудовому началі людини з'явився плацдарм для масового прояву особистісних властивостей людини. З розвитком машинного виробництва став зростати запит на особистісні властивості людини-трудо (розумова праця, ініціатива, організаторські здібності, ін.). До машинного виробництва потреби використання особистісного начала у виробництві (виконанні функцій планування, організації, технологічного супроводу, ін.) задовольнялися головним чином за рахунок незначної кількості представників правлячого класу. Розширення сфери машинного виробництва зумовило зростання потреб у особистісних якостях працюючих.

Друга промислова революція знаменувала собою формування індустріальної сфери виробництва у всьому різноманітті її технологічних та інституційних засад. «Чорні комірці», тобто. працівники фізичної праці, масово замінювалися на «білі комірці», тобто. працівників розумової праці

Однак на виробництві масово знадобилися не тільки інтелектуальні здібності людини, але й інші її характеристики, що вимагають прояви волі, винахідливості, цілеспрямованості, психологічної стійкості, кмітливості та ін. Нарівні із забезпеченням загальної грамотності це дало поштовх до розвитку інших властивостей особистісної людини.

Найважливішим наслідком Industry 2.0 стала масова інформатизація потреб людини. Окрім товарів для задоволення фізіологічних потреб людини-біо стали масово вироблятися та споживатися товари, що задовольняють потреби трудового та особистісного начал людини, які все більше наповнювалися інформаційним змістом.

Тим часом в умовах Другої промислової революції почали все виразніше виявлятися та посилюватися властивості особистісного начала людини ще за одним вектором. Людина стала дедалі більше соціологізуватися, тобто ставати колективною. Цьому сприяла участь у трудових виробничих та соціальних

колективах. Ця властивість отримує подальший розвиток в умовах Третьої промислової революції. Інтернет приніс мережеві форми для подальшого формування колективних (синергетичних) властивостей розвитку людини та перетворення її на людину мережеву.

Досить сказати, що спільність людей, об'єднаних у віртуальній мережі Facebook (1400 млн. осіб), сьогодні перевищує населення таких найбільших країн, як Китай (1360) та Індія (1240). А кількість мешканців Землі, які використовують Twitter (646 млн чол.), набагато більша, ніж населення США (318), Індонезії (247) та Бразилії (202) (Schwab, 2017).

Як зазначалося, за умов реалізації Третьої промислової революції має отримати максимальний прояв наукова творчість особистісного начала людини у виконанні нею своїх трудових функцій. Результатом, наприклад, став колосальний прогрес у розвитку альтернативної енергетики та адитивних технологій. Все це заклало основу для вирішення глобальних екологічних проблем. Одночасно людина все більше набуває якостей людини мережевої, здатної діяти на основі одного з принципів сестейного розвитку: «думай глобально – дій локально».

У разі реалізації Industry 4.0 людина максимально звільняється від виконання операцій рутинної фізичної праці. Якщо раніше людина намагалася використовувати роботи лише для шкідливих, небезпечних та монотонних операцій, то тепер експансія машин – кіберфізичних систем – у виробниче середовище стає всеосяжною. Інтернет речей здатний функціонувати загалом без участі людини. Останній необхідний лише як суб'єкт кінцевого споживання (товарів та послуг).

Здавалося б, справджується вікова мрія людства – воно звільняється як від фізичної праці, так і взагалі від виробничих функцій. Створюються передумови для соціального розвитку особистісного начала людини... Однак це лише передумови. І – не факт, що без участі у найскладніших завданнях конструювання систем життєзабезпечення планети, а перебуваючи осторонь цього процесу у ролі творчого життєописувача, людина зможе повною мірою реалізувати свій особистісний розвиток.

Створення умов соціального прогресу є найскладнішим соціальним завданням.

На вирішення цього завдання й спрямована Industry 5.0, метою якої є «персоналізація» (від англ. personality – особистість) як самого виробництва, так і потреб, які воно покликане буде задовольнити.

2.3. Драйвери прояву сучасних промислових революцій

З урахуванням змістовної основи сказаного, можна зробити важливі висновки.

«Зелена» економіка життєво необхідна. Об'єктивною необхідністю сучасного етапу розвитку людської цивілізації є перехід до нової соціально-економічної формації. Вона може називатися по-різному через багатогранність її як явища. Ключові особливості цієї формації диктуються цілком об'єктивними обставинами. Базовою передумовою такого переходу є вирішення комплексу протиріч, які можуть бути умовно названі природно-ресурсними. Йдеться про нагальні потреби зменшити обсяги матеріального метаболізму економічних систем суспільства до значень несучої здатності екосистем планети. Остання показує здатність відтворювати ресурси та переробляти відходи. Це завдання передбачає радикальне зниження матеріаломісткості та енергоємності економічних систем.

У доповіді Міжнародного енергетичного агентства наголошується, що проекти у галузі альтернативної енергетики за останні чотири роки реалізуються швидше, ніж планувалося. Вже сьогодні частка відновлюваних джерел енергії у світовій електроенергетиці досягла 26%, а до 2024 року може зрости до 30%. У 30 країнах вартість відновлюваної електроенергії зрівнялася із вартістю електроенергії, що отримується за рахунок спалювання вугілля, а до 2024 року може ще знизитися на 15–35% (Global, 2020).

Великі можливості демонструє адитивна технологія на основі 3D-принтерів. Зокрема, її теоретична ефективність щодо використання матеріалів оцінюється до 97%. Крім інших переваг це означає багаторазо-

ве зниження навантаження на природне середовище. Адитивні методи виробництва дозволяють знизити кількість відходів порівняно із субтрактивними (традиційними) методами на 90% (Additive, 2021).

Поряд з екологічними ефектами адитивні технології дозволяють отримати значну кількість додаткових вигід (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Оцінка вигід застосування 3D-друку у виробництві (Gartner, 2014; Schwab et al, 2018)

Напрямок отримання вигід	Оцінка, %
Створення прототипів	24,5
Підвищення ефективності та зниження собівартості	19,0
Розробка продуктів	16,1
Інновації (створення нових продуктів, які неможливо створити традиційними методами)	11,1
Розробка персонафікованих продуктів	8,0
Оптимізація джерел ресурсів та логістики	6,5
Нові джерела доходу	4,8
Поліпшення (розширення) модельного ряду	4,5
Трансформація обслуговування клієнтів	4,2
Інше	1,3
Усього	100%

Згадані зміни характеризують, умовно кажучи, лише верхню частину айсберга такого багатогранного явища, як фазовий перехід. Його належить зробити людству на шляху до нової формації. В результаті реалізації зазначених перетворень докорінно повинні змінитися продуктивні сили та виробничі відносини суспільства. Невід’ємними компонентами цього системного явища неминуче мають стати тотальна інформатизація («цифровізація») та сестейнізація суспільства.

В результаті мають бути досягнуті: масова автоматизація виробничих та споживчих процесів, впровадження «розумних» економічних систем, перехід до горизонтальних (розподілених) схем взаємодії між економічними суб’єктами, формування солідарної економіки та багато іншого.

Як бачимо, таке багатогранне явище має набути багато «проявів». Не випадково, сьогодні майбутнє суспільство й відповідна йому економічна система мають стільки назв, залежно від базового аспекту, який дослідник розглядає як ключову кла-

сифікаційну ознаку. Найбільш узагальнюючими назвами, що характеризують соціально-економічну формацію, є: постіндустріальне, інформаційне, мережеве, цифрове суспільство, суспільство знань, суспільство 5.0. Відповідні назви знаходять і майбутня економічна система. Її називають: «ною», «цифровою», «інформаційною». Умовно така економіка може бути також названа сестейною, оскільки забезпечує досягнення цілей сестейного (sustainable) розвитку. Але її можна назвати і «зеленою», оскільки вона заснована на використанні відновлюваних («зелених») природних ресурсів і «зелених» (екологічно орієнтованих) технологій.

Автономні кіберфізичні системи – основа майбутнього виробництва. Неминучим етапом розвитку продуктивних сил має стати набуття штучно створеними кіберфізичними системами відносної незалежності від людини на основі їх самовідтворення та самоорганізації. Саме такий результат проглядається в системній інтеграції компонентів життя, які несе Четверта промислова революція (Industry 4.0). Тут насамперед слід зазначити: Інтернет речей, штучний інтелект, роботизовані системи, «хмарні» технології, нанотехнології, адитивні системи (табл. 2.2).

Такі траєкторії простежуються у силу технічної можливості наукового прогресу продуктивних систем. Вони диктуються водночас чинниками нагальної необхідності розвитку самих технічних систем. Справа в тому, що останні досягли межі, за якою людина не в змозі контролювати стан їх параметрів ні в часі, ні в просторі, ні за фізичними характеристиками. Подальший розвиток створеної людиною техносфери можливий лише за умов самоорганізації, самоконтролю та самовідтворення її компонентів. Зокрема, нанотехнології, що набирають значного поширення, повною мірою реалізуються лише на основі самоорганізації комп'ютерних і процесорних систем. Те саме можна сказати й про інші компоненти майбутнього технологічного середовища: Інтернет речей, Хмару, «розумні» мережі, біотехнології.

Таблиця 2.2 – Прогноз найважливіших подій розвитку Інтернету речей на 2025 р. (складено за: Schwab, 2017; Schwab et al, 2018; Disruptive, 2013; Christensen, 2016)

Подія	Найважливіші наслідки	
	Позитивні	Негативні
	Можливість подвійного ефекту	
1	2	3
Початок імплантації мобільного телефону	Підвищення ефективності лікування, персоналізація даних, моніторинг місця знаходження дітей	Порушення приватного життя; зниження рівня безпеки даних, поява залежності
	Зміна характеру взаємин між людьми	
Близько 10% одягу людей підключено до Інтернету	Персоналізація одягу; моніторинг здоров'я; самоврядне лікування	Порушення приватного життя; зниження безпеки даних
	Ідентифікація у режимі реального часу	
Один трильйон датчиків, підключених до Інтернету	Підвищення ефективності використання ресурсів; зростання продуктивності; покращення якості життя; екологічний моніторинг; підвищення безпеки; здешевлення послуг	Порушення конфіденційності; втрата робочих місць для некваліфікованих працівників; підвищений ризик хакерства та зниження безпеки; підвищення складності та небезпека втрати контролю
	Зміни у бізнес-моделях; поява нових бізнесів та втрата колишніх; підвищені норми використання виробничих та особистих активів; автоматизація інформаційних операцій; зміна інститутів	
Очікується: понад 50% трафіку Інтернету, що надходить до будинків, буде припадати безпосередньо на пристрої (а не розваги чи спілкування)	Підвищення ефективності використання ресурсів та енергії; підвищення комфорту; підвищення безпеки	Вразливість з погляду злочинів та кібератак, зниження конфіденційності
	Збільшення кількості числа робіт, що виконуються з дому та поза домом; зміна числа робочих місць	

1	2	3
Поява першого уряду, який замінив значну частину каналів отримання інформації (наприклад, перепис населення) на джерела великих баз даних	Збільшення числа рішень, які у реальному часі. Поліпшення та прискорення прийняття рішень. Відкрита інформаційна база потенційних інвесторів. Економія витрат ресурсів та часу. Спрощення процедур громадян. Виникнення нових робочих місць.	Занепокоєння за конфіденційність інформації. Втрата традиційних робочих місць. Ризики зловживання власників інформації (алгоритму). Ризики зниження довіри до уряду.
Передбачається 10% безпілотних електромобілів на дорогах провідних країн	Зниження рівня стресу та агресивної поведінки на дорогах. Підвищення рівня безпеки. Підвищення рівня мобільності людей похилого віку та інвалідів. Освоєння електромобілів та зниження викидів.	Втрата робочих місць (водії таксі та вантажних автомобілів). Зниження прибутків від штрафу на дорогах. Збільшення ризику хакерства та кібератак.
	Зміна умов страхування та надання допомоги на дорогах.	

Персоналізація як фундаментальний виклик людству.

Четверта промислова революція дозволяє вирішити комплекс економічних, соціальних та екологічних проблем. Однак вона ставить людство перед серйозними викликами. Провідними є: по-перше, небезпека виходу з-під контролю людини ходу розвитку штучного інтелекту й технологічних кіберфізичних систем; по-друге, ризик соціальної (особистісної) деградації людини, позбавленої за умов Інтернету речей необхідності напружуватися задля забезпечення себе необхідними засобами існування.

Обидві небезпеки невідворотні. Але як говорить один із принципів нелінійного мислення: якщо щось не можна запобігти, його треба очолити. Ймовірно, людство слідує саме таким

шляхом, ініціювавши П'яту промислову революцію. Зокрема, Industry 5.0 є одним із ключових наукових напрямів у країнах ЄС. Магістральний напрямок досліджень – боротьба за саму людину. Ця мета трансформується у два ключові завдання: повернення людини у виробничу сферу та персоналізацію задоволення потреб людини.

Вирішення першого завдання зумовлює трансформацію самої виробничої сфери таким чином, щоб людина могла максимально реалізувати там свій творчий потенціал. Виробництву мають бути потрібні не лише певні компетенції (зокрема, навички) людини-виробника, а й її креативні здібності.

Персоналізація споживання передбачає перехід від масового виробництва стандартних виробів та послуг до задоволення конкретних індивідуальних потреб кожної людини. Але це лише один бік медалі. Англійське слово «personalization» означає не лише задоволення індивідуального попиту, хоча і включає його. Так, останнім часом набуває розвитку процес кастомізації (від англ. customization). І це дійсно означає індивідуалізацію продукції під замовлення конкретних споживачів.

І все ж таки персоналізацію слід розуміти значно ширше. Це передбачає задоволення саме особистісних потреб людини, людини-особистості (personality), які забезпечують її соціальний розвиток. Нагадаємо: це, зрештою, і є провідною метою сестейнового (sustainable) розвитку людства, проголошеного на Всесвітньому саміті в Ріо-де-Жанейро в 1992 році.

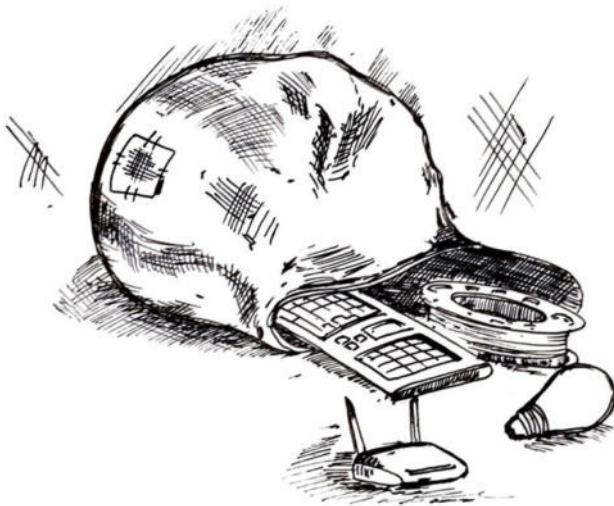
Сказане дозволяє зробити висновок, що виникнення та перебіг трьох промислових революцій сучасності носить закономірний характер, зумовлений логікою розвитку суспільства та взаємовідносин біологічного, трудового та особистісного начал людини в конкретних природно-ресурсних умовах планети.

Третя промислова революція, суттєво підвищуючи ефективність функціонування виробничих систем та дематеріалізуючи індустріальний метаболізм (знижуючи багаторазово матеріаломісткість та енергоємність економічних систем), закладає передумови для вирішення проблем глобальної екологічної кризи.

Четверта промислова революція, формуючи глобальну єдність самоврядних кіберфізичних систем, створює передумови для вирішення проблеми управління процесами життєдіяльності цивілізації, підвищену інформаційну складність яких саме людство контролювати не в змозі.

Магістральним напрямом П'ятої промислової революції є пошук рішень, які б сприяли подальшому розвитку особистісного начала глибинної сутності людини. Окремими завданнями є повернення людини у сферу виробництва для вирішення творчих завдань у єдності з когнітивними фізичними системами (штучний інтелект, комп'ютер, роботизовані системи), і навіть персоналізація споживання.

Як відомо, майбутнє завжди закладається у теперішньому. Тож, вже сьогодні виникають та реалізуються інновації, покликані стати «спусковим гачком» майбутніх змін, здатних подарувати надію не просто на існування людини біологічної, але на її прогресивний особистісний (соціальний) розвиток.



Розділ 3 ЗМІСТ АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ

3.1. Передумови переходу до адитивної економіки

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

За субтрактивними методами виробництва стоїть вся економічна система від отримання первинної сировини до споживання кінцевих продуктів і утилізації відходів, що залишаються. Наведену вище пропорцію часток ресурсів, що корисно використовуються, і отриманих відходів слід розглядати як коефіцієнт корисної дії функціонування систем життєзабезпечення суспільства, який, як ми бачимо, не перевищує 10%.

Так працює не лише переробка матеріалів, але й енергетика, яка забруднює своїми відходами усі три природні сфери: повітря, водні джерела й природні ландшафти. При цьому майже половина основних фондів в тепловій енергетиці (за деякими оцінками, 30-40%) витрачається лише на очисне устаткування, яке взагалі не здійснює корисної роботи.

Подібним чином працює транспорт, який для переміщення вантажів потребує вилучення із екосистем величезної кількості компонентів природних ландшафтів на дороги, трубопроводи, різні види комунікацій. При цьому значне навантаження на екосистеми створюють процеси видобутку й переробки паливних ресурсів, необхідних для роботи транспорту.

Надзвичайно низькою є ефективність власне виробничих систем, інтерналіями і екстерналіями яких є величезна кількість відходів і руйнування екосистем.

Зусилля людської цивілізації, які сьогодні витрачаються на видобування й переробку ресурсів, а також утилізацію відходів виробництва й споживання можуть бути спрямовані на особистісний розвиток людства й досягнення тієї генеральної мети, яка фактично зафіксована в концепції сестейнового розвитку суспільства.

Зазначена проблема може бути вирішена переходом до принципово іншого принципу використання природної речовини. Підхід, що формується на такому принципі, умовно можна назвати *адитивним*. Він побудований на вилученні з природи лише кількості речовини, що наближена до тієї, яка використовується корисно. Основу адитивних методів виробництва скла-

дають відновлювані джерела енергії й переробка матеріалів за допомогою 3D-принтерів.

Зазначений перехід є складним соціально-економічним явищем, яке наразі відбувається у ході трьох згаданих вище промислових революцій: Industries 3.0, 4.0, 5.0. Кожна з них вирішує особливі завдання. Узагальнимо стисло їх ключові покликання. Industry 3.0 спрямована на пошук і реалізацію дружніх природі засобів виробництва. Аналіз відповідних шляхів аналізується в роботах: Rifkin (2013), Rifkin (2015); Shahan (2020); Solar (2020б); Global (2020); Additive (2021); 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); Harmon (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).

В більшості зазначених публікацій відзначається як провідний тренд сучасності перехід виробничих систем на альтернативну (відновлювану) енергію й адитивні технології переробки матеріальних ресурсів (3D-printing). Особливості адитивних методів виробництва зокрема детально розглядаються в публікаціях (Barnatt, 2016; Additive, 2021; What, 2021a; Berman, 2012; Qianjin et al, 2020; Reddy, 2022; The State, 2021).

Проте поняття «адитивне виробництво» слід розглядати значно ширше, ніж як метод виготовлення продукції. Насправді воно характеризує ключовий принцип взаємодії людини та природи, з чим пов'язані й масштаби впливу людської цивілізації на біосферу планети. Саме під таким кутом зору необхідно розглядати феномен адитивного виробництва. На цьому принципі вибудовується виробничий комплекс соціально-економічної формації, до якої сьогодні прямує людство і яка за цим системоутворюючим принципом може бути названа *адитивною економікою*.

3.2. Поняття адитивної економіки

Сьогодні в науковій літературі широко досліджуються і дискутуються поняття «адитивна технологія» і «адитивне виробництво». Значно менше уваги приділяється поняттю «адитивна економіка», яке логічно продовжує лінію зазначеної понятійної основи.

Взаємний зв'язок між зазначеними категоріями (від більш вузького за змістом поняття «адитивна технологія») до більш широкого – «адитивна економіка» можна прослідити на умовній схемі (рис. 3.1).

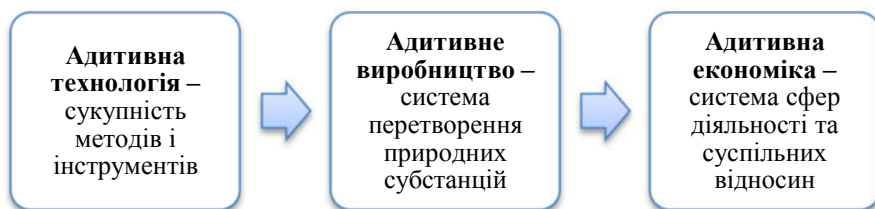


Рисунок 3.1 – Умовна схема взаємного зв'язку категорій «адитивна технологія», «адитивне виробництво» та «адитивна економіка»

В таблиці 3.1 ми формулюємо визначення зазначених категорій.

Адитивна технологія. До недавнього часу в своїй виробничій діяльності людство використовувало переважно *субтрактивні* види технологій. Вони побудовані на відсіканні від вилучених з природи субстанцій зайвих компонентів при виготовленні корисних продуктів. Такі процеси, зокрема, використовуються в металургії, де з загального об'єму металеві руди вилучається лише металева складова, та обробці металів, де значна частина первинного металу переходить у відходи. Схожі процеси використовуються в тепловій енергетиці, де спалюється лише вуглець, що міститься в паливі, а решта ресурсу перетворюється на відходи. За схожим принципом працює хімічна промисло-

вість, де використовується лише незначна частина первинних природних ресурсів, а також багато інших секторів економіки.

Таблиця 3.1 – Визначення категорій «адитивна технологія», «адитивне виробництво», «адитивна економіка» (авторське формулювання)

Категорія	Визначення
Адитивна економіка	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
Адитивне виробництво	Система взаємоув'язаних процесів послідовного перетворення природних субстанцій в готову продукцію, в центрі яких є адитивна технологія
Адитивна технологія	Сукупність методів та інструментів, на основі яких виробництво продуктів відбувається через вилучення з природи та послідовне додавання (adding) до предмета праці лише корисної частини природних субстанцій (енергії та матеріалів) з мінімумом утворення відходів.

На відміну від субтрактивних технологій адитивні (additive) методи формують предмет праці не відсіканням зайвих субстанцій, а послідовним додаванням корисних компонентів. Наявним прикладом є 3D-друк.

Не випадково, поняття адитивної технології й навіть адитивного виробництва ототожнюють з 3D-друком. Зокрема, в літературних джерелах (Additive, 2021; What, 2023a) зустрічаємо таке визначення: *адитивне виробництво* (additive manufacturing – AM) включає технології, які створюють 3D об'єкти (build 3D objects) з комп'ютерної 3D моделі нанесенням (adding) шар за шаром матеріалів: пластику, металу, бетону або біологічної тканини для (останнє – відтворення відповідних органів).

Безумовно, 3D друк належить до категорії адитивних технологій. Але останні не обмежуються лише методами 3D друку.

На нашу думку, до поняття адитивних технологій повинні відноситися й інші методи виробництва, які побудовані на принципі формування предметів праці переважно додаванням корисної частини природних субстанцій.

Зокрема, за своєю сутністю адитивними технологіями є процеси отримання енергії з відновлюваних джерел. Наприклад, сонячну й вітрову енергію отримують напряму від природи без повернення природі попередньо вилучених з неї первинних субстанцій, як це відбувається в тепловій енергетиці на основі спалення вугілля, газу, нафти.

Умовно за своїм змістом до адитивної технології можна віднести також методи транспортування виробів за допомогою передавання на відстань їх цифрових двійників з послідуною матеріалізацією виробів на 3D принтерах, індустриальне агропромисловство та інші сектори економіки.

Адитивне виробництво. Ця категорія передбачає інтеграцію адитивних технологій в цілісну виробничу систему перетворення природних субстанцій по всьому виробничому циклу від видобування природних ресурсів до отримання готового продукту й утилізації відходів.

Адитивне виробництво в кожній своїй ланці включає три ключові системні блоки, які можна умовно назвати: фізичні активи (hard ware), інформаційні активи (soft ware) і матеріали (предмети праці), які проходять обробку у виробничому процесі. Важливою складовою виробничої системи є людський фактор. Саме від знань, навичок та особистісних характеристик працюючих залежить якість реалізації відповідних процесів.

У сучасних умовах надзвичайно важливим фактором удосконалення виробництва є його інтеграція з системою генерації дизайну (generative-design system). Остання передбачає оптимізацію виробничих процесів за допомогою підключення хмарного комп'ютингу (cloud computing) та штучного інтелекту, що дає можливість враховувати важливі виробничі фактори: допустиме навантаження, обмеження, безпекові характеристики тощо (McClintock, 2023).

Як бачимо, поняття «адитивне виробництво» ширше за поняття «адитивна технологія», оскільки включає набагато більше системних компонентів. З огляду на це, навіть виробництва, які мають на завершальних стадіях операції 3D друку, не можна повною мірою віднести до адитивних. Залежно від виду матеріалів, що використовуються, значна частина таких виробництв застосовують не адитивні, а субтрактивні процеси, зокрема ті, що пов'язані з отриманням необхідних матеріалів.

Слід зазначити, що еволюція виробництва матеріалів для 3D друку наразі відбувається саме шляхом пошуку матеріалів, які дозволять застосувати процеси адитивних технологій також і на етапах отримання матеріалів з первинних природних ресурсів. Мова йде про матеріали з целюлози, кераміки, піску та вторинних ресурсів, які мінімізують кількість відходів на стадіях переробки первинної сировини (Zelinski, 2023).

З урахуванням повного виробничого циклу процеси отримання альтернативної енергії знаходяться навіть ближче до критеріїв адитивного виробництва ніж операції 3D принтингу.

Адитивна економіка. Адитивне виробництво забезпечується цілісною системою сфер діяльності людини та суспільних відносин, що узагальнюється поняттям *економіка*. Для збільшення частки адитивних операцій у виробничому комплексі має бути перебудована вся структура процесів у економічній системі, перш за все в циклах виробництва та споживання продукції. Зокрема, важливим кроком у побудові адитивної економіки й розвитку адитивного виробництва може бути перехід на засади *циркуляційного* ресурсовикористання. Цьому сприятиме формування кіберфізичних систем в межах Industry 4.0, впровадження Інтернету речей, перехід на нові форми відносин між виробниками та споживачами продукції. Однією з таких форм є рентне використання споживачами різних об'єктів (будівель, авто, обладнання, інших активів), які залишаються у власності й володінні виробника. У цьому випадку полегшується контроль за станом матеріальної основи об'єктів споживання й створюються

сприятливі умови переходу до циркуляційних схем використання ресурсів.

3.3. Ключові сектори адитивної економіки

Перш ніж вести мову про склад секторів адитивної економіки, слід усвідомити її ключову ознаку. Адитивне виробництво базується на використанні адитивних технологій. В свою чергу, ключовою ознакою останніх є вилучення з природи та послідовне додавання (adding) до предмета праці лише корисної частини природних ресурсів.

На рис. 3.2 показані напрями розвитку секторів економіки, які умовно можуть біти віднесені до адитивних.

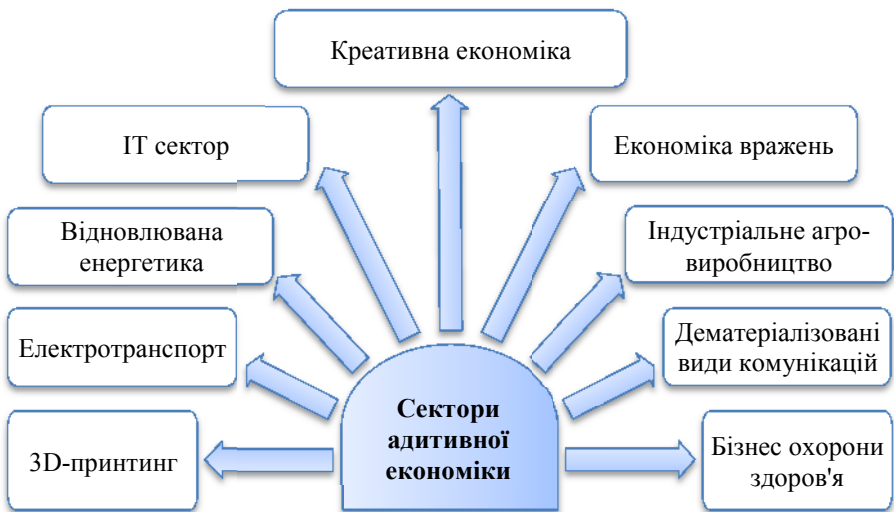


Рисунок 3.2 – Сектори економіки, які умовно можуть бути віднесені до адитивних

Найбільш яскравим прикладом адитивних технологій є 3D-друк, в процесі якого створюється 3D об'єкти з комп'ютерної моделі нанесенням шар за шаром різних видів матеріалів.

Але ключовій ознаці адитивного виробництва відповідають й інші види діяльності людини, наприклад, виробництво енергії з відновлюваних джерел. Зокрема, сонячну й вітрову енергії отримують напряму від корисних факторів природи (тобто через їх додавання) без повернення природі попередньо вилучених з неї первинних субстанцій, як це відбувається в тепловій енергетиці в процесах спалювання вугілля, газу, нафти та інших видів палива.

В процесі переходу до адитивної економіки в Україні суттєво змінюється структура енергетичного комплексу країни, про що свідчать дані таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Динаміка зміни структури джерел отримання енергії та кількості електромобілів в Україні (складено автором за даними Інтернету)

Показник	Рік	
	2010	2020
Частка відновлюваної енергії (включно гідро), %	6	16
Частка відновлюваної енергії (без гідро), %	1	9
Кількість приватних СЕС	1	40 000
Потужність приватних СЕС, МВт	0,02	1 000
Кількість електромобілів	1	30 000

Умовно до категорії адитивних технологій можна віднести й використання електричного транспорту. Поняття умовності в даному випадку доцільно застосовувати через складний характер циклу використання транспортних засобів. В процесі експлуатації електричного транспорту він відповідає критерію адитивності технології, адже супроводжується практично нульовими відходами. Втім, сучасне виробництво електроенергії є адитивним лише на 30% (саме така частка відновлюваних джерел в загальному виробництві електроенергії на планеті).

Це нагадує ситуацію в 3D-принтингу. Процеси експлуатації 3D-принтерів можна віднести до адитивного виробництва. Втім, матеріали, які використовуються при цьому, виготовляються поки переважно за допомогою субтрактивних технологій.

По мірі збільшення частки відновлюваних джерел електроенергії в загальній її кількості середня ступінь адитивності електротранспорту буде зростати. Проте, вже сьогодні можна назвати окремі приклади, коли повний цикл використання транспорту (від виробництва енергії з альтернативних джерел до його експлуатації) відповідає критеріям адитивного виробництва.

Аналогічно буде зростати ступінь адитивності 3D-друку по мірі застосування адитивних технологій при виробництві «чорнил», тобто матеріалів, які використовуються при 3D-друці. Саме такими є матеріали з кераміки, піску, целюлози.

Безумовно, критеріям адитивного виробництва відповідає ІТ сектор, адже там виробництво кінцевого продукту здійснюється за рахунок додавання виробничих факторів (праці й інфраструкції) з мінімальною часткою природоорієнтованих чинників в загальній вартості кінцевого продукту (електроенергія; матеріали, з яких виготовлені комп'ютери).

ІТ сектор – єдина експортна галузь в Україні, яка під час війни змогла збільшити експорт своєї продукції. За результатами 2022 року ІТ-індустрія забезпечила валютні надходження до української економіки у 7,34 млрд.євро. Експорт ІТ-послуг зріс на 5,8% (на €400 млн) у порівнянні з довоєнним 2021 роком. Сума податків та зборів до зведеного бюджету України, сплачених ІТ-бізнесом, склала 32,2 млрд грн. Це на 4,4 млрд грн (16%) більше за показник попереднього року (Оновлені, 2023). Кількість ІТ-фахівців в Україні сягнула рекордної позначки у 300 тис. осіб (ІТ, 2023).

Одним з важливих напрямів розвитку адитивного виробництва є так звана креативна економіка. Це сектор економіки, що базується на застосуванні переважно інтелектуальної діяльності, де виробництво нового продукту здійснюється через реалізацію унікальних творчих ідей.

Значною мірою креативна економіка розвивається в секторі фрілансерства. Під ним розуміють регулярне професійне виконання працівниками робіт без зарахування до штату якоїсь компанії й без створення власної фірми.

В Україні на початку 2020-х років до найбільш популярних напрямів креативної діяльності у фрілансерстві належали: аудіо/відео, консалтинг, дизайн, арт, роботи з текстами, промоушен (супроводження).

Умовно за своїм змістом до адитивної технології можна віднести також методи транспортування виробів за допомогою передавання на відстань їх цифрових двійників з послідуною матеріалізацією виробів на 3D принтерах.

Ще однією сферою, де адитивні технології отримують інтенсивний розвиток, є аграрне виробництво, побудоване на застосуванні гідропоніки, вертикальних ферм та систем вирощування м'яса з пробірки. Кожен з цих видів виробництва має ознаки адитивних технологій, адже здійснюється з мінімумом залучення природних факторів і фактично реалізується шляхом додавання до предметів праці лише необхідних компонентів.

3.4. Переваги й проблеми адитивного виробництва

Переваги АВ. Адитивні технології, на яких базуються відповідні виробництво й економіка мають цілий ряд переваг, що дозволяють їм успішно конкурувати з традиційними виробничими методами в багатьох секторах економіки. На основі аналізу літературних джерел нами систематизовані конкурентні переваги адитивних технологій у порівнянні з традиційною технологічною основою, що показано на рис. 3.3.

Проблеми АВ. Нарівні з зазначеними очевидними перевагами адитивні технології мають риси, які у ряді випадків ускладнюють їхнє впровадження в практику виробництва (Maу, 2022). До основних з них слід віднести:

- проблеми отримання необхідних матеріалів; наразі можливості самого 3D друку випереджають необхідні властивості відповідних матеріалів; у деяких випадках необхідні матеріали в принципі існують, проте їх застосування обмежує висока ціна матеріалів;



Рисунок 3.3 – Конкурентні переваги адитивних технологій (складено авторами на основі аналізу: May, 2022; Jones, 2023; What, 2023a; Bromberger et al., 2022; Zelinski, 2021)

- відносно висока ціна виробництва для великих серій (тиражів) у порівнянні з традиційними виробничими процесами;
- висока вартість входження; адитивні технології мають ваду (як і більшість інших інноваційних технологій), пов'язану з їх впровадженням в існуючу систему виробництва (необхідність закупівлі принципово нового обладнання й матеріалів, налагодження нової логістики, навчання персоналу для роботи в нових умовах тощо);
- необхідність перебудови інфраструктури підприємства;
- необхідність перебудови зв'язків підприємства (у т.ч. постачальників і споживачів), зумовленої переходом на нові технології й види продукції.

Аналіз стану світових економічних систем дає можливість сформулювати основні напрями використання адитивних технологій в різних видах діяльності на прикладі застосування 3D друку.

Наразі сектор виробництва активів для роботи адитивних технологій в частині 3D друку демонструє надзвичайно динамічні темпи зростання – 22 відсотки на рік. Щорічний продаж продукції сектору наближається до 15 млрд євро. Понад 200 провідних компаній конкурують за розробку ключових компонентів, що забезпечують 3D друк (Bromberger et al., 2022).

Швидкі інновації постійно забезпечують прогрес в удосконаленні технологічної основи 3D друку, створюючи нові можливості, піднімаючи планку потенціалу методів і усуваючи перешкоди та відсуваючи обмеження реалізації методу.



Розділ 4 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ

4.1. Складові фазового переходу до адитивної економіки

Перехід до адитивних методів означатиме й фазовий перехід до нової соціально-економічної формації, яка може бути названа *адитивною економікою*. Це має означати стрибок суспільства до нового рівня ефективності суспільного виробництва.

Фазовий перехід до адитивної економіки насправді означає системне явище, трансформаційними складовими якого повинні стати: адитивізація технологій виробництва, мережевізація виробництва, інформатизація економіки, інформатизація матеріалів, конвергенція і мініатюризація продукції, інтелектуалізація виробництва, колективні форми споживання, перехід на циркулярне ресурсвикористання (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Складові трансформаційних процесів фазового переходу (ФП) до адитивної економіки (складено автором)

Визначимо основні контури зазначених складових АЕ.

АВ об'єднує в собі групу методів виготовлення продукції, що побудовані на поетапному формуванні виробів шляхом додавання матеріалу на основу (платформу або заготовку) за тривимірною комп'ютерною моделлю.

Використовуються методи: селективного лазерного плавлення, лазерної стереолітографії, селективного лазерного спікання, електронно-променевої плавки, моделювання методів багатоструменевого моделювання, використання ефектів ламінування, комп'ютерної осьової літографії.

Сферами застосування АВ є практично всі сектори економіки, зокрема: будівництво, агровиробництво, машинобудування, суднобудування, авіабудування, космонавтика, медицина і фармакологія.

Крім колосальної економії витрат на сировину, в АВ значно знижуються технологічні витрати на підготовку виробничих процесів (витрати праці, енергії, матеріалів) (рис. 4.2). Про сам процес виготовлення, включаючи за необхідності внесення змін і диверсифікацію форм продукції, що випускається, «дбає» керуючий виробничим процесом комп'ютер із 3D-принтером за мінімальних витрат.

Субтрактивне виробництво



Адитивне виробництво

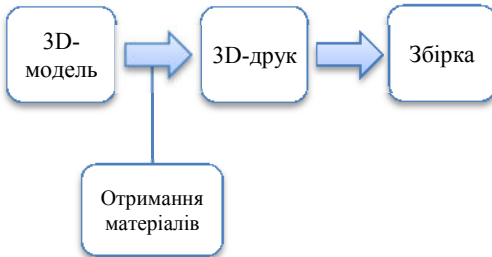


Рисунок 4.2 – Порівняльна схема реалізації субтрактивного і адитивного виробництва (складено авторами)

У сучасній промисловості використовуються такі основні процеси пошарового створення 3D-об'єктів (Аддитивные, 2019):

- UV-опромінення (англ. UV-mapping) – процес в 3D-моделюванні, який полягає в накладанні двовимірного зображення на тривимірну модель (U і V позначають відповідність між координатами на площині тривимірного об'єкта – X, Y, Z і координатами на текстурі – U, V);
- екструзія (E.) (extrusion) – матеріал під час E. видавлюється через екструзійну головку або філ'єру (спеціальний отвір);
- струменеве напилення (spray spraying) – нанесення порошку на попередньо нагріту деталь із пневматичного розпилювача;
- сплавлення (fusion, melting) – отримання сплавів шляхом спільного розплавлення їх складових;
- ламінування (lamination) – процес з'єднання двох або більше шарів різних матеріалів за допомогою в'язучої речовини.

В адитивних технологіях використовуються такі матеріали: *віск, гіпсовий порошок, рідкі фотополімери, металеві порошки, різні поліаміди, полістирол.*

Сьогодні випускаються чотири основні класи 3D-принтерів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Характеристика основних класів 3D-принтерів (3D-принтеры, 2021)

Клас 3D-принтера	Інтервал цін, тисяч дол. США
Промислові	від 100
Дизайнерські	20 – 100
Професійні	2,5 – 20
Персональні / настільні / домашні	менше 2,5

Промислові принтери використовуються на крупних промислових об'єктах і відзначаються високою точністю. Вони можуть працювати з різними промисловими матеріалами (зокрема, надміцними і термостійкими).

Дизайнерські установки використовуються в конструкторській діяльності, зокрема для візуалізації конструкторських ідей, а в ряді випадків і для виготовлення та випробування прототипів майбутніх виробів.

Професійні принтери відзначаються відносно високою надійністю і застосовуються для вирішення різних виробничих, дослідницьких і бізнес-завдань. На відміну від персональних (домашніх) комп'ютерів, вони характеризуються високою точністю, стабільністю і повторюваністю друку; їх термін роботи – 7-10 років (для порівняння: у домашніх – до року).

Домашні принтери відзначаються невисокою якістю, низькою стабільністю побудови, вони використовуються у побуті та школах для виготовлення різних недорогих предметів.

За оцінками аналітичної компанії IEAGROUP, в 2019 році глобальні продажі 3D-принтерів, а також матеріалів, програмного забезпечення і сервісів для цього обладнання склали близько 11 млрд євро. В 2021 році ця сума наблизилася до 16 млрд євро. Прогноз на 2025 р. – майже 42 млрд євро, а на 2029 р. – 103 млрд євро (Romainville et al., 2021).

У 2021 році французька компанія Sculpteo провела аналіз світового 3D-принтингу. Було опитано понад 1900 користувачів 3D-принтерів з 86 країн (The state, 2021). Досліджувалися перспективи розвитку даного виду технології, включаючи визначення галузей і видів діяльності де може застосовуватися 3D-принтинг, форми використання та пріоритетні види матеріалів, які використовує ця технологія. Зокрема, на рисунку 3 показано результати відповідей експертів на питання, якими вони бачать найбільш перспективні види робіт, де може застосовуватися 3D-принтинг (у % кількості позитивних відповідей на дане запитання).

Основні напрями використання 3D-принтерів показані на рис. 4.3.

Прогнозується до 2025 року значне збільшення частки операцій, що виконуються за допомогою 3D-принтерів в різних галузях (рис. 4.4).



Рисунок 4.3 – Найбільш перспективні види робіт, де може застосовуватися 3D-принтинг (Комбаров, 2020)

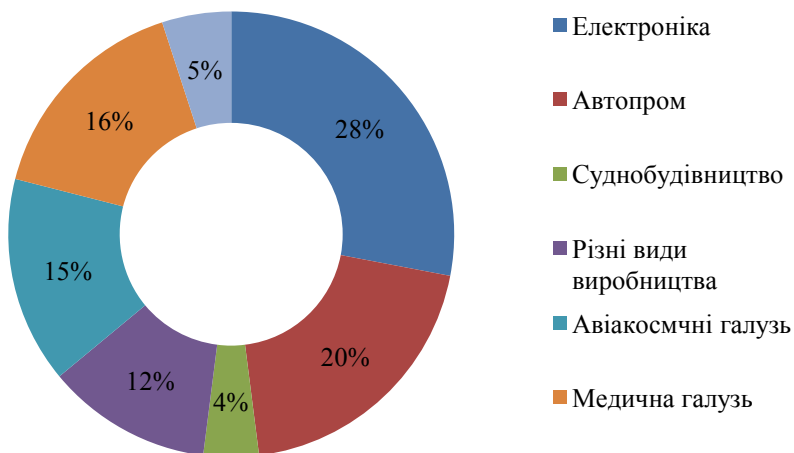


Рисунок 4.4 – Прогнозний рівень впровадження 3D-принтерів в різних галузях до 2025 року (Рынок, 2021)

Зазначеним рівням використання 3D-принтерів у галузях відповідає і приблизна погалузєва структура ринку адитивних систем, що прогнозується на 2025 рік.

Надзвичайно важливою складовою адитивної економіки є зменшення енергоємності і матеріаломісткості продуктів, що випускаються. Це обумовлює зниження преса виробничих систем на природні ландшафти. Практичними інструментами зазначеного напрямку є також конвергенція і мініатюризація виробів.

Адитивне виробництво. *Адитивне виробництво* (АВ) (англ. additive manufacturing – АМ; також як синоніми використовують інші терміни: адитивні технології – additive technologies, фабер технології – faber technologies, 3D-друк – 3D-printing; пряме цифрове виробництво – direct digital manufacturing). Згідно з визначенням, що використовується в англомовній літературі, АВ – це термін, що позначає технології, які створюють 3D-об'єкти (build 3D objects) з комп'ютерної 3D-моделі нанесенням (adding) шар за шаром матеріалів: або пластику, металу, бетону або в один із днів... людської тканини» (Additive, 2021; What, 2021a).

АВ дозволяє реалізувати значні переваги, зокрема:

- необмежені можливості конструювання;
- *безкоштовність* забезпечення складності;
- *безкоштовність* забезпечення варіативності;
- мінімальну *відходність*;
- виготовлення під *вимоги індивідуального замовника* з мінімальною зміною вартості виробництва;
- можливість внесення змін *в останній момент*;
- виключення етапу *збирання*;
- пряма *матеріалізація* інформаційних образів (останні можуть задаватися, зокрема, безпосередньо голосом людини, а в перспективі – і думкою).

Конвергенція. Термін «*конвергенція*» походить від слова converge, що означає «зводити в одну точку», «зводити воедино». Щодо виробництва, бізнесу і споживання конвергенція передбачає об'єднання кількох властивостей та функцій в одному

предметі або пристрої для подальшого використання цього пристрою для різних цілей (Convergence, 2021; Kranz et al., 2021). В роботі (Kranz et al., 2021) дається визначення технологій конвергенції як терміну, що означає поєднання технологій (часто в одному приладі), які до цього застосовувалися окремо одна від одної (as a term “that describes bringing previously unrelated technologies together, often in a single device”). Таким чином, під *конвергенцією*, як правило, розуміється багатофункціональність.

Яскравим прикладом реалізації конвергенції є такий відомий усім приклад, як сучасний мобільний телефон. Він вміщує все те, що ще кілька років тому було окремим, причому досить об’ємним предметом: комп’ютер, телефон, фотоапарат, відеокамера, ліхтарик, записна книжка, годинник-будильник, календар і багато ще чого (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Деякі функції сучасного мобільного телефону (айфона) (складено автором)

Функція	Функція
<ul style="list-style-type: none"> • Телефон • Комп’ютер • Фотоапарат • Слайдскоп • Відеокамера • Словник • Бібліотека • Диктофон • Калькулятор • Довідник • Пульти дистанційного управління 	<ul style="list-style-type: none"> • Записна книжка • Годинник • Таймер • Ліхтарик • Календар • TV-приймач • Радіоприймач • Передавач • Програвач • Принтер • Коректор • Навігатор (GPS)

Утім, в цьому списку повинні з’явитися і носії таких функцій, яких раніше взагалі не існувало, наприклад: «оператор електронної пошти» або «персональний блок пам’яті». Процес конвергенції став можливим завдяки ще одному науково-технічному досягненню – колосальній мініатюризації виробів.

Мініатюризація. *Мініатюризацією* (М.) (франц. miniaturisation, від miniature – щось дуже маленьке) можна назвати методи зменшення розмірів, маси й споживання енергії приладів, механізмів, машин та ін. при одночасному підвищенні їх якісних характеристик, надійності та ступеня автоматизації процесів проектування та виробництва; М. досягається на основі використання блоків і вузлів із мініатюрних елементів і збільшення щільності їх комплектації (Miniaturization, 2021).

Наприклад, щільність упаковки електронної апаратури на основі електронних ламп досягає 0,3 елементів на кубічний сантиметр (ел/см³), на основі напівпровідникових елементів – 2,5 ел/см³, на основі мікромодулів – понад 10 ел/см³, на основі інтегральних схем – тисячі і.с./см³. В останньому випадку мова вже йде про щільність навіть не елементів, а цілих інтегральних схем (Miniaturization, 2021).

Дуже яскраво значення явища мініатюризації охарактеризував один із засновників теорії постіндустріального (інформаційного) суспільства Деніел Белл (Deniel Bell).

«Сьогодні в одній крупинці інтегральної схеми вартістю менше долара, сконцентрована потужність десятків тисяч транзисторів з усіма провідниками, що їх з'єднують. Його ємність – мільйони байтів, і швидкодія – трильйони операцій на секунду» (Bell, 1976).

Хоча це було написано майже півсторіччя тому, сказане наочно ілюструє зміст процесу мініатюризації.

Дематеріалізація. *Дематеріалізація* – це явище зменшення матеріальних елементів (енергії й речовин) у складі технологій, готової продукції і забезпечувальних процесів (транспортування і зберігання) за рахунок збільшення в економічному циклі інформаційної складової.

За останні 20 років вага фото- і відеокамер, магнітофонів, акумуляторів знизилася в рази, а то – й на порядок. За сорок років паливоємність автомобілів зменшилася майже в 10 разів (із 20 до 2 літрів на 100 км шляху) (Вайцеккер и др., 2000; Вайцеккер и др., 2013). Перехід фото- і кіноіндустрії на цифрові технології зробили непотрібною цілу галузь, зайняту виробництвом фото- і кіноматеріалів (плівки, паперу, хімі-

чних реагентів). Крім того, стало непотрібним і виробництво обладнання, необхідного для проявлення, закріплення, друку відповідної продукції. Наочним наслідком зазначених процесів, зокрема, є банкрутство всесвітньо відомої фірми «Кодак», яка понад ста років справно обслуговувала ринок фотоматеріалів, успішно заробляючи великі прибутки.

Значна економія матеріалів і енергії забезпечується за рахунок інформатизації процесів транспортування і зберігання продукції. Сьогодні все більше замість транспортування матеріальних виробів передаються їхні інформаційні образи «цифрові двійники», які отримувач матеріалізує за допомогою 3D-принтерів. Те саме можна сказати про процеси зберігання продукції. Зберігання не самих виробів, а їхніх цифрових двійників не тільки заощаджує колосальну кількість матеріалів і енергії, але й запобігає втраті їхніх якісних властивостей.

Інформатизація матеріалів. *Інформатизація матеріалів* – це цілеспрямована зміна властивостей матеріалів (перш за все їх якісних характеристик та функціонального спрямування), що дозволяє значно збільшити ефективність економічних систем, де використовуються дані матеріали.

ІМ є надзвичайно ефективним напрямом зниження ресурсомісткості всієї економічної системи. Зокрема, це дає можливість суттєво зменшити енергоємність і матеріаломісткість виробничих систем на трьох стадіях: при виробництві вихідних ресурсів, виготовленні самого матеріалу і використанні його в технічних системах.

Так, завдяки впровадженню волоконно-оптичного зв'язку (кварцове, скляне або полімерне волокно) вдалося підвищити швидкість передачі інформації більш ніж на 5 порядків. Один світловод здатний легко замінити цілий кабель, що містить кілька сотень металевих дротів. Зокрема, один світловод, що має діаметр близько 1,5 см, може з успіхом замінити телефонний кабель 7,5 см у діаметрі, що містить 900 пар мідних дротів. Світловод також має цілу низку інших істотних переваг (Бутов, 2003).

Крім того, що нові матеріали при їх незрівнянно вищих функціональних властивостях дозволяють замінити цілий ряд

дорогих і ресурсомістких (при їх виробництві) матеріалів, вони, як правило, також значно (часто на порядки) знижують ресурсомісткість функцій, що виконуються ними.

Зокрема, теплоприток при передачі сигналів у каналах зв'язку з волоконних світлодіодів приблизно в 100 разів менший від теплопритоку передачі сигналів по кабелях із нікелю (Оптическое, 2015).

Але й цим ефекти ресурсозбереження від застосування нових матеріалів не обмежуються. Зазвичай має місце також ефект, обумовлений істотно меншою матеріаломісткістю та енергоємністю їх виробництва порівняно з матеріалами, які вони замінюють.

Циркуляційне ресурсокористування. *Циркуляційне ресурсокористування (ЦР)* – використання відновлюваних ресурсів за замкненими циклами, де закінчення використання певного ресурсу в одному з циклів виробництва й споживання продукції означає початок його використання в іншому циклі.

ЦР закладає основу для побудови циркуляційної економіки (circular economy), або економіки замкнених циклів (cyclo economy, closed-loop economy), тобто цілісної системи виробництва і споживання продукції, побудованій на циркуляційному ресурсокористуванні.

Програма подібної економіки реалізується наразі в Європейському Союзі (New circular economy action plan). Така економіка покликана вирішувати завдання сестейнового зростання (sustainable growth). В Японії формують «Суспільство правильного матеріального циклу». В Південній Кореї прийнята «Стратегія зеленого зростання» (Green Growth Strategy).

Передумови для розвитку циркуляційного ресурсокористування створюються в ході Industry 4.0 і формуванні Інтернету речей.

Кріс Дедікот, старший віце-президент компанії Cisco, звертає увагу на екологічні можливості технічного прогресу: «У циркулярній економіці кожен продукт матиме свою мітку, яка покаже джерело ресурсів, технологію виробництва, вид енергії, використаний для цього, тощо.

...Отримана на основі даних інформація дає можливість підприємствам, містам та країнам ефективніше відновлювати і переробляти відповідні ресурси» (Dedicoat, 2016).

Своє оригінальне визначення циркулярної економіки дають Т. Vauwens та інші. В цьому визначенні автори знаходять місце циркулярному ресурсокористуванню: «Циркулярна економіка – це модель виробництва та споживання, в якій існуючі матеріали й продукти шерингуються (shared), беруться в лізинг, повторно використовуються, ремонтуються, модернізуються та рециркулюються задля якомога довшого використання. Це дає можливість продовжити життєвий цикл виробів» (Vauwens et al., 2020).

Інформатизація економіки. *Інформатизацією економіки* може бути умовно названий процес заміщення в активах виробництва і споживання їхньої матеріальної частини інформаційною складовою.

Інформація все більше починає виконувати функції тих ключових компонентів економічної системи, які раніше виконували матеріальні активи. Серед них можна назвати:

- сировину (напр., первинна інформація);
- засіб праці (комп'ютерна програма, техпроцес, управлінське рішення);
- предмет праці (інформація в обробці і аналізі);
- готову продукцію (навчений фахівець, шоу, наукова інновація);
- засіб споживання (мистецький твір, новина, туризм);
- капітал (джерело отримання прибутку) (патент, бренд);
- товар (об'єкт купівлі-продажу: інформаційна послуга, патент);
- об'єкт власності (авторське право);
- засіб захисту (антивірусна програма, код, пароль).

Причому значення інформаційних форм економічної системи і далі неухильно збільшуватиметься.

У сучасних засобах праці провідне значення інформації обумовлено двома причинами: по-перше, тим, що вона відіграє першорядну

роль у виконанні виробничих функцій; по-друге, переважною часткою її вартості в загальній ціні виробу, яка досягає іноді 80–90%. Зокрема на маленький електронний блок, що керує операційними режимами, припадає близько 70% ціни сучасної пральної машини-автомата.

Все більше інформатизуються споживчі товари. В багатьох сучасних товарах та послугах матеріальна їхня складова виконує роль лише носія інформації (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Деякі види сучасних інформаційних товарів

Найбільш значна трансформація обіцяє відбутися в самій людині. У тріаді її складових «біо-трудо-соціо» провідну позицію повинна посісти особистісна (інформаційна) сутність людини, тобто людина «соціо». Це означає, що саме особистісні властивості людини визначатимуть розвиток виробничого середовища і формування контурів всього суспільства.

Мережевізація економіки. Під *мережевізацією економіки* слід розуміти організаційну трансформацію побудови економічних циклів, внаслідок якої концентровані на території великі виробничі об'єкти (підприємства, комбінати, об'єднання) заміщуються горизонтальними розподіленими мережами, що об'єднують діяльність невеликих виробничих одиниць.

Прикладом горизонтальної виробничої мережі є система EnerNet, яка наразі формується в Європі. Вона покликана об'єднати діяльність альтернативних джерел енергії (сонячних панелей та вітрогенераторів), які функціонують у європейських країнах. Подібні мережі виконують комплекс надскладних технічних і економічних функцій, зокрема: *кондиціонування* (доведення до стандартних параметрів); *передачу, зберігання, перетворення і використання енергії в найбільш ефективних режимах; забезпечення стійкості* енергосистем. Крім того, вирішуються найскладніші економічні завдання купівлі і продажу енергії з її багатофакторною тарифікацією.

Схожі мережеві форми організації виробництва можуть застосовуватися й у процесах переробки матеріалів. За рахунок того, що адитивне виробництво здатне обходитися без значної кількості проміжних виробничих стадій (підготовка матеріалів, виготовлення оснастки, обробка матеріалів, складання готової продукції тощо) відпадає необхідність концентрації на певній території виробничих потужностей, які складають зміст сучасних підприємств. На їхнє місце приходять виробничо-споживчі мережі, де виробники й споживачі продукції можуть бути суттєво розділені у просторі, інколи перебуваючи на різних континентах. Це може відбуватися через те, що виробництво буде зводитися до виготовлення цифрових двійників, які матеріалізуються за допомогою 3D-принтингу безпосередньо споживачами або виробничими ланками, які їх обслуговують.

Зазначене породжує два важливі явища. По-перше, виникають віртуальні підприємства, які можуть носити транскордонний і навіть трансконтинентальний характер. Друге явище пов'язане з інформатизацією процесу створення виробів.

Принциповою особливістю сучасного етапу розвитку виробничої сфери є перенесення центру ваги (а відповідно і витрат) у виробничому процесі з циклу тиражування продукції (тобто, власне, процесу її заключного виготовлення) на цикл її проектування. Саме там закладається основна цінність майбутнього виробу, тобто його інформаційні характеристики: властивості, функції, експлуатаційні параметри (надійність, естетичність тощо). Інакше кажучи, в найближчому майбутньому роль виробничих потужностей буде зводитися до тих функцій, які виконує звичайний принтер, який вмикається натисненням кнопки, коли нам потрібно роздрукувати пачку друкованих матеріалів.

У 2010 році перша модель iPad-а продавалася майже за \$ 500. При цьому сукупні витрати на виготовлення його матеріальних компонентів та їх збирання становили лише \$ 33. «Аналогічна структура спостерігається в інших галузях (Агамирзян, 2013).

Горизонтальні розподілені мережі мають суттєві переваги перед сучасними концентрованими у просторі виробництвами. Вони є значно менш матеріаломісткими, носять модульний характер (допускають розширення мережі за рахунок нових блоків), забезпечують безпосередній контакт виробника і споживача, створюють передумови для персоналізації продукції, тобто виробництва її з урахуванням бажань конкретних споживачів.

Інтелектуалізація виробництва. *Інтелектуалізація виробництва* – це процес наділення виробничих систем здатністю самовідтворення (реплікації), самонавчання і самоудосконалення.

В Батському університеті Британії (University of Bath) 29 травня 2008 року відбулася знаменна подія в історії людства. Вперше робот виготовив деталі для відтворення самого себе, тобто точної своєї копії, а зібрана копія почала виготовляти «онука» першої машини (Попов, 2008).

Створення копії здійснювалося методом 3D-друку через послідовне нанесення тонких шарів розплавленого полімеру. Конструкція робота RepRap (Replicating Rapid-prototyper) була

оптимізована так, щоб його частини можна було надрукувати на ньому самому.

Ще вищий клас у забезпеченні самовідтворення створених людиною сутностей продемонструвала Google. Тут навчили своє програмне забезпечення самостійно робити більш досконалий варіант програмного забезпечення (Пальчинская, 2017).

Це досягнення, безсумнівно, є значним проривом у створенні штучного інтелекту. По-перше, набагато важче навчити штучно створені людиною сутності (нехай навіть і нематеріальні) вирішувати завдання, що вимагають застосування інтелекту. Це набагато складніше, ніж змусити робота виконувати механічну роботу за задалегідь закладеною програмою. По-друге, за версією Google, програма не лише відтворює себе, а і здатна самовдосконалюватися, тобто має навички самонавчання. Отримані результати мають велике прикладне значення для автоматизації робіт, що вимагають розумової праці (створення програмного забезпечення, архітектура, охорона здоров'я, конструкторські роботи тощо).

Органічним продовженням зазначених досліджень у наші дні є розвиток так званих когнітивних технологій. Вони будуться на основі програм, які мають можливість самодописуватися і самовдосконалюватися.

Здатність технічних систем самоорганізовуватися та самоудосконалюватися відіграє важливу роль у забезпеченні їх стійкості та неухильному підвищенні ефективності функціонування, зокрема, раціонального ресурсовикористання.

У країнах ЄС був ініційований проект «Завод за один день» (Factory-in-a-day). На сьогодні все більше підприємств, зайнятих виробництвом роботів та 3D-принтерів, продають для малих і середніх підприємств гнучкі заводи (із програмним забезпеченням), які здатні розгортатися за 24 години. Завод продається як смартфон або планшет (EU Project, 2017; Factory-in-a-day, 2013).

Цифри і факти

У 2016 році в світі використовувалося близько 1,5 млн роботів. Відсоток роботів, що використовувалися в трьох провідних галузях, становив: автомобілебудування – 33%, електротехнічна і електронна про-

мисловість – 10%, хімічна промисловість – 9,5%. Відсоток використання робіт під час виконання різних виробничих завдань становив: обробка матеріалів – 35%; зварювання – 29%; збирання – 13%; дозування – 4% (Золотов, 2016).

На основі досліджень Массачусетського технологічного інституту (Бостон, США) розроблено технологію під умовною назвою MIT Fab Lab. Використовуючи наявне обладнання, завод здатний самодобудовуватися і саморозширювати наявний функціонал (Gershenfeld, 2017).

Спільне використання. *Спільне використання* (sharing or collaborative consumption) – економічна модель, що передбачає колективне використання товарів, основане на оренді предметів користування або купівлі послуг з їх використання замість придбання відповідних товарів.

За такої моделі споживчий товар залишається у власності виробника продукції. Споживач же може використати його, скориставшись послугою через договір лізингу або оренди. Наразі в багатьох європейських країнах поширюються шерінгові схеми використання велосипедів, самокатів і навіть авто.

Американська компанія Nikola Motor на умовах шерінгу пропонує використання вантажівок, що працюють на водні. За абонентну плату (від 5 до 7 тисяч доларів США за місяць) виробник передає споживачеві вантажівку з повним її обслуговуванням (включаючи безкоштовне управління воднем). Після 7 років експлуатації або пробігу в 1 млн миль (1,6 млн км) споживач зможе продовжити оренду вже з новим авто.

В шерінгових моделях економіки закладаються сприятливі умови для раціонального ресурсовикористання. По-перше, у виробника підвищуються стимули для створення довговічної продукції, продовженні її життєвого циклу. По-друге, залишаючи в своїх руках повний життєвий цикл виробів, виробник може дбати про організацію придатних до рециклінгу конструкцій товарів і вибудовувати відповідні схеми рециркуляції ресурсів.

Сьогодні на подібні моделі переходять виробники тракторів, насосів, компресорів і іншого обладнання. Компанія Citrien представила маленький і недорогий електрокар Ami One, який

не планує продавати. Авто буде доступне лише для шерінгових форм використання. Навіть компанія Ікеа заявила, що переходить до бізнес-моделі лізингу меблі.

4.2. Напрями розвитку адитивного виробництва

Адитивне виробництво знаходиться наразі на початковому етапі свого розвитку. Це значить, що сьогодні існує необмежена кількість біфуркаційних траєкторій і можливостей його продовження. За влучним виразом нобелівського лауреата І. Пригожина, якщо в результаті дії інновації відбувається біфуркація, система отримує безліч варіантів свого розвитку. У цій ситуації «всі можливості актуалізуються, співіснують і взаємодіють одна з одною» (Пригожин, 1985).

Ведучи мову про розвиток адитивної економіки загалом і адитивного виробництва зокрема, слід відзначити, що на цьому шляху найбільш дискусійними є: формування 3D-методів матеріалізації виробів; розробка інформаційного забезпечення зазначених процесів; отримання матеріалів, що забезпечують різні функції 3D-друку. Не маючи змоги детального аналізу зазначених проблем, зупинимося на найбільш актуальних, на наш погляд питаннях.

Багатоматеріальність. Більшість продукції, яка використовується на виробництві та побуті (від одягу та взуття до машин і обладнання), складається з багатьох матеріалів. Це обумовлює потребу в застосуванні технологій багатоматеріального її виготовлення. Таким чином, перед 3D-принтингом стоїть проблема розробки методів, здатних працювати одразу із кількома матеріалами. Технологічний прорив у цій сфері значно розширить можливості впровадження адитивних технологій в різні сектори економіки.

Команда вчених з Лабораторії інформатики і штучного інтелекту (CSAIL) Массачусетського технологічного інституту представила новий 3D-принтер, який працює відразу з *десятьма* (!) різними матеріалами і використовує методику *3D-скануван-*

ня, тобто збирання інформації про прототип об'єкта, який потрібно відтворити. Це дозволяє заощаджувати час і гроші під час виробництва.

Робота 3D-принтерів із кількома матеріалами, крім усього іншого, розкриває нові можливості матеріалознавства роботи з матеріалами. Можна регулювати жорсткість, прозорість/непрозорість, твердість, пластичність та інші характеристики, запустивши відповідну комп'ютерну програму.

3D-сканування. 3D-сканування дозволяє замінити складний і трудомісткий процес отримання цифрової моделі необхідного виробу за допомогою комп'ютерних програм. 3D-сканування об'єктів – це процес перетворення фізичної форми реального об'єкта в цифровий вигляд.

Застосовуються два основні підходи до 3D-сканування: контактний і безконтактний. Для першого необхідний безпосередній контакт 3D-сканера з об'єктом. У безконтактному підході здійснюється дистанційне сканування предмета. Серед безконтактних сканерів виділяють два види:

- активні 3D-сканери, які випромінюють на об'єкт певний вид променів і фіксують їх відображення; залежно від характеру променів застосовуються такі види сканерів: оптичні, акустичні, лазерні, радарні, термічні і вібраційні (optical, acoustic, laser, radar, thermal, and seismic);
- пасивні 3D-сканери, які фіксують відбите від об'єкта існуюче в довкіллі випромінення, найчастіше світло (3D Scanning, 2021).

3D-сканування може впроваджуватися в різних секторах економіки. Наразі воно більш затребуване в медицині, де з його допомогою можуть створюватися надточні хірургічні моделі і імплантанти. Також актуальним є застосування зазначеної технології в швейній та взуттєвій промисловостях для виготовлення індивідуальних замовлень.

Надзвичайно широким є поле впровадження 3D-сканування в архітектурі (для оцифрування і масштабування архітектурних проектів) і в мистецтві (зокрема, для створення досконалих основ каркасів скульптур). Велике значення технологія має для розвитку будівництва і машинобудування.

3D-сканування дає можливість значно скоротити витрати і час матеріалізації продукції в ході 3D-принтингу на основі реально існуючих моделей.

3D-друк біологічних об'єктів. Сьогодні застосування 3D-друку поширюється головним чином на дві галузі: медицину і харчову промисловість, серед яких перша, безсумнівно є пріоритетною. Використання 3D-принтингу в медицині обумовлено важливістю завдань, які нам покликана розв'язати ця технологія. Серед найактуальніших проблем слід виділити такі:

1) друк органів з патологією на основі томографії і 3D-сканування для вивчення нюансів запланованої операції;

2) створення (вирощування) штучних органів для послідувочої пересадки; такі органи можуть замінити донорські, які сьогодні використовуються в подібних операціях; наразі ця сфера 3D-принтингу робить лише перші кроки, але швидкими темпами ведуться дослідження із створення різних штучних органів;

3) друк стерильного інструментарію, що особливо актуально в періоди загострення епідеміологічних ситуацій.

Наразі в медицині вже успішно застосовуються такі продукти адитивних технологій (Аддитивные, 2019):

- штучна людська шкіра (надзвичайно важлива у випадках сильних опіків);
- біосумісна кісткова та хрящова тканина;
- друк органів з онкологічним процесом для вивчення впливу ліків на пухлини;
- стоматологічні імплантанти, протези, коронки;
- індивідуальні слухові апарати;
- ортопедичні протези.

Цифри та факти

З 2013 року 3D-біопринтери почали активно використовуватися в медицині. В експериментальних установках друк 3D-структури майбутнього об'єкта (тканин або органу для пересадки) проводиться краплями, що містять живі клітини. Далі поділ, зростання і модифікація клітин забезпечують остаточне формування об'єкта (Murphy, 2014). У 2013 році китайські вчені почали друкувати вуха, печінку і нирки з живої тканини.

Очікується, що повністю функціональні друківані органи з'являться в найближчі 10–12 років. У тому самому році в університеті Хассельт у Бельгії успішно надрукували нову щелепу для 83-річної бельгійки. У 2016 році з'явилося повідомлення, що в Росії на біопринтері надрукована щитовидна залоза, яка була імплантована в організм лабораторної миші. Після пересадки орган запрацював і став виділяти гормони (3D-принтер, 2017; Грэй, 2015).

Згадаємо ще одну сферу можливого застосування 3D-принтингу. Мова йде про вирощування так званого м'яса з пробірки. Більшість лабораторних методик вирощування штучного м'яса використовує тваринні клітини, отримані з сироватки крові. У біореакторі з клітин формується мускулатура, яка і стає основою м'яса. Прогнозується, що вже за 5-10 років собівартість штучного м'яса вийде на рівень натурального. Підвищиться і його якість.

Як це, можливо, звучить не дивно, такі напрямки індустріалізованого агровиробництва, як гідропонне рослинництво і вирощування штучного м'яса можуть виявитися значно більш екологічними за свої натуральні аналоги, знижуючи екодеструктивний вплив на екосистеми. Вони потребують значно менше землі, є менш ресурсомісткими. Зокрема, за даними Центру з контролю і профілактики захворювань США, для виробництва одного гамбургера з натурального м'яса необхідно 2 500 літрів води. Відходи тваринництва також є джерелом метану, що посилює парниковий ефект (Авельсник, 2017).

Матеріали для 3D-друку. Сам зміст завдання, що було визначено у першій частині попереднього розділу, обумовлює відповідні вимоги до матеріалів, з якими мають працювати 3D-принтери. мова йде про специфічні характеристики матеріалів, які отримали назву *біоактивних*. Основною властивістю таких матеріалів має бути здатність зрощуватися з живими (зокрема, кістковими) тканинами.

Одним з видів таких матеріалів є *біоситали*. Основною галуззю застосування таких матеріалів є медицина, де вони демонструють свої унікальні властивості: біосумісність (біоінертність, біоактивність), високий рівень фізико-механічних харак-

теристик, стабільність властивостей, довговічність роботи в людському організмі.

Іншим важливим завданням матеріалознавства, що працює для 3D-принтингу є створення екологічно прийнятих матеріалів (ecologically friendly, environmentally sound). В даному контексті екологічна прийнятність означає здатність матеріалів залучатися до метаболізму екосистем без шкоди для них. Інакше кажучи, вони здатні розкладатися під впливом сил природи і повторно споживатися рослинами і тваринами в циклах кругообігу в природі речовин та енергії. З цієї точки зору, з нових матеріалів найбільш цікавими є ті, вихідними компонентами яких є кремній і целюлоза – найпоширеніші в природному середовищі речовин.

Учені з Технічного університету Чалмерса (Швеція) навчилися виготовляти «чорнило» (так називають матеріали, з якими працюють 3D-принтери) для 3D-біопринтера з целюлози – найпоширенішої органічної сполуки планети, яка абсолютно безболісно сприймається й утилізується екосистемами планети після завершення експлуатаційного терміну виробу.

Між тим, за даними центрів обслуговування 3D-принтерів (на платформі 3DP PAN EU) в країнах ЄС (табл. 4.3) навіть в таких розвинених країнах частка застосування біоматеріалів і кераміки є ще надзвичайно низькою (слід зазначити, що не все проаналізоване обладнання було прив'язане до конкретних матеріалів, через це відсоткове співвідношення по секторах економіки становить від 89,3 до 100%) (Romainville et al., 2021).

4D-принтинг. Вчені в різних країнах працюють над тим, щоб «навчити» матеріали доволіно змінювати свої характеристики (зокрема форму) в заданому напрямку. Фактично це стає можливим завдяки технологіям, які працюють із 3D-принтерами. Умовно можна говорити, що виникає неначе ще один – четвертий – вимір. Цим виміром стає *час*. Вироблений предмет продовжує змінювати свою форму або властивості після того, як його надрукували на 3D-принтері, доводячи свої параметри до необхідних значень.

Таблиця 4.3 – Використання матеріалів секторів центрів обслуговування, зареєстрованих на платформі ZDP PAN EU (в% від загальної кількості FC)

	Біоматеріали	Композити	Чорні метали	Гідрогелі	Промислова кераміка	Природні полімери	Кольорові метали	Полімерні термопласти	Полімер Терморезактивні	Дорогоцінні метали	Конструкційна кераміка	Інше
Аеронавтика та космос	1,8%	3,4%	18,4%	0,1%	1,0%	4,0%	20,7%	17,3%	14,8%	8,0%	2,7%	5,6%
Автомобілебудування та транспорт (крім кораблів та катерів)	4,9%	11,0%	17,5%	0,2%	1,9%	2,0%	17,3%	17,7%	14,0%	0,9%	0,7%	7,2%
Хімічна промисловість	5,7%	5,3%	20,1%	1,3%	9,1%	2,2%	21,1%	17,0%	8,2%	0,0%	7,2%	0,0%
Будівництво та будівництво	3,6%	7,3%	5,1%	0,0%	9,3%	9,7%	13,6%	17,2%	16,5%	0,1%	3,4%	13,3%
Споживчі товари та продукти (крім спортивних товарів, текстилю та меблів)	3,6%	17,9%	14,8%	0,3%	0,9%	3,8%	15,0%	22,2%	11,9%	0,5%	0,0%	5,2%
Енергія	2,8%	3,8%	22,6%	0,0%	6,8%	3,1%	23,1%	11,1%	8,0%	0,7%	3,1%	7,1%
Середа	21,4%	14,3%	0,0%	3,6%	0,0%	17,9%	10,7%	10,7%	3,6%	0,0%	0,0%	14,3%
Їжа	0,1%	0,0%	20,0%	0,1%	0,0%	0,0%	19,9%	20,0%	20,0%	19,9%	0,0%	0,0%
Меблі	5,1%	14,3%	4,1%	0,0%	1,0%	9,2%	6,1%	20,4%	5,1%	0,0%	1,0%	18,4%
Галузь ІКТ (включаючи продукти, пов'язані з електронікою, комп'ютерами та зв'язком)	11,6%	11,6%	7,1%	0,0%	1,6%	3,9%	6,1%	19,7%	18,7%	1,0%	0,8%	14,0%
Вимірювання	4,5%	1,1%	3,4%	2,2%	43,8%	3,4%	2,2%	6,7%	4,5%	2,2%	5,6%	16,9%
Медицина та охорона здоров'я	2,7%	3,4%	19,6%	0,3%	0,9%	1,9%	19,8%	18,7%	13,7%	11,4%	1,2%	2,4%
Технологія виробництва (машини / обладнання / автоматизація)	2,9%	4,1%	21,2%	0,0%	2,8%	0,8%	19,2%	17,6%	14,2%	8,2%	3,1%	3,3%
Кораблі та човни	0,6%	0,8%	0,5%	0,0%	0,5%	19,0%	18,5%	19,3%	18,8%	0,3%	0,0%	19,7%
Спортивні товари	0,5%	19,1%	18,1%	0,0%	0,0%	0,5%	12,6%	20,0%	16,3%	0,0%	1,9%	0,5%
Текстиль та мода	13,6%	16,1%	1,6%	0,0%	1,9%	4,7%	2,8%	19,0%	28,5%	0,0%	0,6%	11,1%

4D-друк – це передова технологія 3D-друку, яка дає змогу досягти багатofункціональності, самостійності збірки та самовідновлення матеріалів. Ця технологія вже знайшла себе в багатьох сферах машинобудування. Відмінності між 3D-друком і 4D-друком показані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняльний аналіз технологій 3D та 4D-друку (Quanjin, 2020)

Категорія	Технологія 3D-друку	Технологія 4D-друку
Метод друку	Друк повторює двомірну структуру за укладанням знизу нагору	Друк – це продовження 3D-друку
Тип принтера	3D-принтер	Розумний / мультимедійний 4D-принтер
Матеріали	Термопласти, кераміка, метали, папір, продукти харчування, полімери, наноматеріали та біоматеріали	Розумний матеріал, мульти-матеріал, самозбірний, самовитратний та самочугливий матеріал, полімери з пам'яттю форми, магнітострикційні та сучасні матеріали
Концепція дизайну	Цифровий 3D-об'єкт (малюнок або сканування)	Цифровий 3D-об'єкт із функцією деформації
Супутнє обладнання	Апарати, екструзія матеріалів та селективне лазерне спікання	Модифіковане сопло, сполучне та селективний лазер
Гнучкість продукту	Ні	Так, після друку форми, кольору, різних функцій та інших умов
Стан продукту	Статична структура	Розумна, динамічна структура
Вартість обладнання	Низький	Висока
Огляд ринку	Середина	Середня висота
Програми	Машинобудування та дизайн, споживчі товари, освіта, авіакосмічна промисловість, медицина, робототехніка, військова та оборонна промисловість, промислові товари, мода та ін.	Будівництво, медицина, меблі, транспорт, авіація, аерокосмічна промисловість, біомедичні пристрої, м'яка робототехніка та інші.

Слід зазначити, що останнім часом обсяг 3D-друку значно зріс. Це може непрямо збільшити ринкові вимоги до 4D-друку в найближче десятиліття. Поява 4D-друку і інтелектуальних матеріалів має справити значний вплив на розвиток промислових сфер.

4.3. Горизонти розвитку адитивної економіки

Подальший розвиток адитивної економіки створює передумови для революційних змін у суспільстві. Вони обіцяють докорінно трансформувати контури виробничої системи і соціальних відносин. Наразі ми можемо лише орієнтовно судити про профілі таких змін. Це обумовлює широкий спектр можливих напрямів наукових досліджень. Не вдаючись в подробиці, дамо лише картину можливої еволюції соціально-економічних систем у напрямі формування адитивної економіки.

Революція у виробництві. АВ – це пряме цифрове виробництво (матеріалізація виробів прямо з віртуальних моделей). Про реальні перспективи розвитку даного виду виробництва може дати уяву SWOT-аналіз європейської АВ-індустрії (рис. 4.6).

Революція в підприємстві. Підприємець отримує можливості для тестування ринку надрукувавши прототипи пілотної продукції і минаючи таким чином проміжні стадії віддаленого виробництва. Як бачимо, мова може йти про виникнення нових бізнес-моделей.

Революція в індивідуальному виробництві. З'являються унікальні можливості, коли споживачі будуть здатні самі друкувати необхідні їм речі. Цьому сприяють дві обставини: поява дешевого обладнання і поява доступних комп'ютерних програм для операційного здійснення 3D-друку.

Цифри і факти

Вже сьогодні на ринку є кілька сотень видів професійних 3D-принтерів по ціні від 230 USD. На ресурсі Thingiverse розміщено понад мільйона безкоштовних моделей, багато з яких можуть бути адаптовані під цілі споживачів. Все це є фундаментом для масового персонального

виробництва, оскільки вирішує проблеми необхідності творчих та інженерних навичок споживачів (Barnatt, 2016).

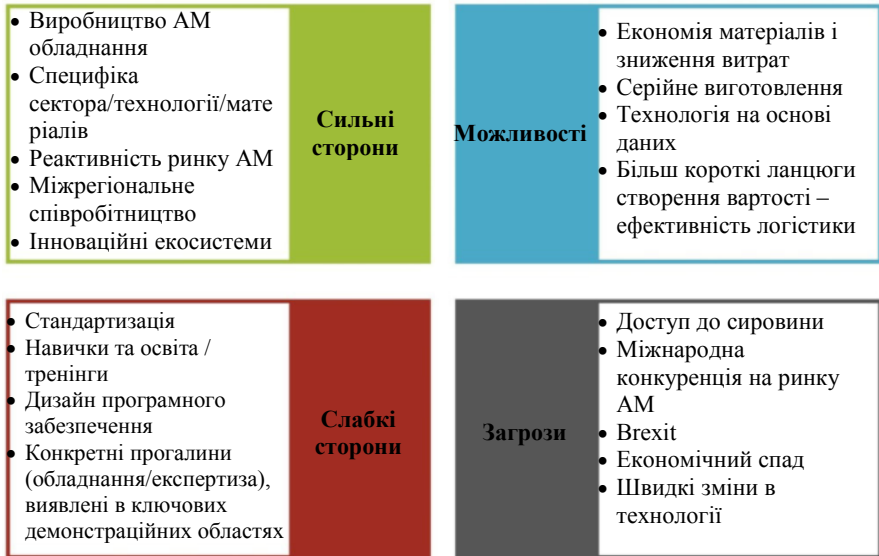


Рисунок 4.6 – SWOT-аналіз європейської АМ-індустрії

Двома найважливішими факторами, які впливають на тренди еволюції адитивної економіки, є, по-перше, швидкість, з якою розвиватиметься технологія 3D-друку; по-друге, швидкість, з якою розвиватиметься готовність споживачів сприймати індивідуальне виробництво. В кінцевому рахунку, саме ці фактори визначатимуть темпи, з якими суспільство наблизатиметься до адитивної економіки.

Революція в дизайнингу. Ще одна ключова перевага 3D-друку полягає у тому, що він значною мірою знімає технологічні обмеження виготовлення різних виробів. За допомогою 3D-друку сьогодні можна створювати речі, які раніше було неможливо виготовити. Це дає можливість не тільки виготовляти старі речі новим способом, але й *новим способом* створювати *нові речі*. При цьому значно скорочується шлях (час і витрати) від дизайну до готового продукту.

Якщо раніше на створення функціональних прототипів і концептів витрачалося багато днів, а то й місяців, а вартість складала тисячі або десятки тисяч доларів, то нова технологія скорочує час створення концептів і функціональних прототипів до кількох днів і навіть годин. При цьому на це витрачається незначна частка від суми колишніх витрат. Прикладом нового дизайнинга є концепти авто для Формули-1 (Barnatt, 2016).

Революція в зберіганні і транспортуванні. Крім забезпечення можливості одиничного виробництва за ціною масового, економічності і демократизації доступу до ринку, 3D-друк значно спрощує зберігання і транспортування різних речей, замінюючи оперативні дії з матеріальними об'єктами на операції з їх цифровими моделями. Створюючи можливість цифрового зберігання і транспортування, 3D-друк робить з речами те, що комп'ютери й інтернет уже зробили для зберігання і передачі інформації, яка колись передавалася за допомогою паперових чи інших матеріальних носіїв.

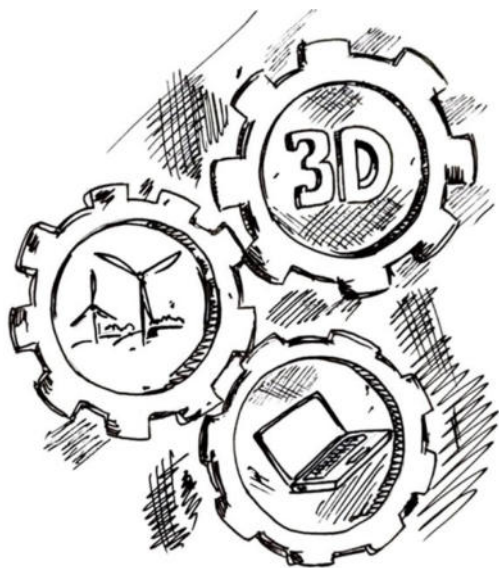
В деяких секторах економіки зберігання об'єктів у цифровому вигляді вже починає приносити користь. Наприклад, більшість стоматологів були змушені зберігати величезну кількість гіпсових зліпків ротової порожнини пацієнтів. Це робилося на той випадок, якщо б зліпки знадобилися в майбутньому. Така технологія приводила до необхідності тримати вичерпну кількість коробок і шаф для зберігання гіпсових моделей. Сьогодні проблема можливого майбутнього друку вирішується зберіганням цифрових моделей (Barnatt, 2016).

Обіцяє докорінно змінитися також і служба доставки речей, більшість з яких друкуватимуться в місцевих бюро обслуговування і доставлятимуться за адресами клієнтів.

Революція в природокористуванні. продукти 3D-друку обумовлюють значне скорочення споживання матеріалів, наслідком чого є зменшення навантаження на природні системи. Можна говорити про прямі (первинні) і непрямі (вторинні) ефекти у скороченні енергоємності і матеріаломісткості виробництва продукції. По-перше, на відміну від субтрактивного виробництва адитивні технології беруть із природи майже таку кількість

матеріалів, з якої складається готова продукція. по-друге, продукти 3D-друку можуть мати внутрішню структуру, оптимізовану під витрачання енергії і матеріалів. Зокрема, за рахунок цього створюються більш легкі деталі, які можуть, наприклад, скорочувати споживання палива літаками.

Як бачимо, формування адитивної економіки може докорінно змінити оточуючий світ людини. Проте траєкторії майбутніх змін закладаються у теперішньому часі, у тому числі, і за рахунок наукових досліджень, які мають спрогнозувати як очікувані ефекти, так і загрози розвитку технологій.



Розділ 5 ТРАНСФОРМАЦІЯ СОЦІАЛЬНО- ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ЯК ПЕРЕДУМОВА ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ

5.1. Фундаментальні засади трансформації соціально-економічних систем

Розвиток будь-якої системи пов'язаний зі зміною параметрів її стану. Однією з базових характеристик стану систем є їх структура. Зміна структури становить основу трансформаційних процесів, які супроводжують феномен розвитку. Показники реструктуризації системи, тобто зміни основних параметрів її структури, є ключовими характеристиками її розвитку, зокрема, визначають напрямок та темпи цього процесу.

Соціально-економічні системи не є виключенням із цього правила. Це означає, що все сказане про структуру й реструктуризацію систем може бути віднесено також до них безпосередньо. Початок XXI століття пов'язаний із суттєвим прискоренням

соціально-економічного розвитку. Тому не випадково, все більша увага дослідників привертається до трансформаційних процесів у суспільстві. Серед них *реструктуризація* займає провідне місце.

Як було зазначено вище, поняття розвитку нерозривно пов'язане з поняттям системи. Якщо щось і здатне розвиватися, воно обов'язково є системою. Все у світі: від найдрібніших частинок до мегакосмічних утворень – є системами, які в свою чергу складаються з систем.

Система (від грецьк. «система» – ціле, складене з елементів) – одне з найдавніших наукових понять, що використовувалося задовго до Аристотеля і Платона. Античне визначення, мабуть, найлаконічніше і найбільш точно відображає сутність цієї категорії: *«система – ціле, більше суми його елементів»*.

У наші дні можна зустріти багато підходів до пояснення системи (Acaroglu, 2017; Backlund, 2000; Bailey, 2006; Gall, 1986). Вони дозволяють сформулювати її визначення.

Система – будь-яка сукупність елементів (підсистем), об'єднаних між собою у єдине ціле процесами взаємодії (матеріально-інформаційного обміну) для реалізації загальної функції (досягнення спільної мети).

Елементом системи можна вважати її структурний компонент, який не можна розкласти далі, не змінюючи його властивостей (What, 2021б).

Взаємозв'язки між елементами – це функціональні залежності між елементами системи щодо виконуваних ними функцій та процесів реалізації метаболізму. Взаємозв'язки формуються на основі різних принципів: взаємодоповнення, взаємопідпорядкування, рівноправної взаємодії, взаємовигоди та ін.

Функціональне середовище системи – характерна для системи сукупність законів, алгоритмів та параметрів, за якими здійснюється взаємодія (обмін) між елементами системи та функціонування (розвитку) системи загалом (Nguyen, 2022).

Основною характеристикою будь-якої системи є її стан. Стан системи – це сукупність значень величин, притаманних

даній системі: параметрів внутрішніх елементів системи, зв'язків між ними й навіть зв'язків між системою та довкіллям. Зазначені характеристики називаються *параметрами стану*.

Стан *економічної системи* визначається обсягом товарно-грошових потоків, що проходять через систему, балансом її доходів-витрат та іншими характеристиками. Індикаторами стану при цьому виступають: обсяг продажів, собівартість продукції, ціна реалізації, прибуток тощо. Процес розвитку системи нерозривно пов'язаний зі зміною її стану. В результаті цього, змінюються параметри, які визначають стан системи.

Функціональна діяльність систем реалізується під час взаємодії елементів системи. Вона є результатом не простого механічного контакту підсистем між собою, а відтворюється внаслідок складних процесів взаємного обміну речовиною, енергією та інформацією.

Дуже важливу роль відіграє характер відносин між елементами системи. А вони залежать від специфіки зв'язків між елементами у структурній побудові системи та рівнями їхнього підпорядкування в ієрархії системи. Саме тому дослідження передумов ефективного функціонування системи та явища синергізму передбачає системне розуміння категорій «структура» та «ієрархія».

Саме поняття системи (нагадаємо її коротке визначення: ціле, більше суми складових його елементів) передбачає, що вона формується з окремих елементів (компонентів, об'єктів, сутностей). Ці складові за змістом є теж системами, лише нижчого (підлеглого) рівня. Їх прийнято називати підсистемами. Компоненти, з яких складаються підсистеми, можуть називатися під-підсистемами.

У свою чергу, системи об'єднуються у більші системні утворення, які називаються надсистемами. Системи, що формуються на рівні ще вищому, ніж надсистеми, називаються над-надсистемами. Як приклад можна навести такий системний ряд: під-підсистеми – частинки; підсистеми – атоми; системи – молекули; надсистеми – клітини; над-надсистеми – організми.

Взаємозв'язки елементів у системі характеризуються структурою, а багаторівнева (що нагадує матрешку або цибулину) побудова системи утворює ієрархію її підсистем.

Структура – це категорія, що характеризує взаємний порядок та систему відносин (зв'язків) елементів у рамках єдиного цілого (Structure, 2022; Mathiasen, 2022; Urry et al., 2017).

Фактично структура, описуючи відносини та зв'язки між компонентами системи, характеризує з тим чи іншим ступенем деталізації та точності інформаційний зміст системи. Структура системи може також давати уявлення про її зовнішні зв'язки. Втім, можна сказати й інакше: структура надсистеми характеризує інформаційну картину взаємодії між системами, що входять до неї. Адже надсистема є зовнішнім середовищем кожної з систем.

Якщо розглядати систему в просторі, її структуру можуть характеризувати такі основні параметри:

- *кількість елементів* в системі;
- *кількість зв'язків між елементами*; це характеризує складність системи;
- *інтенсивність* (частота) взаємодії елементів, тобто. кількість зв'язків, що припадають на один елемент;
- *характер внутрішніх зв'язків* (характеризує внутрішній устрій системи);
- *число та характер зовнішніх зв'язків* (характеризує взаємодію системи з середовищем).

Як впливає з наведеного вище матеріалу, елементи (підсистеми) в системі існують не самі по собі, а пов'язані між собою. Під зв'язками розуміються будь-які взаємовідносини між частинами системи.

Зв'язки характеризують взаємозалежність та взаємні обмеження між елементами системи. Від них залежить обмін між елементами речовиною, енергією та інформацією. Зв'язки відіграють виключно важливу роль у системі, визначаючи її інформаційний зміст (Mathiasen, 2022; Urry et al., 2017).

У дослідженні процесів функціонування систем дуже важливу роль відіграють такі категорії, як *ієрархія* та *функція*.

Ієрархічність – це функціональне підпорядкування елементів цілого (його підсистем) від нижчого до вищого. Кожен рівень цієї ієрархії називають рангом системи. Відповідно, можна говорити про ранг атомів, ранг молекул, ранг клітин, ранг організмів та ін. Кожен ієрархічний рівень (ранг) системи виконує власні функції.

Функція – це комплекс процесів, що усталено виконуються системою й забезпечують існування системи. Система вищого рівня набуває *нових властивостей* і починає здійснювати функції, виконання яких здатне забезпечувати існування її складових елементів (підсистем) і їх діяльність.

Функції виробничого підприємства визначаються тими видами діяльності, які диктує для цього підприємства ринок. Коли продукція, що раніше випускалася підприємством, виявляється незатребуваною на ринку, підприємство змушене освоювати нові види продукції (якщо, звісно, воно має у своєму розпорядженні необхідні ресурси: достатній капітал, необхідні виробничі активи, навички працюючих тощо). Зміна попиту – це не єдина причина, яка може змусити підприємство змінити свої функції в ринковій системі. До цього можуть також вести: зміни на ринках сировини (наприклад, зростання цін внаслідок дефіциту), поведінка конкурентів, зміна природних умов, проблеми в комунікаціях (зокрема, блокування транспортних каналів збуту) та ін.

Для виконання завдань свого існування будь-яка система має здійснювати комплекс взаємопов'язаних функцій, головними з яких є:

- збирання, зберігання та аналіз інформації;
- підтримання просторового взаємозв'язку (тобто структури) окремих складових (підсистем) системи;
- підтримання у часі порядку процесів, що відбуваються в системі, у тому числі синхронізація діяльності окремих ланок;
- здійснення процесів трансформації речовинно-енергетично-інформаційних потоків (далі – потоків) з метою отримання вільної енергії;
- транспортування зазначених потоків усередину та всередині системи;

- відтворення (відновлення, репродукція) функціональних підсистем, що втрачають (погіршують) свої властивості в результаті «зносу» або під дією тих шкідливих агентів, які потрапляють в систему з метаболічними потоками (йдеться про аналогії капітального й поточного ремонтів компонентів системи);
- вилучення з зовнішнього середовища речовин, енергії та інформації (негативної ентропії);
- видалення в зовнішнє середовище відходів діяльності системи (позитивної ентропії);
- захист системи від негативного впливу довкілля;
- коригування (адаптація) діяльності окремих підсистем залежно від параметрів потоків (матеріалів, енергії та інформації), що потрапляють до системи та циркулюють у ній; така адаптація, зокрема, необхідна при відхиленні параметрів потоків від оптимальних значень, а також при зміні властивостей самої системи (наприклад, за умов її тимчасового розрегулювання).

Чим ефективніше виконується кожна з зазначених функцій, тим ефективніша діяльність усієї системи, і тим вища можливість накопичення системою вільної енергії. Ефективність виконання певної функції може бути визначена співвідношенням кількості енергії, корисно використаної безпосередньо для реалізації даної функції, й загальними витратами енергії. Це є своєрідний ККД системи. У свою чергу, ефективність функціонування всієї системи та її підсистем буде тим вищою, чим меншими будуть втрати (дисипація) енергії. В широкому розумінні узагальнює поняття «енергія» включає всі види витрат системою матеріальних, енергетичних та інформаційних ресурсів.

5.2. Фактор часу в діяльності системи

Будь-яка відкрита стаціонарна система – це не тільки просторовий об'єкт (що складається з окремих просторових компонентів), але й процес відтворення стану системи, що безперервно триває в часі, зокрема, утворюється з окремих підпроцесів.

Вони можуть слідувати паралельно й послідовно. Інакше кажучи, процес функціонування системи можна вважати також системою, що складається з частин загального циклу відтворення системи, або фаз. Це означає, що базове визначення системи (ціле, більше суми окремих частин), має повною мірою враховувати як просторові, так і часові аспекти відтворення системи.

Коли говорять, що система формується в ході взаємодії різних її елементів (частин), найчастіше мається на увазі, що ці елементи є різними частинами простору, які здійснюють узгоджені дії в єдиному часовому континумі. Це, зокрема, означає, що в кожен із моментів часу певного періоду елементи одночасно здійснюють спільну діяльність (кожен – свою).

Втім, це лише частина істини, яка набагато складніша й повніша за сказане. Адже мова може йти також про систему різних станів однієї й тієї самої системи або її окремого елемента, що фіксуються у різні моменти часу.

Хіба не є системою послідовність зміни станів біологічного організму від народження до смерті? Хіба не є системами послідовності зміни пір року чи фазових переходів будь-якої речовини (тої самої води – рис. 5.1).

І, нарешті, хіба перестав бути системою технологічний процес зміни форми чи властивостей будь-якого предмета праці, тобто. одного й того самого елемента виробничої системи, що проходить у часі різні етапи свого розвитку? У цьому процесі кожному етапу відповідають різні умови середовища.

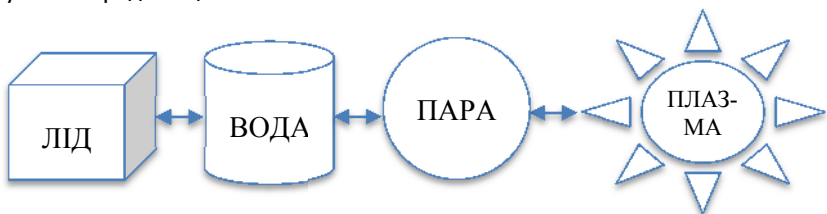


Рисунок 5.1 – Система фазових переходів речовини «вода»

Будь-яка технологічна система потребує суворого дотримання в просторі та часі поєднання різних параметрів середовища, при яких відбуваються зміни властивостей предмета праці – з точністю до часток секунди, градуса, одиниць тиску, вологості і т.д. Хіба не такими є процеси термообробки металу, випалу кераміки, видування скла й ін.?

Таким чином, будь-який процес відтворення стану системи слід розглядати як *ціле, що більше суми окремих підпроцесів, з яких воно складається*. Це, в свою чергу, означає, що будь-який з підпроцесів, вирваний з ритму загального процесу відтворення системи, повністю або частково втрачає свою функціональну спрямованість, а значить, і змістовність своєї реалізації. Те саме стосується й результатів, отриманих у ході такого підпроцесу.

Цементний розчин для будівельних робіт має обмежений термін своєї придатності. Після його закінчення розчин втрачає можливість бути використаним за своїм прямим призначенням. Далі шматки засохлого розчину можуть використовуватися як наповнювач (замість гравію) при будівництві доріг чи як фрагменти пам'ятника бездумному будівництву (або «безголовим» будівельникам). Відповідно, із загального обсягу виконаних робіт циклу будівництва певного об'єкту повинен бути виключений процес виготовлення згаданої кількості розчину як той, що не відбувся. Якщо з якихось причин потреба в ньому не відпала, розчин має бути виготовлений заново.

Таким чином, вирваний із загального циклу будівельних робіт процес виготовлення цементного розчину втрачає будь-який сенс. Він знаходить його лише за двох умов. По-перше, якщо далі за згаданим процесом слідуватиме інший процес, у якому будуть використані результати попередньої стадії робіт. По-друге, якщо суворо витримуватимуться інтервали між термінами закінчення виготовлення розчину й завершенням використання всього його виробленого обсягу. В міру порушення цих термінів спочатку відбуватиметься погіршення якісних характеристик розчину, а потім повна втрата його як сполучного матеріалу. Безглуздо виготовляти розчин ані раніше, ані пізніше певного терміну, відведеного йому циклом будівельних робіт. Поза цими термінами він просто не може бути використаний за своїм прямим призначенням.

Час умовно можна вважати ще однією, горизонтальною віссю вимірів, у яких формується система (якщо вважати три просторові виміри умовною інтегральною вертикальною віссю, що характеризує її поточний стан) (рис. 5.2). Цей вимір може бути названий образно «лінією часу» або «лінією життя» системи. Кожна система має своє минуле, сучасне і майбутнє. У своїй єдності й цілісності вони утворюють системне ціле – систему трансформаційних перетворень певної системи.

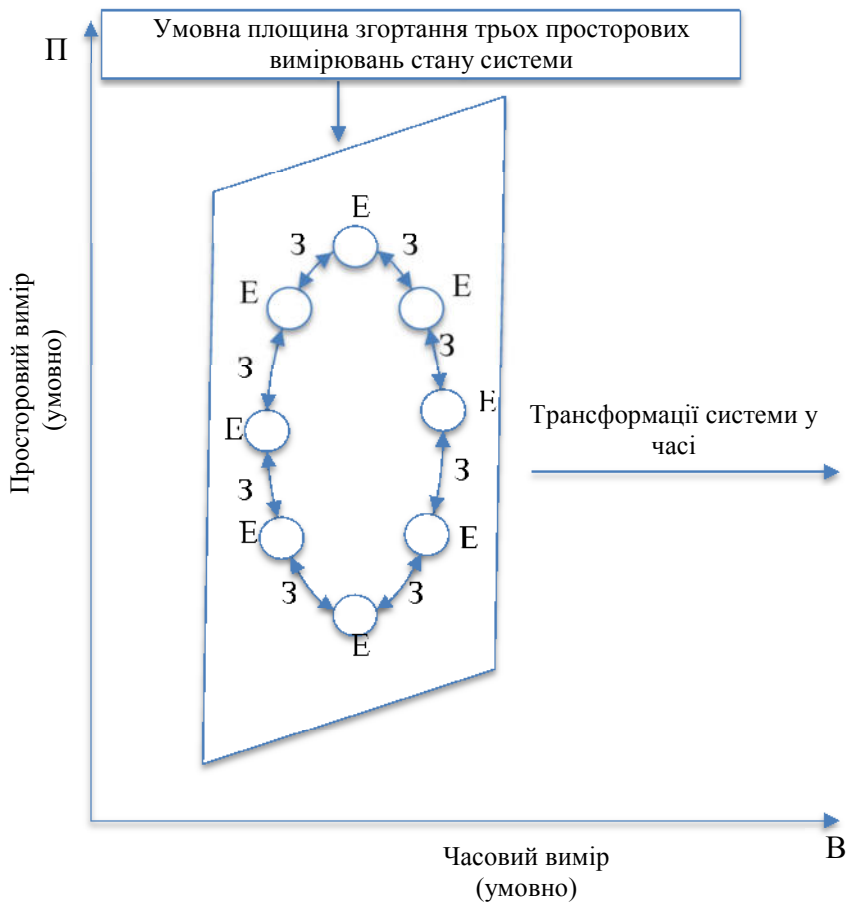


Рисунок 5.2 – Умовна схема формування системи як просторового об’єкта та процесу (E – елемент системи, З – зв’язок між елементами).

В даному випадку роль системи відіграє будь-який продукт, який проходить стадії виробництва та експлуатації від отримання вихідних ресурсів (сировини) до використання готового продукту (рис. 5.3); при цьому може бути отримана картина взаємодій системи підприємства, на якому завершується виготовлення продукції, з іншими системами такого самого системного рівня, включаючи цикли отримання вихідних ресурсів.

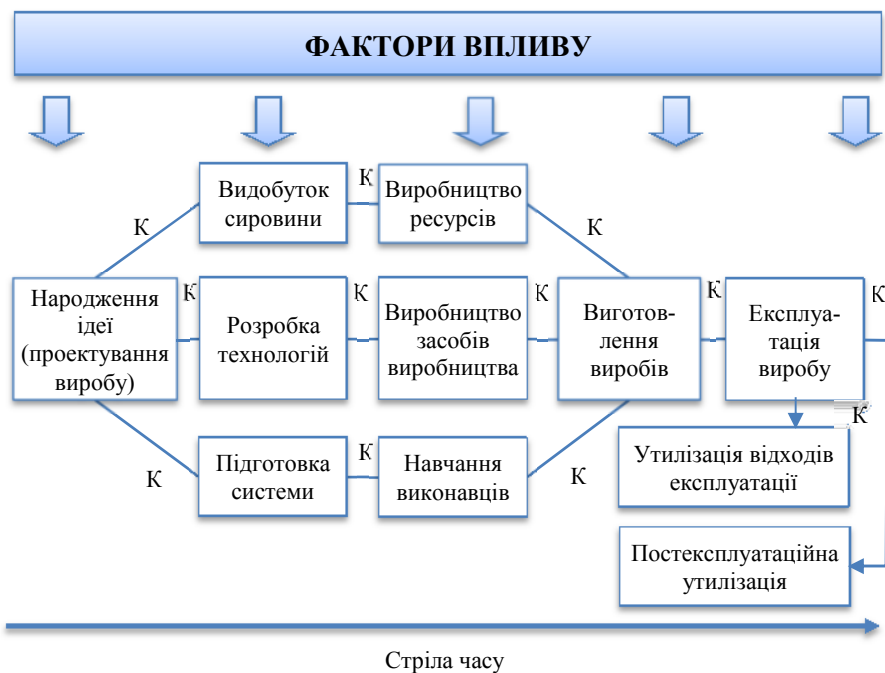


Рисунок 5.3 – Найпростіша схема життєвого циклу виробу (К – комунікації)

Еволюційна траєкторія системи як представника даного виду систем відбувається через біфуркаційні переходи багатьох систем; можна говорити про еволюцію транспортних засобів, засобів зв'язку, систем пам'яті, видів палива, засобів виробництва, засобів обчислювальної техніки, ін.

Параметри часу – це економічні показники, які прямо чи опосередковано формуються з урахуванням показників часу. Параметри часу відображають кількісні та якісні сторони реалізації окремих процесів (підпроцесів) відтворення системи. Серед основних з них можна назвати:

- *послідовність*;
- *тривалість*;
- *темп*;
- *швидкість*;
- *рівень синхронності процесів*;

- *час перемикання.*

Для одних відтворювальних процесів однаково суттєвими є всі ці фактори. Для інших – лише окремі з них.

Послідовність – це порядок чергування підпроцесів (існування та зміни стану елементів). Залежно від характеру загального відтворювального процесу та складових його підпроцесів можна говорити про три режими послідовності: абсолютно жорсткий, відносно жорсткий і вільний.

Тривалість – це період часу від початку до закінчення певного процесу; складається з моментів або інтервалів часу, що виникають один за одним і утворюють у сукупності весь період існування системи у певному стані – від його виникнення до переходу в якісно новий стан. Протягом тривалості процесу система зазнає кількісних та/чи якісних змін.

Для економічної системи найактуальнішими слід визнати такі види тривалостей:

тривалість операції – час, протягом якого здійснюється виробнича операція щодо зміни форми або властивостей предмета праці;

тривалість процесу виготовлення – час, протягом якого здійснюється комплекс операцій з виробництва певного продукту (виробу, роботи, послуги); включає фази робочих операцій та фази необхідних перерв (час перемикань);

тривалість процесу реалізації – час, протягом якого здійснюється комплекс операцій із продажу виробленого товару (виробу, послуги) з моменту передачі його покупцю до отримання від нього оплати;

тривалість (період) оборотності оборотних коштів – час, протягом якого оборотні кошти проходять повний цикл оборотності, включаючи фази: активних платежів, перебування у вигляді товарних запасів, незавершеної продукції, готових для реалізації товарів та відвантаженої продукції, а також надходження коштів на баланс виробника;

тривалість зносу (термін служби) основних засобів – час, протягом якого система (або її компонент) повністю втрачає свої функціональні властивості (наприклад, відбувається повна втра-

та експлуатаційних характеристик певного елемента основних засобів) або морально спрацьовується;

тривалість амортизації основних засобів – час, протягом якого відбувається повернення (амортизація) коштів, витрачених для придбання певного елемента основних засобів;

тривалість (період) окупності витрат – час, протягом якого відбувається повернення капіталу, витраченого на певну акцію (проект, будівництво об'єкта, ділову операцію тощо) за рахунок отриманих від її реалізації доходів.

Темп – це величина, що характеризує рівень швидкості зміни стану системи або інтенсивності її розвитку. Зазвичай вона вимірюється часом, протягом якого відбувається умовна одиниця змін стану системи (зокрема, здійснюється одиничний обсяг роботи, долається одиниця довжини шляху, ін.).

Швидкість зміни стану системи є величиною, зворотною темпу. Вона характеризує величину кількісних змін стану системи, що відбуваються у одиницю часу.

Швидкість перебігу процесів функціонування та розвитку системи повною мірою залежить від швидкодії пам'яті системи, тобто від швидкості, з якою система здатна накопичувати, закріплювати та відтворювати інформацію.

Умовно можна виділити два види показників швидкості: швидкість процесів відтворювальної (творчої) діяльності системи та швидкість деструктивних процесів, що відбуваються в системі та за її участі у зовнішньому середовищі.

Швидкість відтворювальної діяльності характеризує обсяг творчої роботи, що реалізується в одиницю часу в системі (наприклад, кількість продукції, що випускається підприємством протягом дня, місяця, року) або у зовнішньому середовищі (наприклад, показники відтворення в одиницю часу відновлюваних природних ресурсів; компонентів довкілля).

Швидкість деструктивних процесів характеризує кількісні показники зносу або втрати функціональних властивостей в одиницю часу самою системою або через її діяльність компонентами зовнішнього середовища (наприклад, втрата вмісту кори-

сних речовин у ґрунтах, збільшення рівня забруднення компонентів довкілля тощо). Слід зазначити важливу особливість цього виду процесів. Хоча умовно можна говорити про швидкість або темпи деструктивних процесів, зокрема, зношування (такі процеси мають місце в самих системах), вторинні наслідки таких процесів також можуть проявлятися як послідовно (наприклад, у формі збільшення витрати пального на одиницю шляху при погіршенні роботи двигуна), так і у формі одномоментних (аварійних) відмов діяльності системи після накопичення нею явищ зносу.

Ритм – чергування явищ та процесів, що відбуваються з певною послідовністю та частотою.

Стосовно економічної системи йдеться насамперед про певні знакові явища та процеси, що визначають її підсумкову продуктивність. Наприклад, на машинобудівних підприємствах до таких явищ належать періоди початку та закінчення складання готових виробів. Під ці явища підлаштовується діяльність допоміжних підрозділів підприємства та менш значущих окремих процесів, наприклад, періоди виготовлення певних деталей.

За ступенем усталеності (стійкої повторюваності) ритми диференціюють на два види:

періодичні, при яких однотипні фази повторюються приблизно через рівні проміжки часу (на підприємстві такими можуть бути періоди випуску з конвеєра будь-яких виробів, у природі – зміна пір року);

циклічні, коли за постійної середньої тривалості циклу проміжок часу між його однаковими фазами має змінну тривалість; так на підприємстві з серійним типом виробництва при збереженні середньомісячної програми виробництва можуть відрізнятися інтервали між двома суміжними випусками виробів на початку та наприкінці місяця, у природі циклічними є періоди (ритми) коливання клімату.

Щільність часу – показник, що характеризує результат зміни стану системи за питомий інтервал (одиницю) загального періоду часу, включаючи як час цілеспрямованої (продуктивної)

діяльності системи, так і час, який необхідний системі на перерви в роботі, перемикання між окремими операціями, трансформацію рівня її гомеостазу.

Синхронність – ступінь одночасності протікання процесів одного відповідно до іншого, коли певні відрізки процесів (підпроцесів), які відбуваються паралельно з однаковими інтервалами часу (ритмом, тактом), або з незмінними періодами випередження (відставання) один відносно іншого.

Система функціонує тим ефективніше, чим з більшою мірою окремі процеси її функціонування синхронізовані один з іншим, а також із загальним циклом відтворення всієї системи та з циклами відтворення компонентів зовнішнього середовища.

Час перемикання – період часу, який потрібний системі на зміну: параметрів її стану, особливостей функцій, що виконуються, кількісних показників та/або якісного характеру процесів діяльності, що протікають. Відповідно, мають змінитися й згадані вище характеристики (послідовності, тривалості, темпу, рівня синхронності). Час перемикання характеризує адаптаційні можливості системи. Від того, наскільки швидко система може змінювати параметри свого стану (у тому числі, й ключові часові характеристики) залежить виживання системи, успішність її функціонування та розвитку. Не випадково одними з найважливіших параметрів автомобіля вважаються: по-перше, час, протягом якого він здатний розігнатися до швидкості 100 км/год, а по-друге, час, за який він здатний знизити цю швидкість до нуля. Обидва параметри є життєво важливими для авта та його пасажирів.

Для економічних систем надзвичайно важливою характеристикою їхньої роботи (особливо в ринкових умовах) є здатність швидко реагувати на зміни економічної кон'юнктури (зокрема, змінювати за необхідності обсяг виробництва, профіль продукції, переходити на нові вироби, диверсифікувати портфель замовлень, ін.).

Заради справедливості, слід сказати, що успіх діяльності економічних систем залежить не тільки від швидкості, а й від ресурсоємності (квазіенергоємності) перемикань, тобто. витрат

енергії, матеріалів, праці, фінансових коштів, необхідних для здійснення умовної одиниці трансформаційних процесів. Зрештою, це визначає ефективність діяльності системи щодо зміни свого стану.

Усі проаналізовані вище параметри простору та часу існування системи, а також функції, які виконує система та її складові елементи, є основою формування того, що називається структурою і що визначає *взаємний порядок та зв'язки елементів в системі*.

5.3. Фактори зміни динаміки економічних систем при переході до адитивної економіки

Не виникає сумнівів, що підвищення ефективності економічних систем значною мірою пов'язане зі скороченням часу здійснення різних економічних процесів. Перехід суспільства до цифрової економіки створює можливості суттєвого скорочення тривалості зазначених процесів на різних етапах економічного циклу від виробництва до споживання продукції. При цьому відбувається зміна всіх або більшості вищенаведених параметрів часу. В таблиці 5.1 наводиться аналіз факторів, за рахунок яких відбувається скорочення тривалості економічних процесів по різним трансформаційним напрямкам переходу до адитивної економіки. Він виконаний на основі джерел: Hassanzabeh et al., 2007; Jarrow et al., 2012; Rohatinski, 2017.

На показники часу впливають різні економічні чинники. Наприклад, унаслідок науково-технічного прогресу зростає якість виробничої та побутової техніки, що сприяє збільшенню термінів фізичного зношування обладнання. Також неухильно скорочується час виконання виробничих операцій, завдяки чому зростає загальна продуктивність праці.

Як бачимо, зміна параметрів часу є причиною змін, що відбуваються в економічній системі й навпаки. Трансформація економічної системи впливає на параметри часу.

Таблиця 5.1 – Фактори, за рахунок яких відбувається скорочення тривалості економічних процесів при переході до адитивної економіки

Трансформаційний напрям	Фактори скорочення тривалості економічних процесів
Адитивізація виробництва (3D-принтинг)	Виключення (exclusion) виробничих стадій, які забезпечують: технологічну підготовку, виготовлення первинних моделей, інструментальну підготовку, збирання готових виробів (частково).
Перехід на альтернативні джерела енергії	Виключення стадій: розвідки, видобутку первинних енергоносіїв, створення транспортної інфраструктури, транспортування, зберігання палива та усунення відповідних екологічних наслідків
Інформатизація економіки	Скорочення значної кількості ланок із виробництва відповідних матеріалів та стадій виготовлення необхідних для цього засобів виробництва
Дематеріалізація процесів виробництва та споживання	Прискорення процесів: просування предметів праці між виробничими ланками, транспортування, інших видів логістики
Мережевізація економіки	Прискорення процесів просування продукції від виробництва до споживачів
Інтелектуалізація (кібергізація) економічних процесів	Прискорення процесів прийняття рішень, оптимізація складових виробничих циклів та логістики
Формування циркулярної економіки	Скорочення тривалості циклів відтворення ресурсної основи та утилізації відходів

Параметри часу можуть змінюватися внаслідок різних процесів, які відбуваються в системі або в довкіллі.

На параметри часу можуть впливати такі види факторів:

- *природно-ресурсні*; наприклад, виснаження запасів природних ресурсів та погіршення умов їх видобутку веде до збільшення періоду відтворення певних видів природних ресурсів;
- *екологічні*; посилення навантаження на екосистеми зумовлює збільшення періодів відтворення якості середовища;
- *технічні*; науково-технічний прогрес сприяє зростанню суспільної продуктивності праці та зниженню витрат часу на

виконання одиниці робіт: виробництва продукції, переміщення вантажів та пасажирів, обробки та відтворення інформації, ін.;

– *економічні*; удосконалення механізмів та інструментів управління економічними процесами в поєднанні з конкуренцією між підприємствами скорочує час здійснення трансакційних процесів;

– *організаційні*; удосконалення засобів комунікації, формування економічних та соціальних мереж скорочує час руху капіталу між різними економічними суб'єктами, зокрема, виробниками та споживачами продукції;

– *соціальні*; підвищення якості життя населення в розвинених країнах сприяє підвищенню періоду продуктивної активності населення; інформаційне ускладнення соціального життя обумовлює збільшення періоду відтворення трудових факторів і т.ін.

Наслідком впливу зазначених факторів є зміна параметрів часу. Це, своєю чергою, впливає на вартісні, трудові, технічні параметри стану економічних систем. Таким чином, відбувається безперервний процес взаємних конвертацій параметрів часу в згадані параметри стану системи, а тих, у свою чергу, – в параметри часу, з яких складається безперервний процес розвитку економічних систем.

Процес прогресивного розвитку систем обов'язково супроводжується вдосконаленням параметрів часу (прискоренням темпів виконання окремих операцій, збільшенням періодів продуктивної роботи, зростанням синхронності здійснення окремих виробничих процесів тощо). Деградація економічних систем неминуче пов'язана з погіршенням параметрів часу.

5.4. Управління параметрами часу в умовах адитивної економіки

Будь-які процеси вдосконалення та самовдосконалення систем нерозривно пов'язані з управлінням параметрами часу. Будь-яке підвищення ефективності систем, а також економія

ресурсів, праці та коштів тією чи іншою мірою є причиною або наслідком економії часу.

Управління чинниками часу є найскладнішим процесом постійного пошуку оптимальних рішень, де непридатні підходи, засновані на принципах лінійного мислення: «чим менше, тим краще» або «чим більше, тим краще». Оптимізаційний характер управління параметрами часу об'єктивно обумовлений суперечливою природою функціонування системи.

З одного боку, високі темпи метаболізму – це інструмент випередження конкурентів у боротьбі за джерела вільної енергії та засіб успішного вирішення проблеми природного відбору.

З іншого боку, всі зазначені параметри часу мають власну енергетичну (а для економічних систем – квазіенергетичну) ціну. Стаціонарний стан, у якому значення параметрів системи наближені до рівня її гомеостазу, забезпечують найефективніше (з мінімальними витратами енергії/квазіенергії) функціонування системи. Будь-яке відхилення параметрів системи від стану її гомеостазу пов'язані з додатковими витратами. Це означає: або система несе додаткові витрати на здійснення одиниці роботи або змушена переживати відносні втрати вільної енергії (недоотримання доходу, втрачену вигоду).

Втрачаються також певні можливості розвитку системи. Так, автомобіль, обганяючи на форсованому режимі попутні машини, змушений збільшувати питомі (на 100 км шляхи) витрати палива. Виграючи у швидкості й позиції стосовно своїх потенційних конкурентів, він програє у витратах, що, можливо, позначиться на його подальшому пересуванні.

Ще вищі енергетичні (квазіенергетичні) витрати при біфуркаційних трансформаціях, коли система, модернізуючи свою структуру, переходить на новий рівень гомеостазу. При подібних трансформаціях система переживає з фізичної точки зору стан катастрофи: порушується лінійний характер функціонування системи, перебудовуються її зв'язки, припиняється продуктивна діяльність із залучення до системи вільної енергії. У такому стані система може витрачати лише раніше накопичену енергію, не отримуючи вільної енергії ззовні.

Однак є причини, що змушують економічні системи відмовлятися від комфортного та стійкого режиму *стаціонарності*. Це фізичне і моральне зношування системи, внаслідок чого параметри системи починають погіршуватися в абсолютному й відносному значеннях. Внаслідок фізичного зношування система відчуває погіршення своїх параметрів стосовно її власних параметрів у минулому. Внаслідок морального зношування параметри системи погіршуються по відношенню до реального стану, але вже інших систем (насамперед – конкурентів). В обох випадках результатом є зниження надходження до системи вільної енергії/квaziенергії, аж до повного припинення.

Отже, біфуркаційні трансформації економічної системи можна вважати вимушеним заходом у її намаганні утримувати на достатньому рівні свою *конкурентоспроможність*. Однак подібні трансформації можуть бути виправдані лише в тому випадку, якщо діяльність системи після її модернізації зможе за рахунок очікуваного підвищення ефективності перекрити втрати, спричинені вимушеним простоем під час перебування.

В умовах цифрової економіки завдяки інноваційним виробничим та управлінським технологіям з'являються нові можливості значного підвищення ефективності управління параметрами часу та скорочення питомих витрат часу на одиницю продукції. Основні напрями цього показані на рисунку 5.4.

Стратегічні плани економічних систем (підприємств, регіонів, національних економік), спрямовані на підвищення рівня своєї ефективності та пов'язані з цим спроби неухильної інтенсифікації параметрів часу. Вони повинні гармонійно пов'язуватися з *тактичними* завданнями щодо підтримання її *стаціонарного* стану, який фактично «годує» систему, будучи джерелом надходження в неї *вільної енергії* (квaziенергії). Реальність така, що постійно існує необхідність вибору між:

- майбутньою вигодою та поточними потребами;
- стратегічними та тактичними цілями;
- ефективністю та стабільністю;
- ризиком та надійністю;

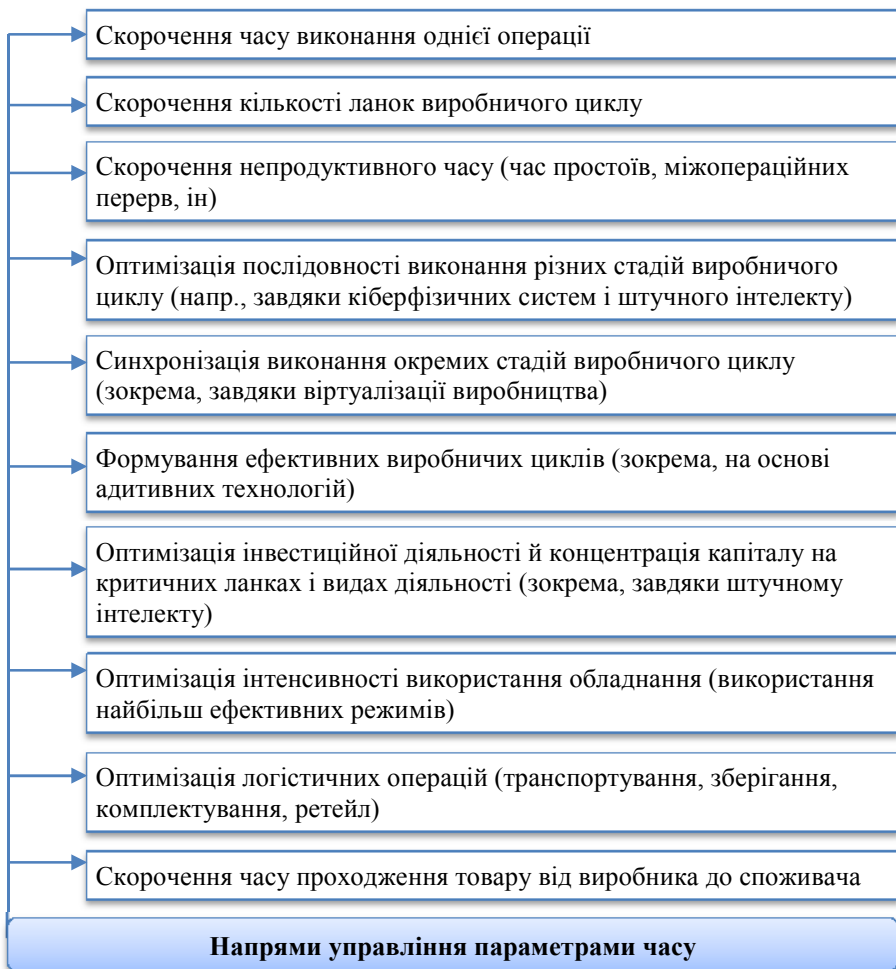


Рисунок 5.4 – Напрями управління параметрами часу при переході до адитивної економіки

– «журавлем у небі» та «синицею в руках».

Управління параметрами часу неминуче пов’язане з пошуком компромісу між стратегічними цілями та тактичними завданнями, спробами знайти баланс між двома групами факторів: ущільнення часу та забезпечення стаціонарності. При цьому

неминуче має враховуватися третя група факторів, які зумовлюють період та швидкість зносу окремих підсистем та системи загалом.

Існують значні можливості ущільнення часу здійснення модернізаційних трансформацій. Тут найперспективніші напрями пов'язані з максимальною віртуалізацією та інструменталізацією трансформаційних процесів. Перше обумовлює максимальне перенесенням робіт, щодо обґрунтування, підготовки і трансформації системи на віртуальний, тобто комп'ютерний рівень. Другий напрямок передбачає максимальну уніфікацію (за «принципом трансформера») трансформаційних технологій.

5.5. Напрями трансформації соціально-економічних систем при переході до адитивної економіки

Перехід суспільства до нової формації пов'язаний із зміною стану соціально-економічних систем, невід'ємною складовою чого є процеси *реструктуризації*. Реструктуризація систем – це явище зміни параметрів, які формують їх структуру. Схематично окремі види реструктуризації соціально-економічних систем в ході сучасних цифрових трансформацій показані в таблиці 5.2.

Слід зазначити, що характеристики реструктуризації, що наводяться в таблиці 5.2, мають властивість демонструвати, умовно кажучи, «ефекти телескопії». Інакше кажучи, кожна з них в свою чергу при більш детальному аналізі може поділитися на окремі складові реструктуризації.

Зокрема, при трансформації структури макроекономічної системи за таким показником, як «характер внутрішніх зв'язків», можуть відбуватися підструктурні зрушення залежно від зміни цілої низки параметрів:

- зміна продуктивності праці в різних ланках (сферах) економічної системи;
- зміна прибутковості (частки капіталу) за рік;

Таблиця 5.2 –Складові реструктуризації економічних систем в умовах адитивної економіки (АЕ)

Види характеристик, що змінюються	Характеристики, що змінюються	Приклад реструктуризації економічних систем в умовах АЕ
Просторові характеристики	Кількість елементів. Кількість зв'язків. Інтенсивність взаємодії елементів. Характер внутрішніх зв'язків. Характер зовнішніх зв'язків.	Перехід від сконцентрованих у просторі окремих підприємств до розподілених горизонтальних мереж великої кількості виробничих одиниць, зокрема, створення ЕнерНет
Параметри часу	Послідовність. Тривалість. Темп. Швидкість. Рівень синхронності процесів. Час перемикання.	Перехід від деконцентрованих у часі послідовних виробничих циклів до концентрованих у часі віртуальних підприємств з синхронним видом діяльності
Функції	Збирання та аналіз інформації. Відтворення зв'язків. Забезпечення часових параметрів. Трансформація матеріально-інформаційних потоків. Транспортування матеріалів і інформації. Репродукція підсистем. Вилучення енергії з довкілля. Видалення відходів в довкілля Захист системи. Корегування діяльності підсистем	Перехід від доміанти матеріального виробництва до доміанти інформаційного виробництва. Перехід від антропогенного до кібергізованого контролю за процесами виробництва й споживання продукції. Дематеріалізація процесів транспортування й зберігання продукції

- зміна банківського відсотку (що може по-різному вплинути на розвиток різних секторів);
- зміна ренти використання різних видів природних ресурсів;
- зміна податкової системи;

- зміна ефективності використання різних природних ресурсів;
- зміна цін;
- прояв різних темпів науково-технічного прогресу в різних галузях та ін.

Ведучи мову про структурні зрушення, пов'язані з цифровими трансформаціями в світовій економіці за останні 20 років (з 2000 р. по 2020 рік), можна назвати цілий ряд специфічних показників, що впливають на характер процесів реструктуризації економічних систем:

- інтенсифікація обробки інформації на індивідуальному рівні (кількість персональних комп'ютерів зросла з 140 млн шт. у 2000 році до 7500 млн.шт. у 2020 році);
- активізація мобільного зв'язку між населенням Землі (зміна з 100 до 7800 млн штук мобільних телефонів на планеті);
- мережевізація населення планети (зміна: з 80 млн до 4200 млн Інтернет-користувачів);
- зміна структури енергозабезпечення (збільшення частки «зеленої» енергії з 1% у 2000 р. до 25% у 2020 р.);
- адитивізація виробничих процесів (збільшення 3D-принтерів у 2000 разів);
- відцифровка інформації (збільшення частки цифрової інформації з 50% до 99%);
- кібергізація інформаційних процесів (збільшення частки інформації, яка генерується машинами, з 10% до 50%);

Це лише незначна частка показників, які характеризують процеси реструктуризації економічних систем у ході цифрових трансформацій. Зазначені зміни відбуваються в усіх секторах і ланках соціально-економічних систем.

Процеси реструктуризації є наочним результатом цифровізації соціально-економічних систем, яка закладає основу переходу до адитивної економіки. В свою чергу сама реструктуризація виступає як джерело формування нових трендів розвитку суспільних систем, задаючи нові вектори спрямування зусиль людей і напрямки орієнтації товарно-грошових потоків.

Зазначені властивості явища реструктуризації дають можливість характеристикам, що описують зазначене явище, виконувати різні функції аналітичного інструментарію. Серед головних із них можна виділити:

- аналіз кількісних і якісних параметрів процесів, що відбуваються в економічних системах;
- діагностика проблем та ризиків бізнес-процесів;
- прогнозування трендів розвитку економічних систем;
- визначення напрямків пріоритетного інвестування та реінвестування;
- створення фондів запобігання виникненню можливих економічних і соціальних проблем;
- визначення напрямів розвитку необхідних інститутів та забезпечувальних економічних і соціальних сфер в регіонах, країнах, корпораціях;
- формування мотиваційних інструментів підвищення конкурентоздатності соціально-економічних систем.

Як бачимо, характеристики структури економічних систем є важливим предметом управління соціально-економічним розвитком. Будь-які процеси, що відбуваються у суспільстві, обов'язково викликають трансформацію й структури господарських систем. Аналіз процесів реструктуризації є дієвим інструментом обґрунтування управлінських рішень та регулювання економічних процесів з метою забезпечення сестейнового соціально-економічного розвитку.

Перехід суспільства до нової соціально-економічної формації й адитивної економіки в ході одночасно трьох промислових революцій (Industries 3.0, 4.0, 5.0) супроводжується інтенсивною реструктуризацією економічних систем. В ході її змінюється склад та якісні характеристики суб'єктів господарювання, а також процесів виробництва і споживання продукції. Показники реструктуризації є дієвим інструментом обґрунтування рішень щодо визначення стратегічних напрямів розвитку людства, спрямованих на оптимізацію використання товарно-грошових потоків.



Розділ 6 РЕСТРУКТУРИЗАЦІЯ СОЦІАЛЬНО- ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕХОДІ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ*

6.1. Реалізації Industry 4.0 як передумови формування АЕ

Наразі цифрові трансформації набувають все більшої активності в функціонуванні й розвитку економічних систем. Будь-які трансформації, які відбуваються всередині економічних суб'єктів або в середовищі їх функціонування, неминуче обумовлюють зміну й співвідношення структурних елементів побудови макро- й мікроекономічних систем, що в економічній літературі отримало назву *реструктуризації*. Четверта промислова революція (Industry 4.0) викликала безпрецедентні зміни в характері розвитку економічних систем. Основне їх спрямування

* Матеріал підготовлено в рамках проекту НФДУ «Реструктуризація національної економіки в напрямі цифрових трансформацій для сталого розвитку» (№0122U001232), що фінансується з держбюджету України

полягає в передачі завдань контролю за функціонуванням та відтворенням виробничих систем кіберфізичним системам, які, як правило, набувають форми Інтернету речей (IoT). Основний вектор зазначених процесів пов'язаний із заміщенням матеріальних предметів праці і засобів виробництва їхніми інформаційними аналогами (цифровими двійниками). Через це зазначені процеси набули назву цифрових трансформацій.

Значний резонанс проблематика Industry 4.0 отримала після виступу на Міжнародному економічному форумі в Давосі (2016 р.) одного з головних теоретиків феномену «Індустрія 4.0» швейцарського економіста Клауса Шваба. Сам він охарактеризував це явище як *розмивання меж між фізичними, цифровими та біологічними сферами* (Schwab, 2016).

Уперше концепція Четвертої промислової революції була сформульована на Ганноверській виставці в 2011 році, на якій це явище було визначене як впровадження *кіберфізичних систем* у виробничі процеси.

Лідерство в Четвертій промисловій революції взяла на себе Німеччина, яка розробила приватно-державну програму «Industry 4.0», в рамках якої великі німецькі концерни за грантової підтримки досліджень Федеральним урядом створюють повністю автоматизовані виробництва, на яких лінії й вироби взаємодіють між собою та зі споживачами в рамках концепції Інтернету речей. За рахунок цього забезпечується випуск індивідуалізованої продукції (Industry 4.0, 2016).

Зміни, пов'язані з зазначеною промисловою революцією показані на рис. 6.1.

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 екосистеми живого світу планети.

На основі аналізу ряду публікацій (Schwab, 2016; Industry 4.0, 2016) можна сформулювати найважливіші функції, які зазначені кіберфізичні системи повинні будуть виконувати *без участі людини*:



Рисунок 6.1 – Зміни в соціально-економічних системах на основі Industry 4.0

- *обмін інформацією* (своєрідне «спілкування» між собою) в режимі реального часу;
- *контроль параметрів* зовнішнього середовища й своїх власних;
- *самоактивізація і зупинення* при певних інформаційних сигналах;
- *самонастроювання* на оптимальні режими роботи;

- *прогнозоване* (випереджальне, профілактичне) самообслуговування систем;
- *взаємодія з виробленими товарами* (якщо мова йде про виробничі системи);
- *адаптація під нові потреби* споживачів;
- *визначення обладнання*, необхідного для виробництва необхідних товарів або задоволення нових потреб;
- *самонавчання* нових прийомів роботи.

Впровадження кіберфізичних систем у виробництво й суспільне життя обумовлює зміну конфігурації зазначених систем.

6.2. Ключові напрями соціально-економічних змін

Цифрові трансформації суттєві соціально-економічні зміни, що відбуваються у суспільстві. Коротко охарактеризуємо їх зміст.

Зміна номенклатури товарів та послуг. При переході до цифрової економіки суттєво змінюється структура номенклатури товарів, які споживаються суспільством. Це пов'язано, по-перше, з характером виробничих процесів, по-друге, зі змінами, які відбуваються в самій людині. Перше обумовлює колосальне підвищення ролі інформаційних характеристик продукції, якою користуються споживачі у виробництві та побуті. Друге пов'язане з тим, що в самій людині збільшується попит на споживання виробів та послуг, які задовольняють потреби не біологічної (матеріальної) складової людини, а її особистісної (інформаційної) сутності.

Те, що зазначені інформаційні характеристики (зокрема, форма, властивості, функції) стають провідними предметами праці, людство почало усвідомлювати, коли вагому роль почали відігравати: у розмірах – частки мікрона, у формах – конфігурації складної геометрії, у властивостях – здатність працювати в надвисоких фізичних умовах, у споживчих характеристиках – багатофункціональність. Саме тоді товаром почали ставати не

матеріальні ресурси і вироби (цегла, цемент, сталь, автомобіль), а фізичні властивості й функції: точність, міцність, швидкодія, швидкість, надійність, якість, дизайн, ергономічність, що забезпечуються цими товарами.

Інформаційні продукти в тій чи іншій мірі завжди існували протягом практично всієї соціальної історії людства, але лише сьогодні стрімко набувають властивості товарів. Вони активно продаються й купуються, маючи свої ринкові ніші і налагоджену систему ціноутворення. Їх виробництво й реалізація супроводжуються жорсткою (часом дуже жорстокою) конкурентною боротьбою з її неминучими перемогами і поразками.

До таких видів продукції можна віднести послуги:

- освіти;
- медицини;
- мистецтва;
- культури;
- шоу-бізнесу;
- туризму;
- спорту;
- рекреації;
- архітектури;
- адвокатури;
- політики і багато іншого.

З допоміжних видів обслуговуючої діяльності у виробництві й розподілі матеріальних благ ці види послуг перетворюються на основні групи найбільш споживаних товарів. Це знакове явище. У людині-споживачеві пальма першості переходить від матеріальної сутності «біо» до інформаційної (особистісної) сутності людини «соціо».

Зміна технологічних процесів. Інформація все більше перетворюється й на знаряддя праці. Сьогодні інформаційні системи стають невід'ємною частиною практично всіх виробничих активів. Те, що інформація є ключовим компонентом обчислювальних машин і вимірювальних приладів, – очевидно й не вимагає додаткових коментарів. Але інформація починає викону-

вати надзвичайно важливу (а часом і провідну) роль у функціонуванні інших елементів основних фондів: машин, обладнання, інструментів, пристосувань, транспорту, передавальних пристроїв. Навіть в утриманні та підтриманні необхідного стану будівель і споруд роль інформації стає все більш відчутною.

Інформаційні системи все повніше забезпечують необхідний режим функціонування (вологість, температуру, склад повітря та інші фізичні характеристики) виробничих активів. У сучасних засобах праці провідне значення інформації обумовлено двома причинами: по-перше, тим, що вона відіграє першорядну роль у виконанні виробничих функцій; по-друге, переважною часткою її вартості в загальній ціні виробу, яка досягає іноді 80–90%. Зокрема, на маленький електронний блочок, що керує операційними режимами, припадає близько 70% ціни сучасної пральної машини-автомата.

Ще більше в засобах виробництва зростає роль інформації під час формування «розумних» виробничих систем, Інтернету речей і безпілотних транспортних засобів.

Прийде шне виробництво очікують значні структурні перетворення. Пов'язано це насамперед із тим, що на зміну великих господарських форм (потужних регіональних електростанцій, виробничих гігантів, величезних переробних і збагачувальних комплексів) приходять 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 за умов об'єднання в цілісні мережеві системи.

Зміна виробничих професій. Зміна специфіки виробництва й споживання продукції неминує спричиняє трансформацію спектру виробничих професій. На зміну рутинних операцій та фізичної праці приходять операції, пов'язані з обробкою інформації. А процеси виробництва матеріальних виробів замінюються роботами із створення цифрових двійників, інформаційних алгоритмів та програм, а також з надання різних послуг. Усе це значною мірою є інформаційними товарами.

Зміна змісту освітніх процесів. Суттєва зміна характеру виробничих процесів і професій, що їх забезпечують, вимагають докорінної зміни змісту підготовки відповідних фахівців.

Зміна співвідношення матеріальних й інформаційних факторів виробництва. Логіка розвитку економічних систем свідчить про те, що в процесах їхнього функціонування роль інформаційної складової (порівняно з матеріально-енергетичною) постійно зростає. Зокрема, в структурі витрат на реалізацію економічних процесів постійно збільшується частка витрат праці, матеріалів і енергії саме на виробництво й споживання інформації. В самій же інформаційній компоненті все більшої ваги набувають не кількісні, а якісні характеристики інформації: *достовірність, адекватність, повнота, релевантність, впорядкованість, своєчасність, цінність, адаптивність* та ін.

Зміна транспортних операцій. Зазначений напрям трансформації транспортних операцій обумовлюється:

по-перше, дематеріалізацією продукції, що виробляється;

по-друге, можливостями заміщення транспортуємих товарів їх цифровими двійниками у поєднанні з 3D-друком за місцем використання;

по-третє, можливостями on-line комунікацій людей, що значно обмежує необхідність їх безпосередніх контактів;

по-четверте, застосуванням технологій GPS, що підвищує ефективність транспортних операцій;

по-п'яте, застосуванням шерінгових відносин, що значно скорочує потребу в кількісному застосуванні транспортних одиниць;

по-шосте, застосуванням безпілотних видів транспорту, що забезпечує перерозподіл перевезення вантажів;

по-сьоме, зміною швидкості пересування окремих видів транспорту.

Все це обумовлює зміну структури перерозподілу перевезення пасажирів і вантажів.

Зміна співвідношення людських та машинних операцій. Кіберфізичні системи та штучний інтелект, які наразі при-

ходять у виробництво докорінно змінюють співвідношення праці людини й машинних операцій. При цьому суттєво змінюються ключові комунікації, у тому числі: людини з машиною; людини з речами, якими вона користується; машин з машинами; людини з іншою людиною або групою людей.

Зміна регіональної конфігурації виробництва. Формування віртуальних підприємств дозволяє реалізувати принцип концентрації у часі процесів, деконцентрованих у просторі. Завдяки створенню виробничих мереж підприємства, що перебувають в різних просторових умовах – часто у різних куточках земної кулі, – можуть інтегрувати свою діяльність в єдиних виробничих циклах.

Подібні приклади демонструють багато відомих компаній світу, зокрема, транснаціональні корпорації «Боїнг» та «Аеробус». Ще один приклад – компанія CISCO-system, яка контролює виробництво близько половини комп'ютерного обладнання в світі. У діяльності компанії беруть участь 38 найбільших світових компаній у різних країнах. Але лише два з них належать безпосередньо самій CISCO.

Сьогодні на світовому ринку можна вибрати собі в партнери будь-яке підприємство, комплементарне для вас (тобто таке, що доповнює ваші можливості) за будь-яким із сегментів своєї діяльності. Це підприємство буде самостійно забезпечувати свою логістику, кадрову й технічну політику, а також вирішувати всі виробничі й маркетингові питання за всіма іншими сегментами своєї діяльності.

Соціальні зміни. Зміна характеру організації виробництва та споживання продукції безпосередньо впливає на соціальну конфігурацію суспільства. По-перше, відбувається інтелектуалізація суспільства, збільшення частки людей з креативною складовою діяльності. По-друге, можна спостерігати вирівнювання соціальних можливостей членів суспільства за рахунок збільшення частки середнього класу в зв'язку з виникненням горизонтальних виробничих мереж, формуванням солідарної економіки й масовим зростанням кількості власників засобів виробництва (комп'ютерів, альтернативних джерел енергії, транспортних

одиниць, 3D-принтерів). Умовно цей процес можна назвати *соціалізацією*, розуміючи під цим формування соціалістичних засад суспільства.

6.3. Реструктуризація складових економічних систем при переході до АЕ

Трансформаційні процеси фазового переходу висувають перед людством необхідність вирішення складних питань забезпечення реалізації відповідних прийдешніх змін. Лише уявляючи зміст, форми, специфіку окремих явищ, а також причинно-наслідкові зв'язки їх виникнення можна обґрунтовано визначати напрями витрачання суспільних ресурсів, ефективно планувати господарську діяльність, цілеспрямовано готувати людський капітал до вирішення майбутніх завдань.

Значні зміни форми і змісту економічних систем неодмінно супроводжуються їх реструктуризацією. Реструктуризацію можна розглядати як *зміну параметрів, що впливають на співвідношення окремих складових економічних систем*.

Одним з ключових факторів, на якому ґрунтується реалізація стратегічного планування є прогностичні оцінки очікуваної зміни складових економічних систем. Проведений аналіз дає можливість обґрунтувати ключові види реструктуризаційних змін при переході країн до моделі адитивної економіки. В загальному вигляді картина системного комплексу реструктуризацій показана на рисунку 6.2.

Охарактеризуємо докладніше зазначені напрями реструктуризації.

Реструктуризація виробництва енергії. Одним із важливіших трендів сучасності є перехід людства до відновлюваних джерел енергії. Їх можна вважати представниками адитивних технологій в сфері виробництва енергії. Зокрема, вони ґрунтуються на принципі вилучення з природи лише корисної частини енергії з мінімумом відходів, що супроводжують цей процес (головним

чином на стадіях отримання виробничих активів і їх утилізації після закінчення терміну служби). Таким чином, по факту відновлювана енергія переважно додає природну субстанцію до готової продукції (енергії, що отримує людство).



Рисунок 6.2 – Реструктуризація складових економічних систем при переході до адитивної економіки

Більш того, відновлювану енергію можна вважати унікальним продуктом праці людей. Адже при її виробництві загальна кількість теплової енергії, на планеті не збільшується. Енергія, яку отримує Земля з зовнішніх джерел космосу лише розподіляється за корисними для людини напрямками.

З 2022 до 2025 року прогнозується збільшення частки відновлюваної енергії у загальносвітовому її виробництві з 29% до 35%. Саме за рахунок відновлюваної енергії до 2025 року буде забезпечено 90% приросту виробництва енергії (Ellerbeck, 2023a). Міжнародне агентство з відновлюваної енергії (The International

Renewable Energy Agency – IRENA) прогнозує, що до 2050 року виробництво електроенергії забезпечуватиметься на 90% за рахунок відновлюваних джерел (Hall, 2022).

Аналіз процесів реструктуризації енергетичного сектору дає можливість зробити кілька важливих висновків, щодо формування стратегічних напрямів суспільного розподілу ресурсів. Розвиток відновлюваної енергії вже в 2022 році дав можливість скоротити емісію CO₂ від процесів глобального виробництва енергії. Таким чином, цей напрям стає одним із найперспективніших з точки зору збереження клімату планети.

Суттєвому прогресу у розвитку відновлюваного сектору виробництва енергії сприяє значне здешевлення цього методу. Очікується, що це зумовить прискорення переходу країн, що розвиваються, на альтернативні джерела енергії й реструктуризацію відповідних інвестицій.

Відбувається суттєвий перерозподіл робочих місць на користь сектору відновлюваної енергії. Згідно з даними агентства IRENA наразі в цьому секторі у світі працює близько 12,7 млн осіб (Ellerbeck, 2023б). Зазначений прогноз дає можливість здійснити відповідну реструктуризацію освітніх процесів для підготовки людського капіталу з принципово новими знаннями й навичками роботи.

Дискусійними питаннями залишаються проблеми формування динамічної моделі застосування інструментів (технологічних, економічних, соціальних), необхідних для впровадження, супроводу й подальшої експлуатації альтернативних джерел енергії. Згадана модель повинна бути динамічною і гнучкою, передбачаючи механізми коригування інструментарію залежно від умов, що виникають у суспільстві. Зокрема, практика показана, що «зелені» тарифи, які були актуальними на початкових стадіях розвитку відновлюваної енергетики, повинні замінюватися на інші інструменти (зокрема, на аукціони чи інші ринкові механізми купівлі електроенергії) та супроводжуватися інструментами балансування виробництва енергії, а також розвитку систем зберігання енергії.

Реструктуризація енергетичних мереж. Перехід до горизонтально розподілених мереж виробництва відновлюваної енергії вимагає формування нової концепції створення інфраструктури енергетики. Фактично мова йде про перехід від невеликої кількості великих виробників енергії до значної кількості деконцентрованих у просторі малих енергетичних одиниць. У масштабах ЄС можна говорити про цифру в сотні мільйонів. Саме такою величиною вимірюється кількість будівель, кожен з яких передбачається перетворити на джерело альтернативної енергії (сонячної, вітрової, біогазової, отриманої за допомогою теплових насосів).

Виникає необхідність вирішення безпрецедентно складного комплексу технічних, організаційних та економічних завдань, пов'язаних із виробництвом, збиранням, перетворенням, зберіганням, транспортуванням і споживанням енергії. На рішення саме цих завдань спрямоване створення ЕнерНету (своєрідного енергетичного інтернету) – мережевої електроінфраструктури.

Автором терміна «ЕнетНет» (Ether net) (за аналогією з «Інтернет») вважається американський інженер і винахідник Роберт Меткалф (Robert Metcalfe), який у 1973 році виклав концепцію майбутньої глобальної енергетичної мережі, яка повинна зв'язати розподілені відновлювані ресурси, «підключаючи до них окремих споживачів і сприяючи тим самим підвищенню рівня життя» (Patterson, 2017). У 1983 році некомерційна організація IEEE (Інститут інженерів електротехніки та електроніки) затвердила стандарти ЕнерНету (Robert, 2014).

Глобальна мережа Інтернет, яка сьогодні стала невід'ємною складовою життя жителів Землі, забезпечує виконання цілого комплексу функцій, пов'язаних з обробкою, передачею, зберіганням та відтворенням інформації. Ідея Меткалфа саме й полягала в тому, щоб наділити енергетичні мережі подібним набором функцій щодо енергії. Для цього енергетичні мережі повинні стати воістину «розумними» (smart), тобто здатними на вирішення значної кількості інформаційних завдань в автоматизованому (комп'ютеризованому) режимі.

Якщо говорити конкретно, ЕнерНет покликаний забезпечити виконання таких груп функцій: *генерування й перетворення енергії, її тарифікація, збирання (купівля), передача, зберігання і відпуск (продаж); а крім того – контроль за процесами, що відбуваються (моніторинг); оптимізацію операцій, забезпечення стійкості і безпеки систем, підтримання якості електроенергії.*

Необхідно звернути увагу на те, що подібні системи повинні забезпечити двосторонній обмін потоками електроенергії та інформації, адже виробник і споживач енергії (а ними можуть бути звичайні домоволодіння, розташовані на різних територіях) можуть постійно мінятися ролями. І той, хто всього лише кілька миттєвостей тому виробляв надлишки енергії, може через певні причини (погодні умови, режим роботи та ін.) миттєве перетворитися на її споживача. Природно, так само легко має здійснюватися й зворотний перехід.

Мова йде про те, що всі об'єкти енергетичної мережі з пасивних повинні перетворитися на активні, динамічні й гнучкі виробничі системи. Активні енергетичні мережі здатні швидко адаптуватися до мінливих потреб зацікавлених сторін – власників, споживачів, продавців. У таких ролях вони розглядаються сьогодні як ключовий елемент інфраструктури «розумних» енергосистем майбутнього.

Ще одним важливим завданням, яке покликаний вирішити ЕнерНет, є інтеграція в роботу інших «розумних» мереж (smart grids), що сьогодні створюються на рівні підприємств, територій, країн. Власне, ЕнерНет і є формою однієї з таких «розумних» мереж, що дозволяє йому органічно вписуватися в загальну картину формування глобального інформаційного простору.

Необхідно підкреслити, що ЕнерНет включає в себе не лише нові енергетичні технології, але також і сучасні інформаційні та комунікаційні технології *білінгу* (тобто економічних розрахунків), *електронної комерції, управління доступом, адміністрування* в мережах різного масштабу, *модельовання та зберігання даних, віртуалізації, комп'ютерної безпеки, розподілених обчислень, збирання, обробки й передачі інформації* в реальному часі.

Розвиток «розумних» інформаційно-енергетичних мереж дозволить істотно підвищити ефективність процесів виробництва й споживання енергії, а також забезпечити якість енергопостачання та стійкість енергосистем. Нарешті, перехід до «розумних» енергосистем дасть поштовх до розвитку нових видів продукції та послуг, а також до формування нових ринків.

Можна сказати, що в процесі розвитку регіональних мереж ЕнерНет спочатку в масштабах Євросоюзу, США, Індії, Китаю та інших великих держав, а потім у глобальних масштабах повною мірою формуватиметься як свого роду глобальний енергетичний Інтернет. Для успішної інтеграції широкого спектру технологічних, загальнотехнічних, проектних, організаційно-управлінських та логістичних рішень такої «енергетичний» Інтернет повинен розвиватися на основі відкритих, загальнодоступних, визнаних індустріальною і управлінською спільнотами стандартів. Світова система подібних стандартів зараз бурхливо розвивається.

Дискусійними питаннями є побудова відносин держави з власниками засобів виробництва та управління мережами, які мають надскладну систему побудови. Зокрема, як зазначають експерти, необхідно розглядати весь спектр стимулів і механізмів фінансування відновлюваної енергетики та управління її станом. Прикладами можуть бути: державно-приватне партнерство, кооперативи та енергетичні спільноти, нові механізми розвитку альтернативної енергетики. Такими, зокрема, є чистий облік енергоспоживання та двосторонні угоди на закупівлю електроенергії, що дають впевненість та стабільність як для виробників, так і для довгострокових споживачів чистої енергії.

Реструктуризація інтерфейсної сфери. Поява та розвиток адитивних технологій і адитивного виробництва створює передумови для докорінної зміни структури операцій в *інтерфейсній* сфері. Остання зв'язує окремі економічні суб'єкти в єдині функціональні системи. До інтерфейсної сфери зазвичай відносять: процеси транспортування та зберігання продукції, а також торгові операції (Ievsieieva et al., 2021; Tsyppkin et al., 2020).

Технології 3D-принтингу надають можливості для дематеріалізації процесів транспортування та зберігання продукції. Зокрема, передаватися від одного економічного суб'єкта до іншого можуть не оригінали матеріальних виробів, а їх цифрові двійники, тобто інформаційні образи (файли), які в місці кінцевого використання матеріалізуються за допомогою 3D-принтерів. Схожим чином значна кількість споживчої продукції може зберігатися також в інформаційній формі, що значно здешевлює відповідні процеси.

Адитивне виробництво докорінно змінює й структуру торгових операцій. Поява дешевого й простого у застосуванні 3D-обладнання (принтерів, сканерів, ручок) може значно вплинути на відносини між виробником і споживачем продукції. Зокрема, це робить реальністю принаймні дві речі: по-перше, можливість виготовлення продукції на індивідуальні замовлення споживача; по-друге, реалізація прямих фінансових відносин між виробником і споживачем продукції, тобто без посередника у вигляді торгових суб'єктів.

Дискусійними питаннями є пошук нових форм роботи транспортних систем в умовах адитивної економіки. Зокрема, дискутуються можливості створення потужностей 3D-друку в мережах систем зв'язку. Ще одним важливим питанням для дискусії є розвиток форм прямого зв'язку між виробником і споживачем продукції й виготовлення продукції на індивідуальне замовлення останнього.

Реструктуризація первинних ресурсів. Перехід до адитивного виробництва неодмінно вплине на структуру первинних ресурсів. Виробництво продуктів на 3D-принтерах вимагає від матеріалів, що застосовуються, зовсім інших властивостей ніж ті, що використовуються при субтрактивних технологіях.

За формою головними видами матеріалів, що використовуються в 3D-принтингу, є: полімери, метали, композити, кераміка, пісок, матеріали з органічної сировини, біоактивні матеріали.

На основі аналізу світових досліджень (Zelinski, 2023; Venhuizen, 2020; Andreassen, 2023; Materials, 2023) нами сфор-

мовані ключові напрями, за якими повинні розвиватися властивості матеріалів, які застосовуються в 3D-принтингу:

- досягнення технічних характеристик (фізичних властивостей), необхідних для роботи в певних фізико-хімічних умовах (високих або низьких температурах, високому або низькому тиску, ударних навантаженнях, агресивних середовищах, інтенсивному терті та ін.);
- забезпечення можливості роботи як «чорнила» для 3D-друку;
- забезпечення високої точності в конструюванні, тобто при розрахунку, прогнозуванні та досягненні заданих властивостей і характеристик;
- досягнення з мінімальними витратами праці, часу й коштів гнучкої зміни властивостей і характеристик;
- здатність перетворювати одні форми енергії на інші;
- придатність для імплантації в біологічні організми;
- прийнятність для метаболізму екосистем і потреб циркулярного ресурсовикористання;
- достатня дешевизна отримання, експлуатації та утилізації.

Кожна з перелічених властивостей матеріалів передбачає відповідний напрям спрямування ресурсів суспільства, включаючи: кошти, матеріальні активи, людський капітал.

Дискусійним питанням є формування єдиних наукових комплексів, здатних забезпечити синергетичну єдність трьох складових адитивного виробництва: *hard ware*, *soft ware* і *materials*, тобто матеріальних активів, інформаційного супроводження й матеріалів. Прихід штучного інтелекту в зазначену сферу діяльності міг би забезпечити динамізм вибору оптимальних матеріалів в конкретний час для конкретних завдань.

Реструктуризація виробничого циклу. Принциповою особливістю сучасного етапу розвитку виробничої сфери є перенесення центру ваги (а відповідно й витрат) у виробничому процесі з циклу тиражування виробів (тобто, власне, виробничого процесу) на цикл їх проектування. Саме там закладається основна цінність майбутнього виробу, тобто його інформаційні

характеристики: властивості, функції, експлуатаційні параметри (надійність, естетичність тощо).

В найближчому майбутньому те, що зараз прийнято називати виробництвом (наприклад, потужності машинобудівних підприємств), почне виконувати функції, які наразі виконує звичайний 2D-принтер. Йому просто необхідно буде матеріалізувати (виготовити в матеріальній формі) та при потребі тиражувати результати інформаційного виробництва на попередніх стадіях виробничого циклу.

У 2010 році перша модель iPad продавалася за \$500. При цьому загальні витрати на виготовлення матеріальної частини приладу (як висловлюються програмісти, «заліза») становили лише \$33. Аналогічна структура вартості виконання окремих стадій створення кінцевого продукту спостерігається й в інших секторах економіки.

В мікроелектроніці на початку XXI сторіччя відбулося розділення між економічними суб'єктами, які беруть участь у циклі створення продукту, на *fabless* і *foundry* компанії. Перші займаються створенням дизайну, тобто інформаційної складової майбутнього проекту чи продукту (зокрема, ведуть наукові дослідження, проектують чипи) і не мають власних виробничих потужностей для виготовлення його в матеріальному вигляді. Другі виконують операції з матеріалізації кінцевого продукту. Причому обороти перших вже почали стабільно перевищувати обороти других.

Таким чином, основним видом продукції в бізнесі стають не вироби й послуги, а стартапи, точніше інновації, на виробництво яких орієнтовані дані стартапи. Причому коло інновацій, які продукуються стартапами, надзвичайно широке і стосується всіх сфер життя.

Можна назвати ще точніше вид предметів, які продаються у вигляді стартапу – це різні форми *підвищення ефективності* процесів життєзабезпечення людини.

Дискусійним питанням є формування шляхів розвитку технологій, здатних самовідтворювати свої можливості (потужності) залежно від виробничих обставин, що змінюються. В проце-

сі еволюції перебувають форми розвитку методів формування й реалізації стартапів.

Зміна організаційної структури виробництва. Виробничі процеси очікують значні структурні перетворення. Пов'язано це насамперед із тим, що на зміну великих господарських форм (потужних регіональних електростанцій, виробничих гігантів, величезних переробних і збагачувальних комплексів) приходять мережі, що складаються із тисяч і навіть мільйонів маленьких виробничих одиниць (ІТ-підприємств, міні-енергетичних установок, виробництв, що використовують 3D-принтери). Вони можуть стати реальною продуктивною силою, лише за умов об'єднання в цілісні мережеві системи.

Сама специфіка адитивної економіки і діючих у її складі адитивної енергетики й адитивної переробної промисловості вимагає докорінної трансформації синергетичної (комунікаційної) основи. Більш того, можна з упевненістю стверджувати, що без подібних перетворень ані адитивне виробництво, ані адитивна енергетика не зможуть бути реалізовані повною мірою. Основні докази можна сформулювати таким чином.

На відміну від традиційної енергетики, яка базується на великих за обсягами переробних потужностях, адитивна енергетика використовує величезну кількість (лише в ЄС плануються сотні мільйонів одиниць) невеликих генеруючих установок. Це пов'язано зі значною *деконцентрацією* джерел енергії. Фактично кожна сім'я, залишаючись споживачем енергії, перетворюється на її виробника. Подібні деконцентровані джерела енергії можуть стати реальною продуктивною силою лише за умови, якщо вони будуть об'єднані в єдині системні комплекси та інформаційно впорядковані.

Схожі процеси відбуваються в підрозділах адитивної переробної промисловості, де неминуче виникатимуть мережі економічних суб'єктів, які об'єднуватимуть виробників інформаційних складових майбутніх образів (дизайнів, моделей, образів) і потужностей, здатних надрукувати їх на 3D-принтерах.

Іще однією сферою, де адитивні технології набувають інтенсивний розвиток, є аграрне виробництво, побудоване на за-

стосуванні гідропоніки, вертикальних ферм та систем вирощування м'яса з пробірки. Кожен з цих видів виробництва має ознаки адитивних технологій, адже здійснюється з мінімумом залучення природних факторів і фактично реалізується шляхом додавання до предметів праці лише необхідних компонентів.

Слід зазначити, що горизонтальні виробничі організації наближаються за своєю формою до екосистемних ієрархічних структур, які спрощено можуть бути охарактеризовані формулою: центр скрізь, периферія – ніде. В подібних структурах рушійний імпульс діяльності у вигляді прийнятого рішення, а з ним і пошуку засобів для його реалізації, генерується на рівні конкретного виконавця, залежно від ситуації на місцях. Інформаційний сигнал про це передається знизу вгору – на верхні рівні. Функцією останніх є узгодження дій окремих виконавців, розподіл загальносистемних ресурсів, створення оптимальних умов для ефективного функціонування системи та визначення принципових напрямів її розвитку.

Розвиток виробництва на основі горизонтальних мереж є новою формою організації виробництва. Тож потребує вирішення цілого кола проблем: від узгодження дій окремих виконавців до управління на рівні макроекономіки на основі концепції «система систем».

6.4. Реструктуризація соціально-економічних факторів при переході до АЕ

Реструктуризація міжнародних економічних зв'язків. Специфіка адитивного виробництва створює передумови для дистанційної інтеграції економічних суб'єктів в єдиному виробничому процесі. Підприємства, роз'єднані у просторі, можуть об'єднувати свої виробничі операції в єдиних періодах часу. Завдяки створенню виробничих мереж підприємства, що перебувають в різних країнах, можуть інтегрувати свою діяльність в єдині виробничі цикли.

Дискусійними питаннями залишаються проблеми узгодження питань, пов'язаних з різницею національних умов функціонування кожного з окремих суб'єктів в межах міжнародних віртуальних підприємств. Мова йде про різницю в соціальних, етичних, законодавчих та економічних умов.

Реструктуризація економічних відносин. Розвиток адитивного виробництва вносить суттєві зміни в економічні відносини між окремими суб'єктами. Формування горизонтальних виробничих мереж, про яке ми писали вище, супроводжується значним збільшенням кількості власників засобів виробництва (наприклад, генераторів альтернативної енергії, 3D-принтерів чи персональних комп'ютерів, які працюють у зв'язці з останніми). Відбувається масова соціалізація в економіці, коли засоби виробництва переходять до значної частини населення.

Досить сказати, що на початку 2020-х років кількість приватних сонячних електростанцій в Україні наблизилась до 50 тисяч (причому більшість з них була встановлена в останні 5 років). А в Німеччині цей показник вже сягає понад півмільйона одиниць.

Виникають умови для формування соціальної й солідарної економіки, адже формальні власники засобів виробництва є одночасно й їх фактичними користувачами. Це змушує їх брати активну участь в управлінні роботою економічних систем (мереж), в межах яких вони діють.

Сьогодні світ стоїть на порозі створення нових форм соціальної і солідарної економіки. Дискусійними питаннями в кожній із виробничих спільнот є широке коло питань: від забезпечення узгодженості роботи окремих співвиконавців до систем оплати, оподаткування та відносин із місцевою та центральною владами. Окремим питанням є пошук шляхів реалізації ключового принципу сталого розвитку: «думай глобально – дій локально».

Зміна соціальної структури суспільства. Сказане вище обумовлює значні зміни соціальної структури суспільства. Зокрема, наведені вище цифри збільшення кількості приватних еле-

ктростанцій в Україні наочно висвітлюють іще один важливий факт: з'являється значний прошарок населення, здатний брати участь у інвестуванні розвитку різних видів діяльності, зокрема, пов'язаних з «зеленим» переходом, тобто екологізацією економіки країни.

На початок 2022 року потужність приватних сонячних електростанцій в Україні досягла 1200 МВт, що становило 10% від потужності всієї сонячної енергетики країни.

З урахуванням того, що на створення 1 МВт сонячної генерації витрачається в середньому до 1 млн євро, можна зробити висновок, що в розвиток лише сонячної енергетики звичайні громадяни України профінансували з власних кишень суму, еквівалентну 1,2 млрд євро.

Крім того звичайні українці беруть також активну участь у фінансуванні «зеленого» переходу в частині електрифікації транспорту. Зокрема, на початок 2022 року кількість приватних електрокарів в Україні наблизилася до 50 тисяч.

Український Інтернет заповнений різноманітними пропозиціями щодо обладнання для 3D-принтингу. Оскільки все це продається, то значить кимось це купується і використовується. Українські компанії не тільки активно використовують 3D-принтери, але й почали розробляти власне обладнання до 3D-друку.

Одним із важливих показників, який характеризує зрушення в соціальній структурі суспільства, є рівень розвитку фрілансерства. Фрілансер – це людина, що здатна самостійно визначати режим своєї діяльності. Стосовно фрілансерства як економічного виду діяльності це означає необхідність самостійного пошуку замовлень на пропозицію своєї діяльності, здійснення відповідного фінансового супроводу, визначення режиму праці й відпочинку, турбота за іншими членами сім'ї. Фактично фрілансер – це підприємство (тобто, соціально-економічна система) в мініатюрі на рівні однієї особи та, можливо, членів її сім'ї.

Слід підкреслити одну важливу деталь. Фрілансер – це не просто людина, яка самоорганізовує свою працю. В переважній більшості фрілансери – люди креативної праці (ІТ діяльність, дизайн, тексти, ілюстрації, маркетинг, ін.). Усі ці види діяльності вимагають постійного самоудосконалення, а отже – постійного самонавчання і саморозвитку. Саме це є принциповою метою

сестейнового розвитку суспільства. Ця мета визначена П'ятою промисловою революцією (Industry 5.0), що ініційована ЄС.

Вражають темпи зростання фрілансерів. На початок 2022 року частина кількості фрілансерів в Україні оцінювалася в 10% від кількості працюючих. Передбачається, що найближчими роками вона може зрости до 20%. Схожі процеси відбуваються і в інших промислово розвинутих країнах світу.

Зазначений напрям суспільної реструктуризації є одним з найбільш дискусійних і найбільш актуальних у колі питань суспільного розвитку. Саме в ньому сконцентрований ключовий вузол питань, обумовлених Industry 5.0. До них належать важливі суспільні завдання: як забезпечити поєднання праці людини з діяльністю кіберфізичних систем, як забезпечити соціальний розвиток людини та її самоудосконалення в умовах кібергізованого задоволення базових фізіологічних потреб людини, як оптимізувати частку креативної діяльності людини в системі адитивного виробництва?

Реструктуризація освітніх процесів. Освіта готує людський капітал для життя в новій реальності й діяльності в нових виробничих умовах. Трансформаційні процеси, пов'язані з переходом до адитивної економіки, об'єктивно обумовлюють докорінну зміну структури освітніх процесів.

За змістом ця зміна буде пов'язана з переходом до нової номенклатури професій і спеціальностей, яку несе з собою адитивна економіка. Можна також спрогнозувати певну зміну форм навчальних процесів у відповідності до змін в умовах життя і специфіки виробничих процесів. Ці зміни можна узагальнити таким чином:

- від навичок користуватися матеріальними засобами виробництва до здатності оперувати інформаційним інструментарієм;
- від навчання стандартними знаннями та навичками до формування індивідуального потенціалу виробника, необхідного для створення креативного продукту;

- від уміння жити в локальному середовищі до формування світогляду, знань і навичок для діяльності в глобальному просторі;
- від уміння споживати матеріальні вироби до здатності користуватися інформаційними товарами та послугами;
- від здатності споживати невідновлювані природні ресурси до уміння користуватися відновлюваними природними факторами і діяльності в циркуляційній економіці;
- від лінійного мислення до нелінійного мислення.

Можливо, головним вектором трансформації освітніх процесів для життя в мінливих умовах адитивної економіки стане перехід від навчання накопиченими знаннями та навичками до здатності самостійно вчитися й переучуватися. Пошук форм і змісту реалізації цього переходу сьогодні й є найбільш дискусійною проблемою в науковій літературі.

Ми визначили лише гіпотетичний спектр напрямів реструктуризації економічних систем і їх можливу спрямованість в просторі просування до адитивної економіки. По кожному з напрямів було визначено актуальне коло дискусійних питань щодо його реалізації.

Загальною дискусійною проблемою залишається процес соціологізації процесів формування адитивної економіки, тобто визначення змісту й форм створення нових соціальних інститутів та нової людини, здатних забезпечити завдання зазначеного фазового переходу.

6.5. Ринкові особливості переходу до АЕ

Цифрові трансформації, які наразі переживає людство, змінюють форму й зміст соціально-економічних систем. Зазначені процеси неминуче обумовлюють зміну співвідношення структурних елементів побудови макро- і мікроекономічних систем. Це отримало назву реструктуризації.

Одним із найбільш суттєвих явищ сьогодення, яке має безпрецедентний цивілізаційний характер, є Четверта промислова революція (Industry 4.0). Вона спрямована на впровадження кіберфізичних систем у виробничі процеси з метою заміщення там людського фактору. Ключовими ознаками процесів, що відбуваються в ході Industry 4.0, є: формування Інтернету речей; застосування штучного інтелекту; побудова «розумних» мережевих систем на рівні підприємства, міста, території; кібергізація фізичного світу; інтеграція когнітивних здатностей людини й штучного інтелекту; побудова циркулярної економіки; формування самоорганізованих систем на основі хмарних технологій та ін.

Зазначені процеси обумовлюють зміну параметрів економічних систем, що впливають на співвідношення окремих складових економічних систем. Ключовими векторами реструктуризації економічних систем в ході зазначених процесів є: зміна номенклатури товарів та послуг, зміна структури технологічних процесів, зміна організаційної структури виробництва, зміна структури виробничих професій, зміна структури освітніх процесів, зміна матеріально-інформаційного змісту виробництва, зміна структури транспортних операцій, зміна співвідношення людських та машинних операцій, зміна регіональної структури виробництва, зміна соціальної структури суспільства.

У процесі формування адитивної економіки ринки зазнають низки змін, що впливають на їх структуру, динаміку та конкурентну позицію. Використання новітніх технологій веде до збільшення ринку. Виходячи з того, що зростає попит на пристрої на основі компонентів нових промислових революцій, формуються нові компанії, які готові запропонувати це обладнання споживачам. Зокрема, розвиток технологій Industry 4.0 сприяє зростанню світової торгівлі та розвитку нових, більш глобальних ринків. Завдяки покращеній комунікації, зменшенню бар'єрів у торгівлі та підвищенню рівня автоматизації компанії можуть ефективно співпрацювати в міжнародному масштабі. Це стимулює зростання експорту, імпорту та іноземних інвестицій. Враховуючи це, конкуренція на ринку стає все гострішою. Ком-

панії, які успішно впроваджують ці технології, мають перевагу, оскільки вони можуть запропонувати нові продукти, послуги та рішення, які відповідають потребам ринку. Швидкість впровадження інновацій стає ключовим фактором конкурентоспроможності (The Fourth, 2016).

Іншим важливим моментом є те, що бізнес-модель на ринку змінюється через вплив промислової революції. Поява Інтернету речей, підштовхнула появу нових послуг і продуктів. Наприклад, моделі «Оплати за використання», які дозволяють компаніям пропонувати послугу або продукт за плату лише для фактичного використання, сприяють більш ефективному використанню ресурсів.

Моделі «Промисловість – як послуга» пропонують наскрізні рішення з використанням передових технологій замість продажу продукції традиційним способом. Розумні моделі обслуговування дозволяють компаніям пропонувати інноваційні рішення та взаємодіяти зі споживачами новими способами. Наприклад, компанія може продавати транспорт як послугу, а не власність на транспортний засіб. Клієнти сплачують щомісячну плату за використання безпілотних електромобілів за бажанням. Ця модель більш стабільна й доступна багатьом споживачам. Водночас, це забезпечує автовиробникам постійний потік доходу від надання послуг. Нові бізнес-моделі створюють можливості для інновацій і зростання в багатьох галузях, які зазнають цифрової трансформації (What, 2023в; Sniderman, 2016).

З іншого боку, поява технології Industry 4.0 створює нові вимоги до працівників. З'являються нові професії, включаючи управління та обслуговування передових систем. Це викликає зміни на ринку праці. Водночас можливий перехід до іншого типу працівника, орієнтованого на розвиток і використання новітніх технологій. Межі між фізичним і цифровим світом, роботою та відпочинком, навіть між людьми та машинами стираються. Нові інтерфейси, інтелектуальні агенти та змішана реальність побудують взаємопов'язані враження, які переосмислять багато аспектів нашого життя та роботи. Майбутнє ринку буде формуватися цими силами, оскільки підприємства та споживачі адаптуються до нової реальності все більш технологічного світу.

Розуміючи та приймаючи ці тенденції, підприємства можуть створювати інноваційні продукти, послуги та досвід, які передбачають і реагують на мінливі потреби та вподобання людей. Важливо знайти баланс між людським розумінням і штучною здатністю будувати майбутнє, яке посилює та розвиває людський потенціал (Council, 2018; Embracing, 2023).

Хоча потенційні переваги адитивних виробництв величезні, вплив на існуючі ринки та галузі буде дуже тривожним. Багато рутинних робіт, включаючи більшість повторюваних завдань, мають високий ризик автоматизації. Окремі галузі, такі як транспорт, логістика та виробництво, переосмислюються за допомогою таких технологій, як автономні транспортні засоби, робототехніка та «розумні» заводи. Однак, нові ринки також виникають навколо сучасних інновацій. Існує величезний потенціал зростання в таких сферах, як хмарні послуги, кібербезпека, розробка програмного забезпечення, аналітика даних, дані штучного інтелекту та консалтинг. Компанії, які можуть успішно перейти на нові бізнес-моделі, процвітають, тоді як ті, яким не вдається адаптуватися, можуть відчувати труднощі (Council, 2018).

Уряди та політики відіграють важливу роль у сприянні розвитку промислових ринків. Вони повинні інвестувати в освіту та навчання, щоб підготувати працівників до робочих місць майбутнього, сприяти дослідженням і розробкам ключових технологій, розробити правила та політику, які заохочуватимуть інновації, мінімізуючи ризики (Embracing, 2023).

Приємно зазначити, що підприємства України не тільки почали активно впроваджувати адитивні технології, але й стануть їх виробниками.

Україна вже розпочала активне впровадження адитивних технологій і стає виробником відповідних продуктів. Це стимулює розвиток інноваційного сектора та сприяє переходу до адитивної економіки. Одним із напрямків реструктуризації національного господарства в процесі формування адитивної економіки є розвиток інфраструктури для адитивного виробництва.

Для ефективного впровадження адитивних технологій в Україні необхідно розвивати спеціалізовані центри адитивного виробництва, де підприємства та дослідницькі установи зможуть мати доступ до сучасного обладнання та експертної підтримки. Такі центри можуть стати платформою для співпраці між бізнесом, наукою та урядом у розробці та впровадженні нових продуктів і технологій.

Для сприяння розвитку адитивної економіки урядам також важливо залучати інвестиції в цей сектор. Інвестиційні програми та підтримка стартапів, які працюють у галузі адитивного виробництва, допоможуть залучити необхідний капітал для розвитку цих технологій.

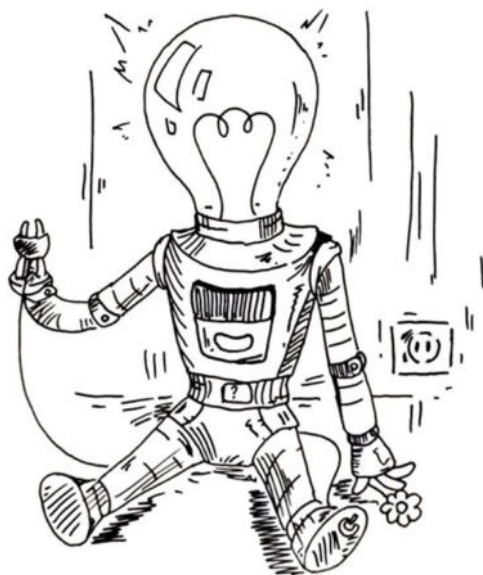
Паралельно з цим, уряди мають створити сприятливе правове середовище для адитивного виробництва, зокрема, шляхом розробки відповідних нормативно-правових актів. Це може включати визнання адитивного виробництва як окремої галузі, встановлення стандартів якості та безпеки, а також захист інтелектуальної власності в цьому секторі.

Оснoву адитивної економіки складають: технології 3D-принтингу, відновлюваних джерел енергії, індустриальних методів аграрного виробництва (гідропоніка, «м'ясо в пробірці»). Крім очевидних екологічних ефектів промислові адитивні технології мають значні переваги у порівнянні з субтрактивними технологіями: пряме прототипування (матеріалізація) дизайну, зменшення вартості для малих серій виробництва, здатність працювати без прямої участі людини, можливість транспортування й зберігання продуктів в інформаційному вигляді, ін.

Основою стратегічного планування переходу до адитивної економіки є прогностичні оцінки очікуваної зміни складових економічних систем. Зазначені зміни отримали назву реструктуризації. Проведені дослідження дозволили сформулювати ключові напрями реструктуризації економічних систем при переході до адитивної економіки: реструктуризація видів виробництва енергії, реструктуризація енергетичних мереж, реструктуризація інтерфейсної сфери, зміна структури первинних ресурсів, рестру-

ктуризація виробничого циклу, зміна організаційної структури виробництва, реструктуризація економічних відносин, зміна соціальної структури суспільства, реструктуризація міжнародних економічних зв'язків, реструктуризація освітніх процесів. По кожному з названих напрямів проаналізовано проблемні та дискусійні питання. Зазначається, що загальною дискусійною проблемою процесів переходу до адитивної економіки є визначення шляхів формування нових соціальних інститутів, здатних забезпечити вирішення завдань зазначеного фазового переходу.

Аналіз змісту, форми та специфіки окремих напрямів реструктуризації, а також причинно-наслідкових зв'язків їх виникнення дає можливість обґрунтовано визначати напрями витрачання суспільних ресурсів, ефективно планувати господарську діяльність, цілеспрямовано готувати людський капітал до вирішення майбутніх завдань.



Розділ 7

ФОРМУВАННЯ ЛЮДСЬКОГО КАПІТАЛУ ПРИ ПЕРЕХОДІ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ

7.1. Фундаментальні основи формування людського капіталу

Поняття людський капітал отримало значне поширення в економічній науці в другій половині ХХ століття. Проте, воно цілком гармонійно увійшло в ті визначення капіталу, які давали класики економічної теорії: А. Сміт (Смит, 1993), К. Маркс (Маркс, 1983), А. Маршал (Маршалл, 1993), Ж.-Б. Сей (Сэй, 2000), Дж. Кларк (Кларк, 2000), Й. Шумпетер (Шумпетер, 2011) та інші.

Серед тих, хто почав активно використовувати в своїх працях термін «людський капітал» і розвивати пов'язані з цим теоретичні основи, слід в першу чергу назвати: Г. Бекера (Becker,

1964); Т. Шульца (Schultz, 1961); Дж. Мінцера (Mincer, 1958); Л. Туроуа (Thurow, 1970). Основна увага в зазначених працях приділялася питанням інвестування в людський капітал.

В ХХІ столітті значення людського капіталу в економічних системах значно підвищилося. Наразі стає все більш очевидною істина, що успіх економічної системи: від окремих підприємств до національних економік – визначається не наявністю природних ресурсів і навіть не фінансовими активами, а якістю людського капіталу.

Сьогодні, коли людство входить у фазовий перехід до нової соціально-економічної формації, яку умовно можна назвати «адитивною економікою», все актуальнішими стають питання наповнення змістом трансформацій людського капіталу в ході промислових революцій (Industries 3.0, 4.0, 5.0), які все більше починають визначати контури економічних систем.

Людина завжди була ключовим фактором функціонування й розвитку суспільних, а з періоду формування перших агроценозів і біосферних систем. Провідна роль людини обумовлена двома групами функцій, які виконує людина.

По-перше, як споживач людина формує цілі функціонування й розвитку соціально-економічних систем, отже задає напрями й темпи їх руху та трансформаційних змін.

По-друге, як виробник людина визначає характер продуктивних сил, тобто засоби задоволення зазначених потреб (технологічну основу, види відносин із природою, специфіку особливості діяльності людини, стиль її життя тощо).

Багатогранний характер суспільного життя обумовлює значну різницю поглядів на специфіку його складових. Особливістю економічних систем є відтворювальний характер їх компонентів. Саме *відтворення* є основою при визначенні однієї з головних економічних категорій, а саме *капіталу*. (Спрощена схема відтворення економічного циклу показана на рис. 7.1).

В широкому контексті, *капітал* – це сукупні засоби, ресурси, що використовуються в економічному процесі (бізнесі) (Смит, 1993; Маршалл, 1993), ресурси для виробництва товарів

та послуг (Шумпетер, 2011) чи виробничі фактори (Сэй, 2000; Кларк, 2000).

З фізичної точки зору, будь-яка економічна система є відкритою стаціонарною системою, яка здійснює матеріально-інформаційний метаболізм, підтримуючи стан свого гомеостазу.

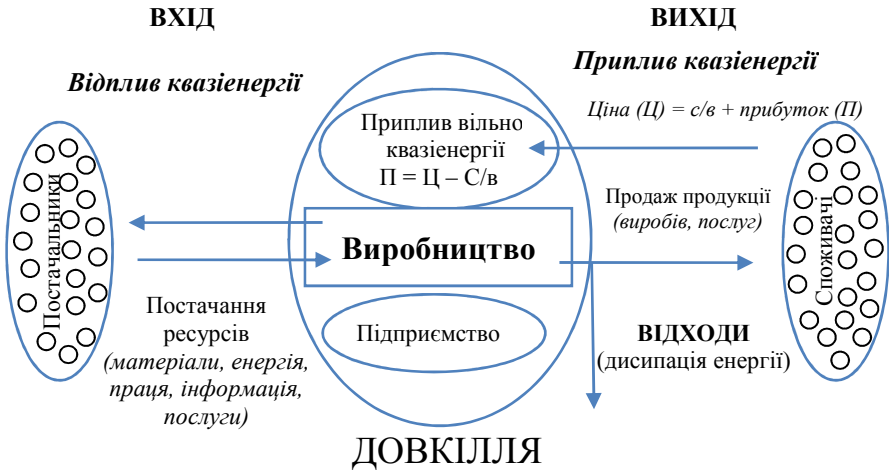


Рисунок 7.1 – Спрощена схема відтворювального економічного циклу

Як відомо, для фізичної системи енергія визначається як загальна кількісна міра різних форм руху, змін та конвертації матерії, або взаємодії матеріальних об'єктів всередині та зовні системи. Система втрачає енергію, здійснюючи процеси метаболізму. Витрачену енергію система компенсує за рахунок імпорту вільної енергії зі зовнішнього середовища через залучення в систему енергоємних речовин (енергоносіїв).

Для економічної системи умовними «енергоносіями», або квазіенергоносіями є матеріальні, інформаційні та матеріально-інформаційні активи, що обумовлюють можливості системи здійснювати роботу, у тому числі фізичного й розумового характеру. При такому трактуванні до квазіенергоносіїв можна віднести будь-які види капіталу, у тому числі, природний та людський капітали, а також матеріальні та нематеріальні активи, гроші та їх аналоги (напр., облігації, інші цінні папери тощо).

Для функціонування і розвитку економічних систем необхідно, щоб постійно відтворювалися умови їх впорядкованості, які мають триалектичну природу, оскільки реалізуються через взаємодію трьох груп факторів: матеріальних, інформаційних і синергетичних, умовна схема чого показана на рис. 7.2. Цілком обґрунтовано, як бачимо, що капітал можна вважати умовно *матеріально-речовинною основою* ринкових відносин. А за однією із версій, крім ознаки «сукупних ресурсів економічного процесу», що міститься в наведених вище визначеннях, в поняття капіталу включається також сукупність *економічних відносин*, притаманних капіталістичному способу виробництва (Маркс, 1983).



Рисунок 7.2 – Схема відтворення умов впорядкованості функціонування та розвитку економічних систем

Кожна з наведених на рис. 7.2 груп факторів по-своєму важлива для функціонування й розвитку економічних систем. Можна навіть сказати, що ці групи факторів, на зразок Іпостасей Християнської Трійці, рівні в різному. Зокрема, зруйнувати будь-яку систему можна негативно впливаючи на кожную з груп факторів.

Наприклад, роботу комп'ютера можна блокувати: а) зруйнувавши якусь матеріальну частину; б) порушивши його програмне, тобто інформаційне забезпечення; в) відключивши від інтернету або хоча б електричної мережі (порушивши синергетичний зв'язок із зовнішнім середовищем).

Аналогічну картину можна спостерігати на прикладі руйнації еко-системи через: а) знищення біологічних видів (матеріальне руйнування); б) їх хвороби (інформаційне руйнування); в) блокування комунікацій (зв'язків) в системі (синергетичне руйнування).

Відповідно, поліпшення процесів функціонування системи йде через протилежні процеси відтворення кожної з груп факторів. Особливістю різних видів капіталу є те, що їх відтворення здійснюється через інвестування, тобто цілеспрямоване витрачання різних активів або докладавання праці людини.

В багатьох визначеннях капіталу як одна з його ключових ознак обумовлюється здатність приносити дохід його власнику. Зауважимо, що, на наш погляд, через цей феномен опосередковано відображається лише умова забезпечення засобу відтворення й розвитку капіталу (зокрема, за рахунок, самоокупності). Доходність же капіталу не завжди й не для всіх його власників є пріоритетною.

Навряд, що для таких одержимих досягненням високих цілей, як І. Маск, заробіток і примноження статків є першочерговою метою. Скоріше, мабуть, навпаки: це слугує лише засобом для досягнення суто технічних і соціальних цілей.

Можна навести приклад і з історії цілої общини – Неплюєвського братства. Там першорядною метою був особистісний розвиток людини (як сказали б зараз «людського капіталу»). Важливими цілями в Братстві також вважалися прогресивний технічний розвиток і досягнення економічних успіхів. Але це розглядалося лише як засіб забезпечення соціального розвитку (Мельник, 2018).

На нашу думку, саме такий погляд на роль капіталу буде виходити на передові позиції по мірі просування до інформаційного суспільства. Саме таку ідею висловлює К. Боулдінг у статті «Від ковбойської економіки до економіки космонавтів» (Boulding, 1997).

7.2. Людський капітал як рушійна сила економічних систем

Людина виступає в ролі провідного ресурсу (активу), що використовується у всіх фазах функціонування економічних систем і, отже, цілком обґрунтовано відповідає ключовій ознаці капіталу, визначення якого ми навели вище. Більш того, людина є рушійною силою процесів відтворення складових економічної системи у самому широкому розуміння цього поняття. Назвемо зазначені складові.

Попит на продукцію підприємств; відтворюється через формування послідовно: потреб, інтересів, фінансової спроможності споживачів до придбання певних видів продукції. Інвестування у попит може здійснюватися через освіту у самоосвіту споживачів, горизонтальне поширення інформації між ними, через ЗМІ, через заходи (політику) державних або місцевих адміністрацій (особливо стосовно соціально важливих або екологічно обумовлених видів продукції), рекламну діяльність виробників. Кожен із названих заходів потребує витрат коштів, матеріальних активів, праці, часу. Споживачі у всіх цих процесах виступають як суб'єкти економічного процесу, формуючи цілі (напрями) виробництва продукції, і в той же час є об'єктами впливу інших суб'єктів економічного процесу (наприклад, виробників).

Відносини власності; реалізуються власниками виробничих активів, які мобілізують критичну масу капіталу (квазіенергії) на генерування економічного процесу, а потім – на корегування необхідних відтворювальних процесів. Інвестування здій-

снюється через освіту й самоосвіту потенційних власників, акціонування, кредитування та інші види мобілізації коштів.

Виконавці; здійснюють реалізацію виробничих процесів через придбання (за рахунок власників) та створення матеріальних та інформаційних активів, виконання виробничих процесів, управління персоналом, продаж продукції, постачання ресурсів, вплив на умови зовнішнього середовища. Інвестування здійснюється через створення виробничих активів (за рахунок власного, акціонерного та запозиченого капіталу), освіту та самоосвіту виконавців, їх виховання та тренінг (формування переконань, світогляду, знань, навичок, відповідальності, звичок, здатності працювати в команді, фізичних та психологічних рис).

Керівне адміністрування та регуляторні інститути; здійснюється керівними державними та місцевими органами, що забезпечують інституціональні умови, в яких господарюють економічні суб'єкти. Відтворюються за рахунок податкових та інших надходжень (інвестування) через формування відповідних інститутів та проведення необхідних заходів.

Інфраструктурне забезпечення. Відтворюється за рахунок державних, акціонерних та приватних інвестицій для створення необхідних умов господарювання економічних систем, зокрема, через об'єкти комунікаційної, освітньої, оздоровчої, інформаційної, правової, культурної та інших видів діяльності.

Природні фактори; забезпечують відтворення первинних ресурсів та компонентів природного середовища. Джерелами інвестування є кошти й діяльність бюджетних організацій, економічних суб'єктів, приватних осіб, різних фондів і платежів.

Ще раз підкреслимо, що напрями й ефективність процесів відтворення зазначених компонентів повною мірою залежать від якісних властивостей людського капіталу.

Важливою властивістю капіталу К. Маркс вважав здатність до самозростання (за Марксом, капітал – вартість, що самозростає). При цьому Маркс сформулював необхідну умову такого самозростання. Засіб праці може проявити подібні властивості (принести власнику вартості більше, ніж він мав до його вико-

ристання) лише тоді, коли його власник прямо чи опосередковано вступить у економічні відносини з власником робочою сили (Маркс, 1983). Інакше кажучи, фізичний капітал має з'єднатися з людським капіталом. Тільки людський капітал є рушійною силою економічних процесів, що активізують інші компоненти капіталу на будь-якій стадії його відтворення і обертання.

7.3. Триалектика відтворення капіталу

Людина як ключовий фактор економічної системи. Основною рушійною силою будь-якої соціально-економічної системи є діяльність людей. Людина економічної системи, виконує ключові функції в економічній системі:

- *проектувальника* (засобів виробництва, конструкційних матеріалів, технологій, систем енергозабезпечення, споживчих благ, середовища проживання людини, комунікацій, ін.);
- *виробника* (усього зазначеного вище);
- *організатора* (процесів проектування, виробництва й споживання продукції);
- *комунікатора* (суб'єкта, що забезпечує реалізацію відносин в суспільстві);
- *споживача* (матеріальних та інформаційних благ).

Не можна зрозуміти змісту розвитку економічних систем, не усвідомивши природу сутнісних начал людини, які формують контури людського капіталу.

Кожна людина являє собою єдину систему, утворену тріадою її сутнісних начал, які умовно можуть бути названі: «біо», «соціо», «трудо». «Біо» формується матеріальною природою людини й реалізується за допомогою фізіологічних процесів метаболізму, що протікають в її організмі. «Соціо» являє собою нематеріальне, інформаційне начало, що реалізує особистісну сутність. Це співзвучне з тим, що в художній літературі називають «душею». «Трудо» функціонує на основі здатності людини здійснювати роботу за рахунок інтеграції силових рис людини

«біо» та особистісних властивостей людини «соціо». Різниця природи сутнісних начал людини обумовлює формування трьох різних груп потреб, які значно відрізняються одна від іншої, а багато в чому навіть є взаємосуперечливими.

З моменту формування суспільства й виникнення особистісних начал в людині відбувається формування двох взаємопов'язаних системних сутностей.

Людина продовжує залишатися однією з представників світу тварин, з властивими їй обміном речовин, терморегуляцією, рухами. Іншими словами, вона залишається організмом, якому для існування постійно потрібно підтримувати фізіологічні функції.

З іншого боку, в людині виникає й починає розвиватися особистісна сутність, тобто певний нематеріальний, тобто суто інформаційний, умовно кажучи, фантом, який споживає виключно інформацію. Цілком ймовірно, саме цю людську сутність мають на увазі, коли говорять про «душу» людини. Особистість людини може сформуватися тільки в суспільстві, тобто у взаємодії з іншими подібними особистостями. Таким чином, особистісну сутність людини можна ще назвати людиною соціальною, або «соціо».

Необхідну систему умов зовнішнього середовища й внутрішньої природи людини, при якій забезпечується стійке існування людини як біологічного виду, слід вважати екологічним фактором життєзабезпечення людини. Створюючи необхідні умови, природа виконує по відношенню до людини свої фізіологічні функції, забезпечуючи гармонію людського організму з навколишнім природним середовищем. Поступово людина навчилася в певних межах штучно підтримувати умови свого існування, кондиціонуючи їх під свої потреби. Для цього вона поставила між собою і природою техногенне середовище, яке створюється саме економікою. В ньому людина власне й існує, споживаючи можна сказати, також техногенізовану продукцію (їжу, питну воду і споживчі товари, різні послуги – що виробляється чи відтворюється техногенними виробничими системами).

Сама людина як біологічна істота мало змінилася порівняно зі своїми предками. Межа життєстійкості людини, як і раніше лежить в вузьких інтервалах умов природного середовища, що відповідають гомеостазу людського організму. Якщо інформаційним драйвером відтворення біологічної природи людини є сформований в ході еволюції генетичний механізм, то сутності «соціо» й «трудо» відтворюються під впливом інформаційних факторів, які народжуються у соціальному середовищі.

Для аналізу передумов відтворення людського капіталу доцільно розглянути потреби трьох зазначених сутностей людини.

Потреби людини «біо». В загальному вигляді фізіологічні потреби людини можуть бути об'єднані в кілька груп:

- простір для існування;
- фізико-хімічні та біологічні властивості середовища, включаючи космічні чинники;
- повітря для дихання;
- ресурси їжі й питної води;
- можливості для рухової активності;
- інформація, включаючи наявність позитивних і негативних емоцій.

Потреби людини особистісної. Формування основ інформаційного суспільства, до якого наближається людство, вимагає глибокого розуміння природи інформаційної людини, тобто людини особистісної. Адже в прийдешньому інформаційному суспільстві саме людині «соціо» доведеться відіграти головну роль в економічній системі, де особистісна, тобто інформаційна сутність людини буде головним конструктором, виробником і споживачем товарів та послуг. Останні з цієї причини теж будуть переважно інформаційними.

Цілком ймовірно, в самому першому наближенні особистісні потреби людини (тобто ті, які, в кінцевому рахунку, формують людину «соціо») можна умовно об'єднати в такі групи:

- *забезпечення психологічного та соціального благополуччя, духовного здоров'я (розвиток почуття оптимізму, стабільності, радості життя, власної соціальної необхідності);*

- *можливість інформаційного пізнання світу* (в т.ч. реалізація інстинктів пізнання) – відтворення потреби в пізнанні й формування вміння отримання знань;

- *можливість художнього розвитку* (розвиток творчих здібностей, задоволення естетичних потреб, розвиток почуття краси й гармонії);

- *імпульс творчості* (джерело натхнення);

- *умови морального виховання й вдосконалення*; саме це формує співвідношення між потребами для себе й потребами для інших людей (почуття патріотизму, схильність до самопожертви й самообмеження, почуття обов'язку, здатність до співчуття, ін.).

Потреби людини «трудо». Відносно економічної системи людина виступає в двох ролях: *виробника й споживача*.

Як споживач людина виступає носієм потреб тієї тріади підсистем («біо-трудо-соціо»), яка існує в ній самій.

Потреби людей є необхідним компонентом економічної системи. Для її безперервного функціонування необхідно, щоб потреби людей відтворювалися постійно.

Потреби людини «трудо» як виробника визначаються трьома основними групами факторів:

- потребами в ресурсах (матеріальних, енергетичних, інформаційних, утилізаційних; останнє обмежується наявністю достатніх асиміляційних «контейнерів» для відходів);

- умовами для відтворення фізіологічних кондицій людини як трудового ресурсу;

- умовами для відтворення особистісних якостей людини як трудового ресурсу (про що мова йшла вище).

Як бачимо, друга і третя група чинників обумовлюють потреби людини «праце» потребами безпосередньо людини «біо» і людини «соціо». Забігаючи наперед, скажемо, що це створює підстави, щоб зв'язати фізіологічні та особистісні потреби людини з економічними оцінками.

Порівняльний аналіз потреб різних сутнісних начал людини. Безумовно, наведений поділ людських сутностей на

«біо», «трудо», «соціо» носить значною мірою умовний характер. Адже зазначена тріада сутностей змушена існувати в єдиному тілі, часом складно виділити характерні риси кожної з даних сутностей. Своїм розумом і волею людина прагне до того, щоб цілі функціонування кожної з частин її сутнісної тріади наближалися одна до одної. В цьому випадку можна вважати, що настає гармонія різних начал в людині, а сама вона переживає душевний комфорт.

Таблиця 7.2 – Порівняльна схема поведінкових установок-прагнень «трудо-людини» і «соціо-людини»

Людина «трудо»	Людина «соціо»
До кінцевого	До нескінченного (в кінцевому)
До дискретності	До цілісності
До аналізу	До синтезу
До спрощення	До ускладнення
До стандартизації (уніфікації)	До оригінальності (неповторності)
До корисності окремих компонентів природи	До цінності цілісних природних систем
До однозначності	До багатозначності
До спеціалізації	До універсальності
До однофункціональності	До багатфункціональності

Подібний аналіз надзвичайно важливий для формування уявлень про роль людини в економічній системі. Тут людина може виступати в кількох взаємопов'язаних ролях, в числі найважливіших з яких умовно можна назвати ролі: конструктора, виробника й споживача.

Еволюція людського капіталу при переході до інформаційного суспільства. *Інформаційні* потреби людини «соціо» покликані трансформувати всю систему ціннісних орієнтирів, формуючи своєрідне суспільне замовлення. Його основне призначення – задоволення запитів, необхідних для розвитку особистісних рис людини. На зміну фізіологічним потребам людини «біо» (потреби в їжі, воді, умов проживання, ін.) і технократичних інтересів людини «трудо» (прагнення економічних вигід,

кар'єрне зростання, престиж, ін.) приходять потреби людини «соціо» (фізичне вдосконалення, інтелектуальний розвиток, реалізація творчих здібностей, отримання знань, змістовний відпочинок і естетичне задоволення).

Людина-споживач цифрової економіки принципово відрізняється від людини-споживача попередніх епох. Головним є те, що переважна більшість особистісних потреб людини стануть самоціллю існування, а не засобом отримання в подальшому матеріальних благ. До речі, й останні починають поступово перетворюватися з першоцілей на засіб отримання інформаційних благ. Так, як сьогодні автомобіль перетворюється із засобу поїздки за місто для вирощування та збирання врожаю на засіб для поїздки в ліс або на море для відпочинку та відтворення духовних сил.

Людина-виробник все більше переходить від здійснення впливу на матеріальні предмети праці (зміна форм, розмірів, властивостей) до здійснення впливу на інформацію. Навіть в разі виготовлення матеріальних виробів завдання людини-виробника все більше зміщуватиметься від трансформації матеріальної субстанції (ця функція буде перекладатися на машини) до формування інформаційних програм комбінування і взаємодії в просторі і часі матеріальних та інформаційних виробничих активів.

Людина-конструктор проектує контури того середовища, де житиме і працюватиме людина, а також тих продуктів, які вона споживатиме. Цілком ймовірно, можна очікувати дві ключові трансформації в діяльності людини-конструктора:

- *сфера споживання*: перехід від проектування окремих товарів і послуг до формування життєблагодатних комплексів (створення умов для комфортного існування людини «біо», максимального розвитку людини «соціо» і творчої реалізації людини «трудо»);

- *сфера виробництва*: перехід від створення чужих природі (за своїм складом і властивостями) предметів праці та «розірваних» виробничих циклів до формування прийнятних при-

роді предметів праці, виробництво й використання яких організовано по замкнених циклах «циркулярної» економіки.

Зазначені напрямки згаданих змін, звичайно ж, дуже схематично характеризують лише деякі окремі риси складного багатогранного явища під умовною назвою перехід до адитивної економіки.

7.4. Перехід до адитивної економіки й транзит відтворення людського капіталу

Ведучи мову про перехід до нової соціально-економічної формації, слід розуміти, що людству насправді слід готуватися на найближчі десятки років до безкінечної зміни базових виробничих принципів та соціальних інститутів. Це значить, що в постійному розвитку та трансформаційних зрушеннях належить бути й людському капіталу, який забезпечує не тільки функціонування технічних і екологічних систем, але й їх модифікацію в ході зазначених промислових революцій.

Реалізація в повному обсязі Industry 4.0 породжує ще одну проблему, про яку ми вже згадували вище й яку покликана вирішити П'ята промислова революція. Річ у тому, що кіберфізичні системи, які не потребують участі людського чинника 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 в 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 мате-

ріалізуються стандартизовані товари для споживачів зі стандартними потребами та запитам.

На місце людини-трудо у виробництво повинна прийти зовсім інша людина – людина-особистість. Замість виготовлення виробів вона створюватиме інформаційні образи, які легко матеріалізують адитивні технологічні системи за допомогою 3D-принтерів. Саме так зараз 2D-принтери нам друкують на папері все, що ми вигадали на дисплеях своїх комп'ютерів. Причому матеріалізують 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, й ця відмінність все збільшуватиметься.

Та й саме виробництво буде зовсім не схоже на те, до якого ми звикли. У ньому не буде ані огорож, ані прохідних, ані перепусток, ані брязкітливого обладнання. Звісно, технічний інструментарій залишиться в якомусь вигляді. Проте, людину технічні засоби не дратуватимуть, бо працюватимуть самостійно під контролем того самого Інтернету речей.

Але й це не головне. Основним завданням людини, озброєної штучним інтелектом, в економічній сфері має стати визначення ключових цілей і напрямів розвитку спільнот на основі прогнозування проблем і перспектив та аналізу викликів, що виникають.

В стислому за обсягом розділі ми не маємо змоги ставити перед собою масштабне завдання щодо системного аналізу можливої динаміки змісту людського капіталу упродовж фазового переходу. Позначимо лише ключові напрями необхідних трансформаційних змін компетентностей людини, які здатні забезпечити адекватну функціональну активність людського капіталу в умовах зазначених трьох промислових революцій. До основних

напрямків трансформації людини, які диктуються специфікою зазначених революцій, слід віднести:

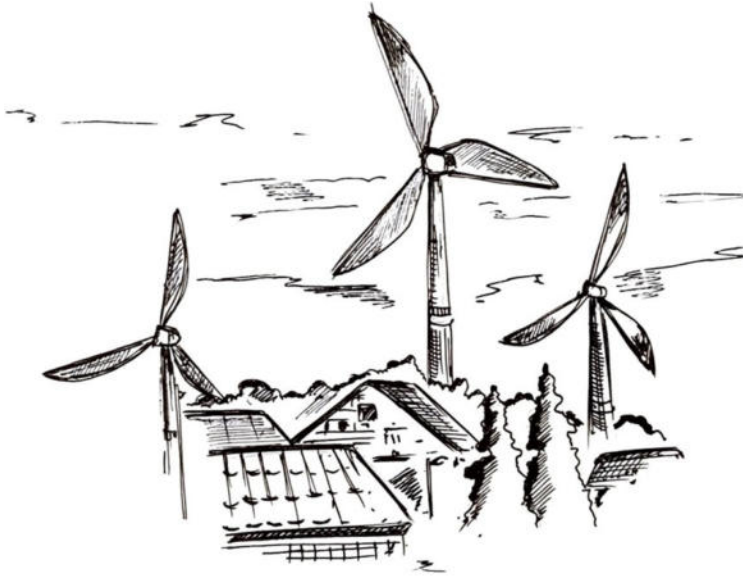
- *сестейнізацію* свідомості людини; особливо важливою є здатність «думати глобально, діяти локально», тобто реалізувати свою конкретну діяльність з урахуванням можливих глобальних та віддалених у часі наслідків;
- перебудову професійних знань та навичок для виробництва та експлуатації *альтернативних технологій* («зеленої» енергетики та адитивних методів виробництва);
- *цифровізацію компетентностей*; передбачає оволодіння вміннями здійснення цифрової передачі інформації, контролю за відповідним виробничим інструментарієм та дистанційними комунікаціями;
- оволодіння компетентностями *власника засобів* альтернативних технологій та суб'єкта солідарної економіки;
- *мережевізацію компетентностей*; передбачає формування необхідних знань та навичок здійснення необхідної професійної діяльності через мережі Інтернету або застосуванням останніх як робочого інструмента;
- формування вмінь жити й діяти в умовах тотального впровадження засобів *Інтернету речей*;
- *соціологізацію розвитку*; перехід на пріоритетний розвиток особистісного начала людини в умовах повного забезпечення матеріального добробуту й автоматизації виробництва;
- формування *синергетичного зв'язку з кіберфізичними системами й штучним інтелектом*.

Враховуючи провідний характер людського капіталу в розвитку соціально-економічних систем, зазначені трансформаційні напрями можуть розглядатися як вирішальні кроки переходу людства до адитивної економіки.

Людський капітал є рушійною силою як для відтворення різних форм капіталу, так і взагалі для функціонування економічних систем. При уважному аналізі можна прослідкувати триалектичність процесів відтворення людського капіталу. Це обумовлено трьома ключовими моментами:

- процес *виробництва* заснований на взаємодії й відтворенні трьох ключових чинників: матеріально-енергетичних, інформаційних, синергетичних;
- процес *споживання* забезпечує відтворення триєдиної природи людини, що несе в собі біологічне, соціальне (особистісне) і трудове (економічне) начала;
- *виробничо-споживчу трансакцію* саму по собі можна умовно вважати своєрідною тріадою, в якій сфера виробництва (теж будучи тріадою) відтворює переважно *матеріально-енергетичне* начало (виробляючи товар), сфера споживання забезпечує реалізацію переважно *інформаційного* начала (даючи імпульс виробництву в формі відповідей на питання: що, скільки, як і для кого виробляти?), а інтерфейсна сфера (маркетинг, торгівля) діє в ролі *синергетичного* начала (зв'язуючи воедино обидві зазначені дві сфери – виробництво й споживання).

Сьогодні, коли людство вступило в фазовий перехід до нової соціально-економічної формації, роль людського капіталу значно зростає. Стає все більш очевидним, що успіх економічних систем визначається не матеріальними активами (природні ресурси, засоби виробництва, фінансові фонди), а якістю людського капіталу. Все актуальнішими стають питання наповнення змістом трансформацій людського капіталу, які диктуються ходом сучасних промислових революцій (Industries 3.0, 4.0, 5.0), які визначають контури прийдешньої адитивної економіки.



Розділ 8 СЕСТЕЙНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ПЕРЕДУМОВА ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ

8.1. Складові сестейнізації енергетичного комплексу

Енергетичний сектор, в якому генерується $2/3$ процесів шкідливого впливу на довкілля, є ключовою сферою вирішення проблем сестейнізації в цілому економіці (тобто наближення до того, що англійською мовою передається сполученням sustainable development). Сестейнізація енергетичного комплексу можлива лише за умови здійснення адекватних трансформацій соціально-економічної системи. Зазначені трансформації взаємобумовлюють одна одну й здатні значно підсилювати синергетичний потенціал перебудови енергетичного комплексу, досягаючи загального сестейнового ефекту.

Перехід на відновлювані енергетичні системи вимагає постійного інноваційного супроводження. Сьогодні в науковому секторі мають активно розроблятися технологічні рішення вже близького майбутнього. В повній мірі сестейновий потенціал зазначеного енергетичного переходу може бути реалізований лише за умови відповідного інституційного забезпечення й активного міжнародного співробітництва.

В будь-якому суспільстві процеси отримання та споживання енергії залишаються базовим підґрунтям, яке забезпечує функціонування та розвиток суспільних систем. Проте, енергетичний сектор привертає нашу увагу ще з однієї причини. В енергетичному секторі, за різними оцінками, утворюється більше половини емісії парникових газів. Тож, процеси виробництва й споживання енергії є тією сферою, куди мають бути в першу чергу спрямовані зусилля людства для екологізації (greening) економіки та вирішення проблем глобальної екологічної кризи.

Сестейнізація (sustainization) енергетичного комплексу є складним не тільки технологічним, а й соціально-економічним явищем. Воно потребує вирішення організаційних, економічних й інституційних проблем. Зазначеним питанням присвячена значна кількість наукових праць: IHS Markit, 2020; The cost, 2019; Bellini, 2020; Delbert, 2020; Dudleg, 2019; Hunt, 2020; Will solar, 2020; Mokhtar, 2019; Kellner, 2019; Outlook, 2020; Net Zero, 2021; Acgi, 2022).

Наразі в питаннях сестейнізації (greening) енергетики головна увага зосереджена на впровадженні альтернативних (відновлюваних) джерел енергії. Втім, сестейнізація енергетичного комплексу – набагато складніше соціально-економічне явище. Застосування альтернативних джерел (зокрема, СЕС, ВЕС та ін.) у сукупності зі системами зберігання енергії становить, умовно кажучи, лише «надводну частину айсбергу» «зеленої» енергетики. Серед менш очевидних складових слід зазначити, перш за все, перехід на горизонтальні мережеві системи виробництва й споживання енергії, а також дематеріалізацію й сестейнізацію економічних систем та ін., що умовно показано на рисунку 8.1.



Рисунок 8.1 – Безпосередні й супутні складові сестейнізації енергетики

Слід зазначити, що зазначені вектори сестейнізації енергетичного комплексу є не окремими ланками господарського комплексу, а підсистемними складовими цілісної економічної системи. Їх взаємопов’язані й взаємообумовлені зв’язки формують енергетичні ефекти, що впливають на сестейновість розвитку цивілізації на планеті. Спробуємо проаналізувати системну сутність виникнення зазначених ефектів.

8.2. Розвиток відновлюваних джерел енергії й систем її зберігання

Розвиток відновлюваних джерел енергії. Наразі «локомотивами» інноваційного розвитку відновлюваних джерел енергії є сонячна й вітрова енергетики. Гідроелектростанції через їхній негативний вплив на ландшафти мають обмежені перспективи розвитку (лише в гірських регіонах, а також шляхом вико-

ристанням міні-ГЕС). Комерційний рівень використання мають також процеси отримання енергії з біогазу, біопалива, теплові насоси, геотермальні й хвильові електростанції. Починається прикладне застосування процесів утилізації енергії різних фізичних полів, видів руху, хімічних процесів.

Розвиток відновлюваної енергетики відбувається за такими напрямками:

- підвищення ефективності існуючих технологічних рішень (зокрема, PV сонячні панелі, маючи в 1950-і роки середній ККД усього в кілька відсотків збільшили цей показник за останні роки до понад 20%; а в наукових дослідженнях зазначений показник наблизився до 40% – Svarc, 2022; Essing et al., 2017);

- диверсифікація технологічних принципів побудови генераторів відновлюваної енергії; існує широкий спектр можливостей отримання відновлюваної енергії, зокрема використовуються такі джерела енергії: енергія, яку планета отримує з космосу (сонце, припливи-відпливи); геотермальна енергія Землі; енергія фізичних полів (зокрема, WISP-генератори, що використовують електромагнітні хвилі); енергія первинних природних рухів (вітер, гідро-, хвилі); енергія вторинних техногенних рухів (утилізація енергії руху механізмів та людини); енергія різних потенціалів температури та тиску (теплові та вітрові насоси); енергія хімічних процесів (біогаз, різні хімічні реакції);

- інтеграція джерел енергії в об'єкти та речі життєдіяльності людини (будівлі, меблі, одяг, інші речі);

- збільшення частки відновлюваної енергії, що виробляється в приватних домогосподарствах.

Розвиток відновлюваної енергетики за останні 10 років дозволив їй здійснити колосальний прогрес, який ілюструється цифрами таблиці 8.1.

Динаміка розвитку відновлюваної енергетики створює передумови для її прогресу в майбутньому, про що свідчать показники таблиці 8.2. На рубежі 2015–2016 років питома вартість виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії та в традиційної паливної енергетики зрівнялися. Надалі слід очіку-

вати збільшення розриву за цим показником на користь відновлюваної енергетики.

Таблиця 8.1 – Динаміка виробництва «зеленої» енергії у світі (складено авторами на основі джерел: Bellini, 2020; Cost, 2020; Delbert, 2020; IHS Markit, 2020; Hunt, 2020; Mokhtar, 2019; Solar, 2020a; Will Solar, 2020)

Показник	Рік	
	2010	2020
Виробництво сонячної (PV) енергії у світі, ГВт	23	627
Кратність зростання, раз	–	27
Частка відновлюваної енергії (включно гідро), %	5	30
Питома вартість сонячної енергії (PV), USD / кВт-год	0,37	0,06

Таблиця 8.2 – Прогнозні показники динаміки розвитку сонячної енергетики до 2050 р. (складено автором за даними: Will Solar, 2020; Net Zero, 2021)

Показник	Значення
Передбачуване зниження середньої питомої вартості pv модулів, %	63 – 75
Питома вартість 1 кВт-год сонячної (pv) енергії, USD/kW·h	0,020 – 0,025
Частка сонячної енергії, виробленої в приватних домогосподарствах, у загальному обсязі сонячної енергії, виробленої в світі, %	11 – 15
Частка відновлюваної енергії в загальносвітовому виробництві електроенергії, %	50 – 65
Частка відновлюваної енергії в прирості нових потужностей електрогенерації, %	85 – 90

Ефективне зберігання енергії. Цей напрямок розвитку технологічних систем дозволяє усунути суперечності в часі між тим, коли можна отримати енергію, і тим, коли виникає потреба в її використанні. Потреба в акумулюванні енергії буде зростати по мірі розвитку відновлюваних джерел енергії. Зокрема, сонце та вітер бувають не завжди. І поки вони є, потрібно користатися ситуацією – виробляти енергію, хоча саме в цей час потреби в ній і

не буде... Однак це доцільно робити лише в тому разі, якщо в розпорядженні людини є надійні акумулятори, що дозволяють ефективно накопичувати й запасати енергію в необмеженій кількості.

Сьогодні можна виділити п'ять основних напрямків, які так чи інакше обіцяють стати перспективними для їхнього комерційного розвитку:

- *гідроакумуляування* (пов'язано з природним і штучним підйомом рівня води в періоди надлишку виробництва енергії та утилізацією накопиченої потенційної енергії в пікові періоди);

- *електроакумуляування*; енергетична ефективність сучасних акумуляційних батарей сягає 80-90%, вони витримують від 2000 до 10000 зарядних циклів (5 different, 2019); пробіги сучасних звичайних електромобілів на одній зарядці сягають 600-700 км, а пілотних примірників 1000 км; час нової зарядки досягає 40 хвилин (Sarata et al., 2022; Simpson, 2022).

- *теплове акумуляування*; на цьому принципі працюють теплові сонячні генератори; зокрема, вдень від сонячних променів активні елементи (наприклад, соляні стрижені) розігріваються до 500°C; завдяки цьому теплу генератор виробляє електроенергію і в нічний час;

- *хімічне акумуляування*; пов'язане з цілеспрямованою зміною властивостей речовин завдяки надлишку енергії або накопиченням органічних речовин із подальшим отриманням біогазу або електрики; зокрема, хімічний акумулятор на основі ноборнадієна (norboreadiene) здатний зберігати більшу частину теплової енергії від сонячного світла у своїх хімічних зв'язках від кількох місяців до кількох років (Petersen et al., 2019);

- *водневі технології*; є різновидом хімічних акумуляторів і дають змогу конвертувати надлишки «зеленої» енергії у виробництво водню, зокрема, за рахунок електролізу води.

Колосальний прогрес технологій акумуляування енергії дав змогу лише за останні п'ять років скоротити питомі витрати на зберігання 1 МВт-год (MWh) електроенергії вдвічі – з 300 до 150 USD (Cost, 2020).

В провідних країнах світу в кінці 2020-х років законодавчо було рекомендовано здійснювати установку відновлюваних джерел енергії

лише з системами зберігання енергії (Spieth et al., 2022). Це дало старт побудові крупномасштабних систем зберігання енергії. В 2022 році глобальний ринок систем зберігання енергії оцінювався в 4,7 млрд USD. На 2026 рік зазначений показник прогнозується у 12,9 млрд USD. Свою продукцію на ринку пропонують близько 20 провідних виробників систем зберігання енергії (Battery, 2022). Починаючи з 2020 року, у світі було вже пущено до ладу близько 10 крупномасштабних промислових енергозберігаючих систем, зокрема, в Австралії, Китаї, Канаді, США (Vashchenko, 2020).

За оцінками DNV Energy Transitional Outlook, 38% від всієї електроенергії в світі в 2050 році буде вироблятися від сонця (pv). Третина із зазначених потужностей буде обладнана системами зберігання енергії (Long, 2022).

Розвиток технологій зберігання енергії у майбутньому (табл. 8.3) створює передумови для значного підвищення ефективності функціонування енергетичного комплексу.

Таблиця 8.3 – Прогнозні показники розвитку технологій зберігання енергії на 2040 рік (складено авторами на основі: Net Zero, 2021; Will Solar, 2020).

Показник	Значення
Зниження питомої вартості крупномасштабних акумуляційних систем енергії, %	65 – 75
Загальна встановлена потужність крупномасштабних акумуляційних систем енергії, ГВт	1100
Загальний потенціал зберігання електроенергії, ГВт-год	2850

Масове застосування систем зберігання енергії здатне принести великі економічний, соціальний і екологічний (sustainable) ефекти. За оцінками уряду Великої Британії, впровадження систем зі зберігання енергії забезпечує застосування й інтеграцію в промисловість малокарбонових технологій, утилізацію тепла, значні ефекти на транспорті. Все разом може принести до 2050 року економічний ефект (економію на енергетичних витратах) в £40 billion (48 billion USD), що рівнозначно оплаті на таку суму енергетичних рахунків людей (What, 2022).

8.3. Трансформація організаційної структури енергетичного комплексу

Перехід на горизонтальні енергетичні системи. Перехід до відновлюваних джерел енергії обумовлює одночасно й перехід до нових принципів організації виробництва. Такі принципи реалізуються через горизонтальні розподілені мережі формування енергетичних систем. Фактично мова йде про перехід від невеликої кількості великих виробників енергії до величезної кількості деконцентрованих у просторі малих енергогенераторних одиниць. У масштабах ЄС можна говорити про цифру в сотні мільйонів. Саме такою величиною вимірюється кількість будівель, кожна з яких передбачається перетворити на джерело альтернативної енергії (сонячної, вітрової, біогазової, отриманої за допомогою теплових насосів).

Виникає необхідність вирішення безпрецедентно складного комплексу технічних, організаційних та економічних завдань, пов'язаних із виробництвом, збиранням, перетворенням, зберіганням, транспортуванням і споживанням енергії. На рішення саме цих завдань спрямоване створення Енерґету – мережевої електроінфраструктури.

Автором терміна «ЕнетНет» (Ether net) (за аналогією з «Інтернет») вважається американський інженер і винахідник Роберт Меткалф (Robert Metcalfe), який у 1973 році виклав концепцію майбутньої глобальної енергетичної мережі, яка повинна зв'язати розподілені відновлювані ресурси, «підключаючи до них окремих споживачів і сприяючи тим самим підвищенню рівня життя» (Patterson, 2017). У 1983 році некомерційна організація IEEE (Інститут інженерів електротехніки та електроніки) затвердила стандарти Енерґету (Robert, 2014).

Глобальна мережа Інтернет, яка сьогодні стала невід'ємною складовою життя мешканців Землі, забезпечує виконання цілого комплексу функцій, пов'язаних з обробленням, передаванням, зберіганням і відтворенням інформації. Ідея Меткалфа саме й полягала в тому, щоб наділити енергетичні мережі таким набором функцій щодо виробництва й споживання енергії. Для

цього енергетичні мережі повинні стати воістину «розумними» (smart), тобто здатними на розв'язання значної кількості інформаційних завдань в автоматизованому (комп'ютеризованому) режимі.

Якщо зазначати конкретно, ЕнерНет покликаний забезпечити виконання таких груп функцій: *генерування й перетворення енергії, її тарифікація, збирання (купівля) енергії, передавання, зберігання і продаж, контроль за процесами, що відбуваються (моніторинг); оптимізація операцій, забезпечення стійкості і безпеки систем, підтримання якості електроенергії.*

Необхідно звернути увагу на те, що такі системи повинні забезпечити двосторонній обмін потоками електроенергії та інформації, адже виробник і споживач енергії (а ними можуть бути звичайні домоволодіння, розташовані на різних територіях) можуть постійно мінятися ролями. І той, хто всього лише кілька хвилин тому виробляв енергію, може через низку причин (погодні умови, режим роботи та ін.) перетворитися на її споживача. Безсумнівно, так само легко повинен здійснюватися і зворотний перехід. Мова йде про те, що всі об'єкти енергетичної мережі з пасивних повинні перетворитися на активні. Активні енергетичні мережі, здатні швидко адаптуватися до мінливих потреб зацікавлених сторін – власників, споживачів, продавців, – розглядаються сьогодні як ключовий елемент інфраструктури «розумних» енергосистем майбутнього.

Ще одним важливим завданням, розв'язати яке покликаний ЕнерНет, є інтеграція в роботу інших «розумних» мереж (smart grids), що сьогодні створюються на рівні підприємств, територій, країн. Власне, ЕнерНет і є формою однієї з таких «розумних» мереж, що дозволяє йому органічно вписуватися в загальну картину формування глобального інформаційного простору.

Необхідно підкреслити, що ЕнерНет – це не лише нові енергетичні технології, але також і сучасні інформаційні та комунікаційні технології *білінгу* (тобто економічних розрахунків), *електронної комерції, управління доступом та адміністрування в мережах різного масштабу, моделювання та зберігання даних,*

віртуалізації, комп'ютерної безпеки, розподілених обчислень, збирання, оброблення і передавання інформації в реальному часі.

Розвиток «розумних» інформаційно-енергетичних мереж дозволить істотно підвищити ефективність процесів виробництва і споживання енергії, а також забезпечити якість енергопостачання та стійкість енергосистем.

Нарешті, перехід до «розумних» енергосистем дасть поштовх до розвитку нових видів продукції та послуг, а також до формування нових ринків.

Можна зауважити, що в міру розвитку регіональних мереж ЕнерНет спочатку в масштабах Євросоюзу, США, Індії, Китаю та інших великих держав, а потім у глобальних масштабах повною мірою формуватиметься своєрідний глобальний «енергетичний» інтернет. Для успішної інтеграції широкого спектра технологічних, загальнотехнічних, проєктних, організаційно-управлінських і логістичних рішень такої «енергетичний» Інтернет повинен розвиватися на основі відкритих, загальнодоступних, визнаних індустріальною й управлінською спільнотами стандартів. Світова система таких стандартів зараз інтенсивно розвивається.

У країнах ЄС на розподілену генерацію вже сьогодні припадає понад 10 % від загального обсягу виробленої енергії, а в Данії цей показник становить близько 50 %. У США експлуатується понад 12 млн установок малої розподіленої генерації загальною встановленою потужністю понад 220 ГВт, а темпи приросту в середньому становлять 5 ГВт на рік. У цілій низці промислово розвинених країн (ЄС, США, Австралія) останнім часом ухвалені концептуальні документи щодо розвитку галузі з посиленням акцентом саме на малу енергетику. В ЄС – це Директива ЄС 2004/8/ЄС від 11.02.2004 «Про розвиток когенерації на основі корисного тепла на внутрішньому енергетичному ринку» (Lajoie, 2018; Smart, 2022). Щорічні інвестиції в розподілені енергетичні мережі повинні збільшитися з 260 млрд USD у 2020 р. до 820 млрд USD у 2030 р. (Net Zero, 2021).

Усе це свідчить про те, що актуальність розвитку «розумних» енергетичних систем із кожним роком зростатиме.

Розвиток соціальної і солідарної економіки. Формування й розвиток горизонтальних розподілених виробничих систем

обумовлює виникнення нового типу соціально-економічних відносин, які закладають основу для формування відповідного виду економічних систем, який отримав назву соціальної й солідарної економіки (ССЕ). В ССЕ досягнення економічних, соціальних і екологічних цілей сприймається всіма учасниками виробничо-споживчої мережі як спільне надбання. За своїми організаційними принципами ССЕ суттєво відрізняється від систем командної економіки так званого «соціалістичного» типу, побудованих на загальнодержавній власності. ССЕ відрізняється й від систем, сформованих на приватній власності, які функціонують на основі конкурентного підприємництва в ринкових умовах. Не випадково, ССЕ називають економічною системою третього типу, або «третім сектором».

Функціонування виробничих мереж має свої специфічні особливості, які обумовлюють поведінку їхніх учасників (Sahakian M., 2016; Social, 2017):

- всі учасники мережі мають рівні права й обов'язки в межах функціонування мережі;

- на відміну від систем командної економіки чи капіталістичного підприємництва, де виконавці виступають як наймані працівники, в ССЕ учасники є вільними власниками засобів виробництва, які їм належать і з якими вони входять у мережу; при цьому вони несуть необхідні витрати, маючи солідарну відповідальність за власну участь у функціонуванні мережі, і мають рівні права на отримання своєї солідарної частки вигід та результатів (економічних, соціальних, екологічних) від спільної діяльності;

- на відміну від державного сектора, в якому організаційний вплив (постановка цілей, формування завдань, а часто – й вибір засобів) відбувається зверху – вниз, в ССЕ це здійснюється на основі солідарних рішень учасників мережі – по горизонталі при координації обраного на демократичній основі керівного складу, якому «мережа» делегує керівні повноваження;

- на відміну від капіталістичних структур, де максимізація прибутку є пріоритетною задачею, в ССЕ учасники змушені гармонізувати економічні результати (зокрема, дохід та прибуток) з соціальними та екологічними ефектами, адже учасники одночасно виступають і як виробники, і як споживачі результатів, у тому числі, соціальних та екологічних;

- робота кожної мережі будується на принципах добровільності, самоорганізації, самоуправління, автономності (кожна організація обирає власні принципи й приймає власні правила);

- створюються передумови для розвитку багатоманітності форм, гнучкості й динамізму.

Наявні ознаки формування структур ССЕ можна прослідити в секторі сонячної енергетики, де для цього виникають найбільш релевантні умови. Зокрема, за прогнозом компанії Bloomberg New Energy Finance, очікується, що в 2050 р. частка сонячної електроенергії (pv), що буде вироблятися в приватних домогосподарствах, досягне 11% (Will solar, 2020). Однак існують країни, де цей показник є вже вищим навіть сьогодні: Австралія (24%), Бразилія (20%), Німеччина (15%), Японія (12%), Україна (12%) (Azghaliev et al., 2022).

8.4. Зменшення енергоємності виробництва й споживання продукції

Дематеріалізація й сестейнізація економічних систем. Виробництво будь-яких матеріалів так чи інакше пов'язане з застосуванням енергії та впливом на довкілля. Тому будь-яке відносне зниження матеріаломісткості виконання одиниці певних функцій матеріальними активами економічної системи прямо чи опосередковано веде до зменшення навантаження на біосферу й сестейнізації діяльності економічної системи.

Умовно таке відносне скорочення матеріаломісткості певних функцій економічної системи називають *дематеріалізацією*. Науково-технічний прогрес неухильно веде до дематеріалізації економічних систем. Темпи цього явища прискорилися з інтенсифікацією цифрових трансформацій та початком реалізації Industry 3.0 та Industry 4.0.

За останнє десятиріччя ХХ ст. та перше десятиріччя ХХІ століття вага фото- і відеокамер, магнітофонів, акумуляторів знизилася в рази, а то – й на порядки. За сорок років паливоємність автомобілів зменшилася майже в 10 разів (із 20 до 2 літрів на 100 км шляху) (Вайцеккер и др., 2000; Вайцеккер и др., 2013). Перехід фото- і кіноіндустрії на цифрові технології зробили непотрібною цілу галузь, зайняту виробництвом фо-

то- і кіноматеріалів (плівки, паперу, хімічних реагентів). Крім того, стало непотрібним і виробництво обладнання, необхідного для проявлення, закріплення, друку відповідної продукції. Наочним наслідком зазначених процесів, зокрема, є банкрутство всесвітньо відомої фірми «Кодак», яка понад ста років справно обслуговувала ринок фотоматеріалів.

Можна виділити кілька напрямків розвитку економічних систем, що забезпечують зниження ресурсоемності їх функціонування:

- заходи щодо масштабного ресурсозбереження (зокрема, теплоізоляція будинків, застосування менш енергоємного обладнання, ін.); прикладом є застосування в будівництві концепції “Zero-energy-building”:
- використання ефективних ресурсозаощаджувальних технологій;
- використання ефективних ресурсозаощаджувальних режимів роботи;
- використання природозберігаючих технологій, що знижують екологічні наслідки і пов’язані з цим витрати;
- заміщення матеріальних субстанцій інформацією (зокрема, транспортування й зберігання не матеріальних речей, а їхніх цифрових двійників);
- використання матеріалів з новими властивостями.

Цілеспрямована зміна властивостей матеріалів є надзвичайно ефективним напрямком ресурсозбереження, адже дозволяє впливати на ресурсомісткість усієї економічної системи. Зокрема, це дає можливість знижувати ресурсомісткість виробничих систем на трьох стадіях: при виробництві вихідних ресурсів, виготовленні самого матеріалу і використанні його в технічних системах.

Наприклад, завдяки впровадженню волоконно-оптичного зв’язку (кварцове, скляне або полімерне волокно) вдалося підвищити швидкість передачі інформації більш ніж на 5 порядків. Один світловод здатний легко замінити цілий кабель, що містить кілька сотень металевих дротів. Зокрема, один світловод, що має діаметр близько 1,5 см, може з успіхом замінити телефонний кабель 7,5 см у діаметрі, що містить 900 пар мід-

них дротів. Світловод також має цілу низку інших істотних переваг (Harris et al., 2022).

Крім того, що нові матеріали при їх незрівнянно вищих функціональних властивостях дозволяють замінити цілий ряд дорогих і ресурсомістких (при їх виробництві) матеріалів, вони, як правило, також значно (часто на порядки) знижують ресурсомісткість функцій, що виконуються ними.

Зокрема, теплоприток при передачі сигналів у каналах зв'язку з волоконними світлодіодами приблизно в 100 разів менший від теплопритоку передачі сигналів по кабелях із нікелю (Fiber, 2022).

Конвергенція і мініатюризація активів. Одним із ключових методів, за допомогою якого досягається дематеріалізація, є *конвергенція*.

Конвергенція передбачає об'єднання кількох властивостей та функцій в одному предметі або пристрої для подальшого використання цього пристрою в різних цілях. Таким чином, під конвергенцією, як правило, розуміється *багатофункціональність* (детально на цьому ми зупинялися в розділі 4).

Один з продуктів конвергенції кожна сучасна людина носить з собою. Це його мобільний телефон, який вміщує все те, що ще кілька років тому було окремим, причому досить об'ємним матеріаломістким і енергоємним предметом. Іще раз нагадаємо їх: комп'ютер, телефон, фотоапарат, відеокамера, ліхтарик, записна книжка, годинник, будильник, календар і багато ще чого (рис. 8.2).

Утім, в цьому списку повинні з'явитися й носії таких функцій, яких раніше взагалі не існувало, наприклад: «оператор електронної пошти» або «персональний блок пам'яті».

Конвергенція пов'язана ще з одним явищем дематеріалізації – *мініатюризацією*. Мініатюризація може виступати й передумовою, й наслідком конвергенції.

Мініатюризація – це явище зміни матеріальної складової (габаритних розмірів, маси, питомих показників споживаємої енергії) певних активів (приладів, механізмів, машин, спожив-

чих речей, ін.) при одночасному поліпшенні їх функціональних властивостей (продуктивності, надійності, кількості виконуваних функцій тощо).



Рисунок 8.2 – Функції звичайного мобільного телефону (вагою не більше 200 г.), які раніше виконували надзвичайно матеріаломісткі і енергоємні предмети (що важили загалом десятки кілограмів)

Вже сьогодні масштаби мініатюризації вражають, зокрема, в електроніці. Наразі в одній крупіці інтегральної схеми вартістю в кілька центів сконцентрована потужність сотень тисяч транзисторів разом з усією супроводжувальною арматурою. З розвитком нанотехнологій можна очікувати появу комп'ютера розміром з молекулу (Impact, 2021).

У результаті дематеріалізації економічних систем і мініатюризації господарських активів слід очікувати значне зменшення енергоємності одиниці ВВП, що показано на рис. 8.3.

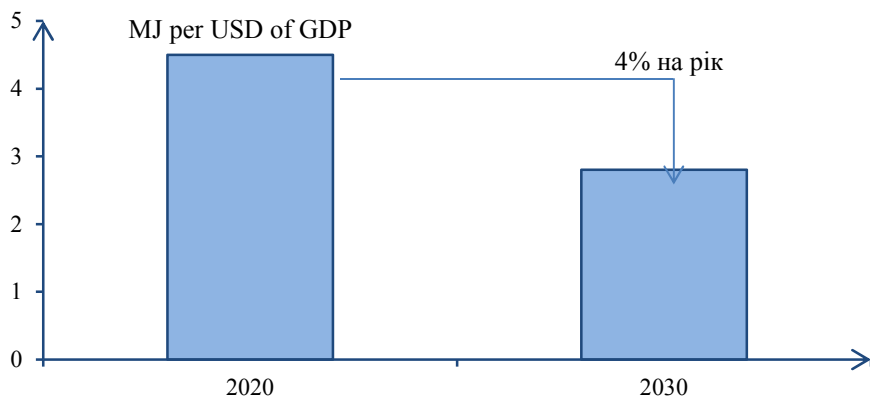


Рисунок 8.3 – Energy intensity of GDP (MJ per USD ppp). Note: MJ = megajoules (мегаджоулі); GDP = gross domestic product in purchasing power parity – ВВП за паритетом купівельної спроможності (Net zero, 2021)

8.5. Системна сутність сестейнізації енергетики

Електрифікація транспорту. Перехід транспортних систем на електричне живлення дасть змогу вирішити цілий комплекс економічних, екологічних і соціальних задач. Основні ефекти можна сформулювати таким чином:

- зменшуються суспільні витрати, пов'язані з функціонуванням транспортних систем; зокрема, з господарської діяльності виключаються цілі галузі, пов'язані з видобутком, переробкою, транспортуванням й зберіганням палива; відповідно, скорочуються пов'язані з цим суспільні витрати;
- значно скорочується вплив на біосферу, пов'язаний з отриманням палива та функціонуванням транспортних систем;
- формуються передумови для розвитку різних форм шерингових відносин при експлуатаванні транспортних засобів та широкого впровадження безпілотного транспорту (Net Zero, 2021).

Передбачається збільшення обсягів продажу електромобілів у 18 разів за 10 років – у 2030 р., порівняно з 2020 роком (Net Zero, 2021). Відповідно, має значно розвинутися інфраструктура обслуговування електричного транспорту й поступово буде зменшуватися інфраструктура традиційних видів транспорту. Кількість громадських точок зарядки електромобілів до 2030 року має збільшитися з 1 млн одиниць (у 2020 р.) до 40 млн.

Водневізація енергетичних систем. Застосування водню в енергетичних системах може давати значні економічні й екологічні ефекти. Зокрема, водень може створювати «місток» між традиційними й новими технологіями, виступаючи в ролі енергоносія (причому, екологічно чистого, який не залишає шкідливих викидів). Водень може виступати також активним елементом для зберігання енергії, вбираючи таким чином функції як енергоносія, так і акумулятора.

Суттєвою проблемою масового застосування водню є забезпечення економічної неефективності реалізації повного циклу отримання й використання водню в межах традиційних енергетичних технологій. Зокрема, для отримання водню при електролізі води необхідно витратити енергії вдвічі більше, ніж можна отримати при його згоранні.

Ця проблема може бути вирішеною лише при застосуванні надлишкової енергії відновлюваних джерел (такий водень називається «зеленим»). Межі використання водню в енергетичних системах, таким чином, розширюються по мірі розвитку «зеленої» енергетики.

Кібергізація контролю за роботою систем. Результатом Industry 4.0 має стати кібергізація створеного людиною індустріального світу.

На основі аналізу ряду публікацій (Schwab, 2016; Industry 4.0, 2016; Skinner, 2018) автором сформульовані найважливіші функції, які зазначені кіберфізичні системи здатні будуть виконувати *без участі людини*:

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

- *контроль параметрів* зовнішнього середовища й своїх власних;
- *самоактивізація й зупинення* при певних інформаційних сигналах;
- *самонастроювання* на оптимальні режими роботи;
- *прогнозоване* (випереджальне, профілактичне) самообслуговування систем;
- *взаємодія з виробленими товарами* (якщо мова йде про виробничі системи);
- *адаптація під нові потреби* споживачів та нові умови;
- *визначення обладнання*, необхідного для виробництва необхідних товарів або задоволення нових потреб;
- *самонавчання* новим прийомам роботи.

Хід Industry 4.0 обіцяє забезпечити якісний стрибок ефективності функціонування технічних систем, зокрема, завдяки розвитку *Інтернету речей, сенсорної революції, «хмарних» технологій, штучного інтелекту* та інших завоювань технічного прогресу.

Один із важливих результатів Industry 4.0 може проявитися особливо яскраво в екологічній сфері. Зокрема, розвиток кіберфізичних систем може стати вирішальним фактором, щоб замкнути цикли використання різних видів ресурсів і перетворити економіку на циркуляційну систему. В *циркулярній економіці* кожен продукт матиме свою мітку, яка покаже джерело ресурсів, технологію виробництва, використаний вид енергії тощо (Dediaccoat, 2016).

Сестейнізація громадських інститутів. Опанування людством нових джерел енергії є не просто технологічним заходом. Це складне соціально-економічне явище, фазовий перехід, що означає зміну всіх атрибутів суспільного життя людини. Вагому роль у цьому переході відіграють громадські інститути, які визначають: відносини людей у суспільстві, регулятори руху товарно-грошових потоків, засади формування людського капіталу, принципи реалізації відносин людини й біосфери та інші важливі моменти функціонування й розвитку людського суспільства.

Серед найбільш важливих громадських інститутів слід назвати: рівень громадського управління та мотиваційних інструментів, права власності та економічні регулятори, правові норми, обмеження та заборони, неформальні норми, звичаї, традиції, моральні норми, релігійні засади, освіту, неурядові організації тощо.

Лише при активному трансформуванні всього спектру громадських інститутів можна розрахувати на реалізацію повного потенціалу оновленої енергетичної системи.

Проведені дослідження дозволяють зробити кілька важливих висновків.

Перше. Впровадження відновлюваних енергетичних технологій можливо лише за умови здійснення адекватних трансформаційних зрушень в соціально-економічній системі, основні складові яких показані на рис. 8.4.



Рисунок 8.4 – Системна сутність синергетичного ефекту сестейнізації енергетики

Друге. Зазначені соціально-економічні трансформації взаємообумовлюють одна одну й здатні значно підсилювати потенціал впливу перебудови енергетичного комплексу на цілі сталого розвитку, що також показано на даному рисунку у вигляді «синергетичного ефекту сестейнізації енергетики».

Третє. Зазначений ефект є багатограним явищем і має багато вимірів свого потенціалу. Можна сформулювати кілька напрямів формування критеріїв їх оцінки.

Економічний вимір. Відновлювані енергетичні системи потребують менших суспільних витрат на виробництво одиниці енергії (з урахуванням повного виробничого циклу) ніж традиційні технології. У поєднанні з сучасними системами зберігання енергії перевага альтернативних технологій іще більш зростає. Зокрема, за оцінками уряду Британії, сукупна економія витрат на виробництво енергії в країні до 2050 р. може становити близько 50 млрд USD (What, 2022).

Ціновий вимір. Вже сьогодні середні ціни на відновлювану електроенергію нижчі за електроенергію, що виробляється на теплових електростанціях (USD/MWh: вітер (наземні) – 60; сонце (pv) – 63, газ – 75; вугілля – 130) (Solar, 2020b). Надалі перевага альтернативних джерел буде лише зростати.

Екологічний вимір. За оцінками експертів, широкомасштабне впровадження відновлюваних енергетичних систем дасть змогу до 2050 р. наполовину скоротити емісію парникових газів (в першу чергу – CO₂). Передбачається, що до 2050 майже 90% електроенергії буде вироблятися з відновлюваних джерел енергії (вітрова й сонячна енергії будуть складати майже 70%). Прогнозується поліпшення екологічних умов проживання. Очікується зменшення на 2 млн випадків смерті від передчасних смертей (Net Zero, 2021).

Соціальний вимір. Завдяки розвитку відновлюваної енергетики до 2030 року близько 800 млн мешканців Землі отримають доступ до електроенергії й 2,6 млрд людей набудуть умови для чистого приготування їжі (Net Zero, 2021). Доступ до енергії

значно підвищить добробут і продуктивність праці в країнах, що розвиваються.

Вимір дематеріалізації. Перехід на альтернативну енергетику дасть змогу скоротити питомі потоки матеріалів і енергії на одиницю продукції (послуг) в загальному індустріальному метаболізмі. Прогнозується, що до 2030 року валовий обсяг світової економіки збільшиться на 40%. При цьому споживання енергії скоротиться на 7%. Щорічне зниження енергоємності складе в середньому 4%. Очікується, що при максимальній реалізації sustainable потенціалу відновлюваної енергетики глобальне споживання енергії в 2050 році буде приблизно на 8% менше, ніж у 2020 році, а обслужити це зможе в два рази більшу економіку й населення більше на 2 млрд осіб (Net Zero, 2021).

Вимір реструктуризації робочих місць. Перехід на нові джерела енергії має супроводжуватися кардинальною реструктуризацією секторів економіки. Сказане можна проілюструвати перетіканням робочих місць від традиційних до альтернативних секторів енергетики. Зокрема, прогнозується до 2030 року створення 14 млн робочих місць в чистих секторах енергетики. Очікується також, що 16 млн робочих місць має з'явитися в різних секторах економіки в зв'язку з кібергізацією виробництва, електрифікацією транспорту, модернізацією будівель тощо. При цьому мають зникнути 5 млн робочих місць через скорочення традиційних енергетичних виробництв (Net Zero, 2021). Доцільно зазначити, що робочі місця, які будуть створюватися, матимуть більш інтелектуальні та екологічно досконалі умови роботи, ніж ті, яким належить зникнути.

Четверте. Перехід на відновлювані енергетичні системи вимагає постійного інноваційного забезпечення. Приблизно третини технічних засобів, яким належить реалізувати завдання переходу, ще не існує на ринку і поки розробляється в наукових напрацюваннях.

П'яте. Завдання зазначеного енергетичного переходу потребують адекватного інституційного забезпечення та міжнародного співробітництва. Без такої підтримки цілі реалізації повно-

го потенціалу енергетичного переходу й відповідні цілі сестейнового (sustainable) розвитку можуть бути досягнуті лише, умовно кажучи, на половину (Net Zero, 2021).

Як бачимо, важливим ключовим напрямом формування адитивної економіки є перехід на відновлювані джерела й ефективне зберігання енергії.

Невід'ємною частиною зазначеного переходу є трансформація всієї глибинної сутності соціально-економічної системи, яка так чи інакше обумовлює процеси виробництва й споживання енергії. Основними складовими зазначеної трансформації є: перехід на горизонтальні розподілені енергетичні мережі, розвиток соціальної й солідарної економіки, дематеріалізація й сестейнізація економічних систем, конвергенція й мініатюризація активів, електрифікація транспорту, возневізація енергетичних систем, кібергізація контролю за роботою систем, сестейнізація громадських інститутів.

Взаємообумовлюючи іншу одну зазначені трансформаційні складові формують синергетичний потенціал ефективності відновлюваної енергетики й передумови сестейнового розвитку суспільства.

Зазначений енергетичний перехід є динамічним технологічним і соціально-економічним явищем, рушійною силою якого є інновації, що мають постійно відтворюватися системами фундаментальної й прикладної наук.

Повною мірою потенціал досягнення цілей сталого розвитку в ході зазначеного енергетичного потенціалу може бути реалізований лише за умови адекватного інституційного забезпечення й активного міжнародного співробітництва.

ВИСНОВКИ

Поняття «адитивної економіки», яке розкривається в монографії, означає прихід нової ери в розвитку виробничих сил людства. Вперше в історії індустріального виробництва людина вчиться брати від природи лише ту частину її первинних ресурсів, яка може бути з користю застосована для виготовлення майбутніх товарів. При цьому в надрах природи продовжує залишатися та частина її благ, яка не потрібна для кінцевої продукції. Наразі в традиційних виробництвах вона застосовується, але відсікається як зайва й повертається природі у вигляді відходів, руйнуючи й отруюючи екосистеми планети.

Ті технології, завдяки яким індустріальним системам вдалося замиритися з природою, отримали назву «адитивних» – за базовим принципом, який вони застосовують, при виробництві продукції. Саме так – adding, тобто додаючи крапелька за крапелькою до предмета праці, – 3D принтер створює готові вироби. Проте, ознаки адитивного виробництва демонструє не тільки 3D-принтинг. Їх виявляють також альтернативна енергетика, ІТ сектор та інші види діяльності.

Навіть у виробничих процесах, які відбуваються за допомогою 3D принтерів, поняття *адитивного виробництва* не обмежується кінцевими операціями власне друку виробів на принтерах. Воно набагато складніше й ширше, адже охоплює цілісну систему виробничих процесів, включаючи отримання необхідних матеріалів, конструювання й виготовлення виробничого обладнання, а також створення програмного продукту, без якого не можуть працювати принтери.

Ще ширше поняття «адитивної економіки». Воно відображає не тільки виробничі процеси, але й пов'язану з ними цілісну систему господарювання. А останнє не може відбуватися без складної сукупності суспільних відносин щодо виробництва, розподілу, обміну та споживання продукції. Так що, перехід до адитивної економіки означає зміну всієї глибини засад суспільного устрою. І це ще не все...

Виявляється, впровадження засад адитивного виробництва веде до таких трансформацій, які взагалі змінюють контури функціонування людської цивілізації на планеті, й наслідки яких важко навіть уявити.

Адитивне виробництво виникло на хвилі третьої промислової революції (Industry 3.0) як засіб подолання глобальної екологічної кризи та її загрозливих наслідків (в першу чергу, руйнування клімату планети). Проте, досить швидко з'ясувалося, що інформаційна складність функціонування адитивних виробництв настільки висока, що контроль за ними потребує створення надскладних кіберфізичних систем, здатних діяти без прямої участі людини. Їх компонентами мають стати мережеві горизонтальні організаційні структури, штучний інтелект, Інтернет речей, розумні системи, великі бази даних, хмарні технології. Створення єдиної мережі кіберфізичних систем і стало ключовим завданням четвертої промислової революції (Industry 4.0).

Безпрецедентні трансформації суспільства, яке несе з собою Industry 4.0, спрямовані на тотальну автоматизацію процесів існування людства. Це не може не викликати кардинальні перетворення в самій людині, яка виявляється зайвою на виробництві. Кіберфізичні системи повністю приймають на себе контроль за процесами виробництва й споживання продукції. Людина змушена шукати нові вектори застосування її трудового потенціалу й розвитку свого особистісного начала.

Крім того має бути досягнута синергія людини з небаченими раніше новими сутностями, що народжуються наразі на планеті: штучним інтелектом, кіберфізичними системами, Хмарою. На реалізацію зазначених перетворень і спрямована П'ята промислова революція (Industry 5.0).

Як бачимо, на шляху до адитивної економіки людство чекають колосальні перетворення. Щоб вони відбулися мають бути створені необхідні передумови й змінитися три взаємопов'язані групи системоутворювальних факторів: матеріальних (які генерують енергетичні імпульси руху й розвитку системи), інформаційних (які формують алгоритм взаємодії між собою

окремих частин системи й програму її розвитку) та синергетичних (які забезпечують узгодженість у просторі та часі дії окремих підсистем).

Перехід до адитивної економіки дозволяє значно скоротити тривалість економічних процесів. Можна назвати фактори, за рахунок яких слід очікувати зазначені трансформаційні зміни.

Адитивізація виробництва (3D-принтинг) зумовлює виключення виробничих стадій, які забезпечують: технологічну підготовку, виготовлення первинних моделей, інструментальну підготовку, збирання готових виробів (частково).

Перехід на альтернативні джерела енергії забезпечує виключення стадій: розвідки, видобутку первинних енергоносіїв, створення транспортної інфраструктури, транспортування, зберігання палива та усунення відповідних екологічних наслідків.

Інформатизація економіки веде до скорочення значної кількості ланок із виробництва відповідних матеріалів та стадій виготовлення необхідних для цього засобів виробництва.

Дематеріалізація процесів виробництва та споживання забезпечує прискорення процесів: просування предметів праці між виробничими ланками, транспортування, інших видів логістики.

Мережевізація економіки дає змогу прискорити процеси просування продукції від виробництва до споживачів.

Інтелектуалізація (кібергізація) економічних процесів зумовлює прискорення процесів прийняття рішень та оптимізацію складових виробничих циклів та логістики.

Формування циркулярної економіки веде до скорочення тривалості циклів відтворення ресурсної основи та утилізації відходів.

Одним з ключових факторів, на якому ґрунтується реалізація стратегічного планування є прогностні оцінки очікуваної зміни складових економічних систем. Проведений аналіз дає можливість обґрунтувати ключові види реструктуризаційних змін при переході країн до моделі адитивної економіки. Можна назвати такі ключові напрями реструктуризації складових економічних систем при переході до адитивної економіки:

- реструктуризація освітніх процесів
- реструктуризація міжнародних економічних зв'язків
- реструктуризація виробничого циклу
- зміна структури первинних ресурсів
- реструктуризація інтерфейсної сфери
- реструктуризація енергетичних мереж
- реструктуризація виробництва енергії
- зміна організаційної структури виробництва
- реструктуризація економічних відносин
- зміна соціальної структури суспільства

Аналіз змісту, форми та специфіки окремих напрямів реструктуризації, а також причинно-наслідкових зв'язків їх виникнення дає можливість обґрунтовано визначати напрями витрачання суспільних ресурсів, ефективно планувати господарську діяльність, цілеспрямовано готувати людський капітал до вирішення майбутніх завдань.

ЛІТЕРАТУРА

1. 3D Scanning technology – hard work that look like “magic”. *Laserdesign*. URL: <https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning> (accessed on 5.12.2021).
2. 3D-принтер. URL : <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер> (дата обращения : 10.03.2017).
3. 3D-принтеры (мировой рынок). *TADVISER*. 17.07.2021. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:3D-принтеры_\(мировой_рынок\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:3D-принтеры_(мировой_рынок)) (дата обращения 28.11.2021)
4. Acaroglu L. Tools for systems thinkers: the 6 fundamental concepts of systems thinking. *Disruptive Design. Medium*. 17.09.2017. URL: <https://medium.com/disruptive-design/tools-for-systems-thinkers-the-6-fundamental-concepts-of-systems-thinking-379cdac3dc6a> (accessed on 10.02.2022).
5. Acri R.A., Barone S., Cambula P. et al. Forecast of the demand for electric mobility for Rome-Fiumicino International Airport. *Energies*. 6.11.2022. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/17/5251> (accessed on 10.11.2022).
6. Additive manufacturing – a definition : what is additive manufacturing? *SPI Lasers*. URL : <http://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/additive-manufacturing-a-definition/> (accessed on 20.10.2021).
7. Andreassen E. Additive manufacturing (AM) – Materials and material properties. *SINTEF*. URL: <https://www.sintef.no/en/expertise/sintef-industry/materials-and-nanotechnology/additive-manufacturing-am-materials-and-material-properties/> (accessed on 20.05.2023).
8. Ayres R. U. Information, entropy and progress: A new evolutionary paradigm. New York: American Institute of Physics. 1997. 301 p.
9. Azhgalieva D., Beirne J., Mishra R. What matters for private investment in renewable energy? *Climate Police*. April. 2022. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2022.2069664> (accessed on 16.11.2022).

10. Backlund A. The definition of system. *Kybernetes*. 2000. vol. 29. nr. 4. 444–451.
11. Bailey K.D. Living systems theory and social entropy theory. *Systems Research and Behavioral Science*. 2006. vol. 23. 291–300.
12. Barnatt Ch. 3D Printing: Third Edition. *Explaining The Future.com*. 2016. 320 p.
13. Bauwens T., Hekket M., Kirchherr J. Circular futures: What will they look like? *Ecological Economics*. Vol.175, September 2020, 106763. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092180091931972X?via%3Dihub> (accessed on 01.08.2023).
14. Becker G.S. Human capital: a theoretical and empirical analysis with special reference to education. New York: National Bureau of Economic Research, 1994. 187 p.
15. Bell D. The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting.. Basic Book. 1976. 507 p.
16. Bellini E. Portuguese government confirms world record solar price of \$ 0.01316/kwh. *PV Magazine International*. 27.08.2020 URL: <https://www.pv-magazine.com/2020/08/27/portuguese-government-confirms-world-record-solar-price-of-0-01316-kwh/> (accessed on 01.10.2020).
17. Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155-162. DOI:10.1016/j.bushor.2011.11.003
18. Boulding K. E. The economics of the coming Spaceship Earth. *Classics in environmental studies. An overview of classic texts in environmental studies / Ed.: N. Nelisse, J. Van Den Straaten and L. Klinkers. Amsterdam, the Netherland, 1997. P. 218–228.*
19. Bromberger J., Ilg J., Miranda A.M. (2022) The mainstreaming of additive manufacturing. *Mc Kinsey & Company*. 15.03.2022. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-mainstreaming-of-additive-manufacturing> (accessed on 15.05.2023).
20. Capata R., Calabria A. High-performance electric / hybrid vehicle – environmental, economic and technical assessment of elec-

trical accumulators for sustainable mobility. *Energies*. March 2022. 15(6): 2134. DOI:10.3390/en15062134 (accessed on 10.11.2022).

21. Christensen C.M. The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. *Harvard Business Review Press*. 2016. 288 p.

22. 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> (accessed on 15.09.2020).

23. Convergence meaning. *Your Dictionary*. URL: <https://www.yourdictionary.com/convergence> (accessed on 29.11.2021).

24. Cost for onshore wind, solar and battery storage dipped: BNEF. *Greentechlead. Renewable Energy*. 29.04.2020. URL: <https://greentechlead.com/renewable-energy/cost-for-onshore-wind-solar-and-battery-storage-dipped-bnef-35985> (accessed on 10.09.2020).

25. Council Y. E. Council Post: How The Fourth Industrial Revolution Is Impacting The Future of Work. *Forbes*. 2018. URL: <https://www.forbes.com/sites/theyec/2018/10/19/how-the-fourth-industrial-revolution-is-impacting-the-future-of-work/?sh=79226acd65a7> (date of access: 10.05.2023).

26. Dediccoat C. Circular economy: what it mean, how to get there. *World Economic Forum*. 23.01.2016. URL: <http://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-importance-of-a-circular-economy> (accessed on 01.03.2023).

27. Delbert C. This Nation is building the world's cheapest solar farm. *Popular Mechanics*. 01.05.2020 URL: <https://www.popularmechanics.com/science/a30266828/worlds-cheapest-solar-farm/> (accessed on 01.10.2020).

28. Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. 2013. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/disruptive-technologies> (assessed on 20.10.2019).

29. Dudley D. Renewably energy costs take another tumble, making fossil fuels look more expensive than ever. *Forbes*. 29.05.2019. URL: <https://www.forbes.com/sites/dominicdudley/2019/05/29/renewable-energy-costs-tumble/#6be829d6e8ce> (accessed on 01.10.2020).

30. 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> (accessed on 20.04.2020).

31. Ellerbeck S. (a) IEA: More than a third of the world's electricity will come from renewables in 2025. *World Economic Forum: Energy Transition*. 16.03.2023. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2023/03/electricity-generation-renewables-power-ia/> (accessed on 20.05.2023).

32. Ellerbeck S. (6) The renewable energy transition is creating a green jobs boom. *World Economic Forum. Energy Transition*. 13.01.2023. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/renewable-energy-transition-green-jobs/> (accessed on 25.05.2023).

33. Embracing change: Fourth industrial revolution is transforming the future of work. *The Economic Times*. URL: <https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/security-tech/technology/embracing-change-fourth-industrial-revolution-is-transforming-the-future-of--work/articleshow/98224831.cms> (date of access: 10.05.2023).

34. Essing S., Allebe C., Remo T. et al., Raising the one-sun conversion efficiency of III-V/si solar cells to 32.8% for two junctions and 35.9% for three junction. *Nature Energy*. 2017, 2(9):17144 Doi:10.1038/nenergy.2017.144 ISSN 2058-7546.

35. EU Project: Factory-in-a-day. *Factory-in-a-day*. URL: <http://www.factory-in-a-day.eu/> (accessed on 10.03.2017).

36. Factory-in-a-day. *Ros-industrial*. 29.10.2013. URL: <http://rosindustrial.org/news/2013/10/17/factory-in-a-day> (accessed on 10.03.2017).

37. Fiber optics. *Britannica*. 31.10.2022. URL: <https://www.britannica.com/science/fiber-optics> (accessed on 10.10.2022).

38. Gall J. Systemantics: How Systems Really Work and How They Fail. / J. Gall. MI (Michigan) USA: The General Systemantics Press. 1986. 319 p.

39. Gartner Survey Reveals that High Acquisition and Start-up Costs are Delaying Investment in 3D-printers. Gartner Press Release, 9.12.2014. URL : <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2014-12-09-gartner-survey-reveals-that-high-acquisition-and-start-up-costs-are-delaying-investment-in-3d-printers>

40. Gershenfeld N., Gershenfeld A. Cutcher-Gershenfeld J. Designing reality : How to survive and thrive in the third digital revolution. *Science*. 20.11.2017. URL : <http://designingreality.org/>

41. Global Electricity Review. *EMBER*. 20.03.2020. URL: <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2020/03/Ember-2020GlobalElectricityReview-PrintA4.pdf> (accessed on 20.09.2020).

42. Hall S. (2022) Power-sector emissions are set to fall in 2022. Thanks to renewable energy. *World Economic Forum: Energy Transition*. 12.09.2022. URL: <https://climatechampions.unfccc.int/power-sector-emissions-are-set-to-fall-in-2022-thanks-to-renewable-energy/> (accessed on 20.05.2023).

43. Harmon J. What are digital technologies? *Quora*. 27.04.2018. URL: <https://www.quora.com/What-are-digital-technologies> (accessed on 25.05.2020).

44. Harris T., Pollette C., Fenlon W. How light emitting diodes (LEDs) work. *Howstuffworks*. 11.02.2021. URL: <https://electronics.howstuffworks.com/led.htm> (accessed on 15.11.2022).

45. Hassanzabeh R., Ebadi A.G. Measure the share of the effective factors and time management. *World Applied Sciences Journal*. 2007. 2 (3). 168-174.

46. Hunt T. The solar singularity: 2020 update (part 1). *Greentech Media*. 20.08.2020 URL: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/the-solar-singularity-2020-update-part-1> (accessed on 01.10.2020).

47. Ievsieieva O., Kalinichenko L., Pidoprygora SI., Pakulina H., Ievsieieva A. Evaluation of the performance of motor transport

enterprises of urban agglomerations in the region. *Transport Means-Proceedings of the International Conference*, 2021. October. 188–192.

48. IHS Markit: мировой прирост мощности солнечных электростанций в 2020 году достигнет 147 ГВт. *Новости elektrovesti.net*. 08.01.2020. URL: https://elektrovesti.net/69072_ihs-markit-mirovoy-prirost-moshchnosti-solnechnykh-elektrostantsiy-v-2020-godu-dostignet-142-gvt (дата обращения: 01.10.2020).

49. Impact of micro-/nano-electronics, miniaturization limit, and technology development for the next 10 years and after. News Wise. The Power Power to Tell Your Story. 13.04.2021. URL: <https://www.newswise.com/articles/impact-of-micro-nano-electronics-miniaturization-limit-and-technology-development-for-the-next-10-years-and-after> (дата обращения: 12.11.2022).

50. Industry 4.0. *Wikipedia*. URL: http://en.m.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0 (accessed on 01.03.2016).

51. Jarrow R. A., Protter P. 2012. A dysfunctional role of high frequency trading in electronic markets. *International Journal of Theoretical and Applied Finance*, 15(3), no page numbering. DOI : 10.1142/S0219024912500227

52. Jones J.B. (2023) An introduction to Additive manufacturing (Also known as 3D printing). *AM Basics*. URL: <https://additivemanufacturing.com/basics/> (accessed on 10.05.2023).

53. Kellner L. Report confirms wind technology advancements continue to drive down the cost of wind energy: wind energy costs at all-time lows, as wind turbines grow larger. *New Center*. 26.08.2019. URL: <https://newscenter.lbl.gov/2019/08/26/report-confirms-wind-technology-advancements-continue-to-drive-down-the-cost-of-wind-energy/> (accessed on 02.10.2020).

54. Kranz G., Jones M., Posey B. Technological convergence. *TechTarget*. 05.08.2021. URL: <https://searchconvergedinfrastructure.techtarget.com/definition/convergence> (accessed on 29.11.2021).

55. Lajoie B. Europe's interconnected electricity system: an in-depth analysis. *Electricity Maps*. 8.06.2018. URL: <https://medium.com/electricitymap/what-does-it-take-to-decarbonize-europe-d94cbcd80878> (accessed on 12.11.2022).

56. Materials for AM. Wohlers Report 2022. URL: <https://wohlersassociates.com/terminology-and-definitions/materials-for-am/> (accessed on 20.05.2023).

57. Mathiassen L. Systems, processes, and structures. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.17.3540&rep=rep1&type=pdf> (accessed on 12.02.2022).

58. May V. Additive manufacturing advantage and disadvantages. *Additive Manufacturing*. 05.10.2022. URL: <https://prototaluk.com/blog/additive-manufacturing-advantages-and-disadvantages/> (accessed on 10.05.2023).

59. McClintock C. A beginner's guide to generative design. 01.06.2023. URL: <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/beginner-guide-generative-design> (accessed on 10.05.2023).

60. Melnyk L., Matsenko O., Kubatko O., Korneyev M., Tulyakov O. (2022). Additive economy and new horizons of innovative business development // *Problems and Perspectives in Management*. 20(2), 175–185, doi: 10.21511/ppm.20(2).2022.15

61. Mincer J. Investment in human capital and personal income distribution. *J. of Political Economy*. Vol. 66, No. 4 (Aug., 1958), P. 281–302.

62. Miniaturization. Meaning in the Cambridge English Dictionary. URL: <https://dictionary.cambridge.org/ru/словарь/английский/miniaturization> (accessed on 29.11.2021).

63. Mokhtar T. On the verge of a solar revolution. Noteworthy. *The Journal Blog*. 01.02.2019 URL: <https://blog.usejournal.com/on-the-verge-of-a-solar-revolution-225cd2a959b3> (accessed on 02.10.2020).

64. Murphy S. V., Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*. 05.08.2014. № 32. P. 773–785. URL: <http://www.nature.com/nbt/journal/v32/n8/full/nbt.2958.html> (accessed on 10.03.2017).

65. Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector. *International Energy Agency*. October, 2021. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050->

ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf (accessed on 10.10.2022).

66. Nguyen M.T. System function definition and its application to Doorway Redesign project. Australian National University. *Individual Research Paper*. URL: https://users.cecs.anu.edu.au/~u3951377/student_work/example_work/14_2225_irp_minh.pdf (accessed on 02.02.2022).

67. 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> (assessed on 20.06.2022).

68. Outlook for biogas and biomethane. Prospects for organic growth. World Energy Outlook special Report. IEA. 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth> (accessed on 02.10.2020).

69. Patterson B. T. The enernet. Powering Buildings in the 21st Century // Emerge Alliance. URL : [http://www.emergealliance.org/portals/0/documents/home/The_Enernet_-_Powering_Buildings_in_the_21st_Century_-_SPI_2015\[1\].pdf](http://www.emergealliance.org/portals/0/documents/home/The_Enernet_-_Powering_Buildings_in_the_21st_Century_-_SPI_2015[1].pdf) (accessed on 20.12.2017).

70. Petersen A.U., Hofmann A.I., Fillols M., Manso M. Solar energy storage by molecular norbornadiene – quadricyclane photoswitches: polymer film devoces. *Advanced Science*. 2019, 6(12):1900367. URL: <https://doi.org/10.1002/advs.201900367>

71. Qanjin M., Rejab M. R. M., Idris M. S., Kumar N. M., Abdullah M. H., & Reddy G. R. (2020). Recent 3D and 4D intelligent printing technologies: A comparative review and future perspective. *Procedia Computer Science*, 167, 1210–1219. doi:10.1016/j.procs.2020.03.434.

72. Rada M. Industry 5.0 definition. 21.01.2018. URL: <https://medium.com/@michael.rada/industry-5-0-definition-6a2f9922dc48> (assessed on 20.06.2020).

73. Realizing Society 5.0. URL : <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=rm&ogbl#inbox/FMfcgxwDrRPGwTXtdGXFXxKdGKCNfhph?projector=1&messagePartId=0.1> (accessed on 10.10.2019).

74. Reddy S. (2022). Smart materials for 4D printing: A review on developments, challenges and applications. DOI:10.1007/978-981-16-4222-7_1
75. 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.
76. 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.
77. Robert Metcalfe – inventor, mathematician. *Biography*. 02.04.2014. URL : <https://www.biography.com/people/robert-metcalfe-9542201> (accessed on 15.11.2017).
78. Rohatinski Z. Time and economics: the concept of functional time. *ResearchGate*. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-61705-3
79. Romainville J.-F., Bley F. EU Market for 3DP Demonstration Equipment and Services. Preliminary Report. December, 2021. URL: <https://3dppan.eu/sites/default/files/2022-05/EU%20Market%20for%203DP%20Demonstration%20Services%20-%20Executive%20Summary%20%28Dec2021%29.pdf> (accessed on 10.03.2023).
80. 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> (assessed on 20.06.2022).
81. Sahakian M. The social and solidarity economy: why is it relevant to industrial ecology? *Taking Stock of Industrial Ecology* / eds. R. Clift, A. Druckman. Springer. 2016, P. 205-227. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-20571-7_10 (accessed on 12.11.2022).
82. Schultz T.W. Investment in human capital. *The American Economic Review*. Vol. 51. No. 1 (Mar, 1961). P. 1–17.
83. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, *Committed to Improving the State of the World*, 2017. 208 p.

84. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*. URL : <https://www.weforum.org/about/the-fourth-industrial-revolution-by-klaus-schwab> (accessed on 01.03.2016).

85. Schwab K., Davis N. Shaping the Fourth Industrial Revolution. – Davos: World Economic Forum, 2018. – 288 p.

86. 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/> (accessed on 01.10.2016).

87. 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/> (accessed on 15.09.2020).

88. 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. [http://dx.doi.org/10.25115/eea.v38i3%20\(1\).3985](http://dx.doi.org/10.25115/eea.v38i3%20(1).3985)

89. Simpson J.D., van Barlingen W. How far can an electric car go on one charge? *EVBox. Blog*. 17.06.2022. URL: <https://blog.evbox.com/uk-en/electric-car-range> (accessed on 11.11.2022).

90. Skinner C. Digital Human. – Marshall Cavendish International (Asia) Pte Ltd, 2018.

91. Smart grids and smart metering. *Joinup*. 20.06.2022. URL: <https://joinup.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/smart-grids-and-smart-metering> (accessed on 12.11.2022).

92. Sniderman B., Mahto M., Cotteleer M. J. Industry 4.0 and manufacturing ecosystems. Exploring the world of connected enterprises : monograph. London : Deloitte University Press, 2016. 28 p. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-industrial-products/Deloitte-Industry-4-0-and-manufacturing-ecosystems.pdf> (date of access: 10.05.2023).

93. Social and solidarity economy as a means to implement the SDGs: partnership to bridge the financial gap. Inter-Agency Task Force on Social and Solidarity Economy. 03.2017. URL: https://www.un.org/esa/ffd/wp-content/uploads/2017/03/UN-Inter-Agency-Task-Force-on-Social-and-Solidarity-Economy-submission_May2017.pdf (accessed on 14.11.2022).

94. Society 5.0. *Cabinet Office*. URL : https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html (дата обращения 10.10.2019).

95. Solar electricity costs (a). URL: http://solarcellcentral.com/cost_page.html (accessed on 15.05.2020).

96. Solar power costs dropped dramatically in 2013–2018 (b). *CleanTechnica*. 17.09.2020. URL: <https://cleantechnica.com/2020/09/17/solar-power-costs-dropped-dramatically-in-2018/> (accessed on 25.04.2020).

97. Spieth W.F., Hellermann N., Luts-Bachmann S., Liedtke M. Renewable Energy Laws and Regulations Germany 2023. *ICLG*. 21.09.2022. URL: <https://iclg.com/practice-areas/renewable-energy-laws-and-regulations/germany> (accessed on 12.11.2022).

98. Structure, definition and meaning. *Collins English Dictionary*. URL: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/structure#:~:text=A%20structure%20is%20something%20that,together%20in%20an%20ordered%20way.&text=If%20you%20structure%20something%2C%20you,careful%2C%20organized%20pattern%20or%20system>. (accessed on 10.02.2022).

99. Svarc J. Most efficient solar panels 2022. *Clean Energy Reviews*. 06.2022. URL: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels> (accessed on 10.11.2022).

100. The cost for renewables decreases to a record low-report. *Smart Energy International*. 31.05.2019 URL: <https://www.smart-energy.com/renewable-energy/renewable-power-costs-decreases-record-low-report/> (accessed on 15.09.2020).

101. The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond. *World Economic Forum*. 14.01.2016. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial->

revolution-what-it-means-and-how-to-respond/ (date of access: 10.05.2023).

102. The State of 3D Printing. Discover the largest study of the Additive Manufacturing industry. URL: <https://info.sculpteo.com/the-state-of-3d-printing-report> (date of access: 10.05.2019).

103. The State of 3D Printing. Report: 2021. URL: https://info.sculpteo.com/hubfs/downloads/The%20State%20of%203D%20Printing%202021.pdf?_ga=2.139751795.1318598017.1696330873-1401274905.1696330873

104. Thurow L. C. Investment in Human Capital. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1970 - 145 p.

105. Tsytkin Y.A., Kamaev R.A., Orlov S.V., Pakulina A.A., Kalinichenko L.L. Increase of quality of provision of social and information services to population in the conditions of development of the digital economy. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2020, 111, 253–264.

106. Urry L., Cain M., Wasserman S., Minorsky P., Reece J. Evolution, the themes of biology, and scientific inquiry / Campbell Biology. New York: Pearson. 2017. 2–26.

107. Vashchenko K. TOP 5 energy storage projects of 2020. GETMARKET. 2020. URL: <https://getmarket.com.ua/en/news/top-5-energy-storage-projects-of-2020> (assessed on 02.10.2020).

108. Venhuizen H. 8 weird DARPA projects that make science fiction seem like real life. *Military Culture*. 04.09.2020. URL: <https://www.armytimes.com/off-duty/military-culture/2020/09/04/8-weird-darpa-projects-make-science-fiction-seem-like-real-life/> (accessed on 25.05.2023).

109. Vollmer M. What is Industry 5.0? Linked in. 23.08.2018. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/what-industry-50-dr-marcell-vollmer> (assessed on 20.10.2022).

110. What is Additive Manufacturing? (a). *Additive Manufacturing*. URL: <http://additivemanufacturing.com/basics/> (accessed on 01.12.2021).

111. What is additive manufacturing? Definition, types and processes (a). *TWI Ltd*. URL: <https://www.twi-global.com/technical->

knowledge/faqs/what-is-additive-manufacturing (accessed on 15.05.2023).

112. What is battery storage? *NationalGrid Group PLG*. 2022. URL: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-is-battery-storage> (accessed on 12.11.2022).

113. What Is Product-As-A-Service? Product-As-A-Service In A Nutshell – FourWeekMBA (B). *FourWeekMBA*. URL: <https://fourweekmba.com/product-as-a-service/> (date of access: 10.05.2023).

114. What is system? Characteristics, elements, types and system approach. (6) Bootpootin. 18.02.2021. URL: <https://bootpoot.tech/what-is-system-characteristics-elements-types-and-system-approach/>

115. Will solar panels get cheaper? (updated for 2020). Solar Industry. 10.01.2020 URL: <https://www.thesolarnerd.com/blog/will-solar-get-cheaper/> (accessed on 01.10.2020).

116. Zelinski P. Additive manufacturing materials. What is additive manufacturing? *Additive manufacturing*. URL: <https://www.additivemanufacturing.media/kc/what-is-additive-manufacturing/am-materials> (accessed on 15.05.2023).

117. Zelinski P. Material innovation is a powerful freedom of AM: here are examples. 4.21.2021. *Additive Manufacturing*. URL: <https://www.additivemanufacturing.media/articles/additive-manufacturing-is-now-realizing-the-promise-of-materials> (accessed on 20.05.2023).

118. 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 (accessed on 25.04.2020).

119. Авельский Н. Мясо из пробирки подешевело в 30 000 раз за 4 года. *Хайтек*. 22.02.2017. URL : https://hightech.fm/2017/02/22/lab_grown_meat (дата обращения : 30.11.2017).

120. Агамирзян И. Третья промышленная революция : начало. *Slop.* 25.10.2013. URL : <https://republic.ru/biz/1009644/> (дата обращения : 1.11.2015).

121. Аддитивные технологии – что это такое и где применяются. 18.09.2019. URL: [https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2019/09/18/additivnye-tehnologii-_1320_-chto-eto-takoe-i-gde-primenyayutsya.aspx#:~:text=Аддитивные%20технологии%20\(Additive%20Manufacturing%20–%20от,сконструировавшем%20первый%20стереолитографический%20трехмерный%20принтер](https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2019/09/18/additivnye-tehnologii-_1320_-chto-eto-takoe-i-gde-primenyayutsya.aspx#:~:text=Аддитивные%20технологии%20(Additive%20Manufacturing%20–%20от,сконструировавшем%20первый%20стереолитографический%20трехмерный%20принтер) (дата обращения 28.11.2021).

122. Бобровский П.П. Место и роль эволюционной идеи в биологии (логико-методологический аспект). Киев: «Высшая школа», 1973. 178 с.

123. Бобровский П.П., Мельник Л.Г. К триединству текущих, тактических, стратегических целей и интересов. *Эколого-экономические проблемы сельскохозяйственного производства* / Под ред. О.Ф. Балацкого. Киев: «Урожай», 1992. С. 102-111.

124. Бутов О. Волоконно-оптические световоды и датчики предупредят технические катастрофы. *Информационные технологии завтра.* 10.01.2003. URL : http://www.cnews.ru/articles/volokonnoopticheskie_svetovody_i_datchiki (дата обращения : 10.10.2015).

125. Вайцеккер Э., Харгроуз К., Смит М. Фактор пять. Формула устойчивого роста. Доклад Римского клуба / пер. с англ. Москва : АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2013. 368 с.

126. Вайцеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре. Затрат половина, отдача двойная. Новый доклад Римского клуба / пер. с англ. Москва : Academia, 2000. 400 с.

127. Грэй С. Российские учёные успешно пересадили мыши напечатанную на 3D-биопринтере щитовидку. *Hi-news.ru.* 18.12.2015. URL : <https://hi-news.ru/technology/rossijskie-uchyonye-ushpeshno-peresadili-myshi-napechatannuyu-na-3d-bioprintere-shhitovidku.html> (дата обращения : 15.05.2017).

128. Золотов А. Статистика : плотность роботов в разных странах и отраслях промышленности. *Robotforum.* 28.09.2016.

URL : <http://robotforum.ru/novosti-texnologij/statistika-plotnost-robotov-v-raznyix-stranax-i-otraslyax-promyishlennosti.html> (дата обращения : 01.03.2017).

129.ІТ 2023: що насправді відбувається з вітчизняним ринком. *UKRINFORM*. 07.04.2023. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3692904-it-2023-so-naspravdi-vidbuvaetsa-z-viceznanim-rinkom.html> (дата звернення: 30.05.2023).

130.Капица С. П. Парадоксы роста : Законы развития человечества. Москва : Альпина нон-фикши, 2010. 192 с.

131.Кларк Дж. Б. Распределение богатства. Москва: «Гелиос АРВ», 2000. 368 с.

132.Комбаров А. Рынок 3D-печати продолжает расти: тренды, перспективы, бизнес-стратегии. *iQB Technologies*. URL: <https://blog.iqb.ru/state-of-3d-printing-2020/> (дата обращения 28.11.2021).

133.Маркс К. Капитал. Критика политической экономии: Том 1, книга 1. Москва: «Политиздат», 1983. 737 с.

134.Маршалл А. Принципы экономической науки. Москва: «Эксмо», 1993. 832 с.

135.Мельник Л.Г. «Машина времени» Н.Н. Неплюева (Социально-экономический анализ): монография. Сумы: Университетская книга, 2018. 368 с.

136.Мельник Л.Г. Теория развития систем: монография. Сумы: Университетская книга, 2017. 416 с.

137.Оновлені дані: ІТ – єдина експортна галузь в Україні, що зростає. *IT Ukraine Association*. 31.01.2023. URL: <https://itukraine.org.ua/updated-data-it-industry-is-the-only-growing-export-industry-in-ukraine.html> (дата звернення: 30.05.2023).

138.Оптическое волокно. URL : https://ru.wikipedia.org/wiki/Оптическое_волокно (дата обращения : 10.10.2015).

139.Пальчинская Л. Как программное обеспечение Google научилось само писать программное обеспечение. *AIN.UA*. 19.10.2017. URL : <https://ain.ua/2017/10/19/po-v-google-pishet-po> (дата обращения : 25.10.2017).

140. Перелет Р. А. «Зелёная» экономика в ЕС : Политика и практика. *MyShared*. URL : <http://www.myshared.ru/slide/936653/> (дата обращения : 20.12.2017).

141. Попов Л. Роботы RepRap воспроизводят сами себя. *Membrana*. 04.06.2008. URL : <http://www.membrana.ru/particle/3275> (дата обращения : 01.03.2017).

142. Пригожин И. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках. Москва: Наука, 1985. 328 с.

143. Рынок технологий 3D-печати в России и мире: перспективы внедрения аддитивных технологий в производство. 3Dtoday. 21.01.2021. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/gynok-technologii-3d-pecati-v-rossii-i-mire-perspektivu-vnedreniya-additivnykh-technologii-v-proizvodstvo> (дата обращения 29.11.2021).

144. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов // Антология экономической классики. Москва: МП «ЭКОНОВ», «КЛЮЧ», 1993. С. 79–396 с.

145. Сэй Ж.-Б. Трактат по политической экономии / Сэй Ж.-Б., Бастиа Ф. Москва: Дело, 2000. С. 22-88.

146. Хенс Л. Методы оценки показателей устойчивого развития / Л. Хенс, К. Флаэминк. *Социально-экономический потенциал устойчивого развития* : учебник / под ред. Л. Г. Мельника, Л. Хенса. Сумы : Университетская книга, 2007, С. 231–257.

147. Шумпетер Й. Теорія економічного розвитку. Київ: Києво-Могилянська академія, 2011. 244 с.

Table of Contents

Introduction	8
Chapter 1. Conditionality and drivers for the formation of the additive economy	13
1.1. Trialectics of the conditionality of the transition to the additive economy	13
1.2. Trialectics of system-forming origins and development of systems	15
1.3. Analysis of the objective prerequisites for the transition to the additive economy	19
1.4. Factors determining the transition of society to the additive economy	24
Chapter 2. Socio-economic characteristics of the expected society and modern industrial revolutions (Industries 3.0, 4.0, 5.0)	37
2.1. Contours of the new society	37
2.2. The human dimension of industrial revolutions	42
2.3. Drivers of the manifestation of modern industrial revolutions	45
Chapter 3. Content of additive economy	52
3.1. Prerequisites for the transition to the additive economy	52
3.2. The concept of additive economy	55
3.3. Key sectors of the additive economy	59
3.4. Advantages and problems of the additive manufacturing	62
Chapter 4. Prospects for the development of the additive economy	65
4.1. Components of the phase transition to the additive economy	65
4.2. Development directions of the additive manufacturing	82
4.3. Development horizons of the additive economy	89

Chapter 5. Transformation of socio-economic systems as a prerequisite for the transition to the additive economy	93
5.1. Fundamental principles for transformation of socio-economic systems	93
5.2. Time factor in a system activity	98
5.3. Factors of changes in the dynamics of economic systems during the transition to the additive economy	107
5.4. Management of time parameters in conditions of the additive economy	109
5.5. Directions of transformation of socio-economic systems during the transition to the additive economy	113
Chapter 6. Restructuring of socio-economic systems during the transition to the additive economy	117
6.1. Implementation of Industry 4.0 as a prerequisite for the formation of AE	117
6.2. Key directions of socio-economic changes	120
6.3. Restructuring of the constituents of economic systems during the transition to AE	125
6.4. Restructuring of socio-economic factors during the transition to AE	135
6.5. Market features of transition to AE	139
Chapter 7. Formation of human capital during the transition to the additive economy	145
7.1. Fundamental foundations of human capital formation	145
7.2. Human capital as a driver of economic systems	150
7.3. Trialectics of a capital reproduction.....	152
7.4. The transition to the additive economy and the transit of reproduction of human capital	158
Chapter 8. Sustainization of energy as a prerequisite for the transition to the additive economy	162
8.1. Components for sustainization of the energy complex	162
8.2. Development of renewable energy sources and energy storage systems	164

8.3. Transformation of the organizational structure of the energy complex	169
8.4. Reduction of energy intensity of production and consumption of products	173
8.5. The systemic essence of sustainization of energy industry	177
Conclusions	184
Literature	188

Нотатки

Наукове видання

МЕЛЬНИК Леонід Григорович

**АДИТИВНА ЕКОНОМІКА (ЕКОНОМІКА ПЕРЕТВОРЕНЬ):
ДОСВІД ЄС ЩОДО ЕКОНОМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ
В ХОДІ INDUSTRIES 3.0, 4.0, 5.0**

Монографія

Малюнки (включно на обкладинці) Максима Кириленко
Обкладинка Ю. М. Завдов'єва
Комп'ютерна верстка та технічне редагування Ю. М. Завдов'єва

Підписано до друку 20.10.2023. Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 12,09. Обл.-вид. арк. 11,9
Тираж 300 пр. Замовлення № 03-11/41

Відділ реалізації. Тел.: (067) 542-08-01. E-mail: info@book.sumy.ua
ПФ «Видавництво «Університетська книга»»
40000, м. Суми, площа Покровська, 6
www.book.sumy.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7461 від 05.10.2021
Віддруковано на обладнанні ПФ «Видавництво “Університетська книга”»