

УДК 338.22.021.4, 330.341:316.4; 330.35:316.4,  
330.342:338.28:004.67.89:62-8(047.31)

УКПШ

№ держреєстрації 0121U109557

Інв. №

**Міністерство освіти і науки України**  
Сумський державний університет (СумДУ)  
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, М-303, тел. (0542) 332223

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи,  
д-р фіз.-мат. наук, проф.

\_\_\_\_\_ А.М. Черноус

**ЗВІТ  
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ  
ЕКОНОМІКИ: ВІД ПРОРИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДО ІНСТИТУЦІЙНОЇ  
СОЦІОЛОГІЗАЦІЇ РІШЕНЬ**  
(остаточний)

Керівник НДР,  
д-р екон. наук, проф.

Л.Г. Мельник

2023

Рукопис закінчено 22 грудня 2023 р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від 28 грудня 2023 р. № 13

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, професор кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, д-р екон. наук, професор	27.12.2023	Л. Г. Мельник (вступ; розділи 1, 2, 3, висновки)
Доцент кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, канд. екон. наук, доцент	27.12.2023	О. М. Маценко (вступ; розділи 1, 2, 3, висновки)
Професор кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, д-р екон. наук, професор	27.12.2023	Л. Генс (підрозділи 3.3, 3.4)
Завідувачка кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, д-р екон. наук, професор	27.12.2023	О. І. Карінцева (підрозділи 1.3, 3.1)
Доцент кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, д-р екон. наук, професор	27.12.2023	О. В. Кубатко (підрозділи 2.1, 2.2, 3.4)
Професор кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, д-р екон. наук, професор	27.12.2023	І. М. Сотник (підрозділи 3.2, 3.4)
Доцент кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, канд. екон. наук, доцент	27.12.2023	І. Б. Дегтярьова (розділ 2)
Старший викладач кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування, канд. екон. наук, доцент	27.12.2023	О. С. Гончаренко (підрозділ 1.4)

Асистент кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, канд. екон. наук, доцент	27.12.2023	П. В. Гриценко (підрозділ 1.2)
Доцент кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування, канд. екон. наук, доцент	27.12.2023	Ю. М. Дерев'янку (підрозділ 2.1)
Старший викладач кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування, канд. екон. наук, доцент	27.12.2023	О. А. Лукаш (підрозділ 3.1)
Молодший науковий співробітник НДЧ кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	А. О. Дериколенко (підрозділ 2.3)
Асистент кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	П. А. Денисенко (підрозділ 1.3)
Здобувач кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	Д. В. Козлов (підрозділ 3.2)
Здобувач кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	Д. С. Кобизський (підрозділ 2.3)
Аспірант кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	А. А. Панченко (підрозділ 2.1)
Аспірант кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	І. А. Стародуб (підрозділ 1.2)
Аспірант кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	Є. А. Переход (підрозділ 2.1)
Аспірант кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	Є. В. Хілько (підрозділ 1.1)

Аспірант кафедри економіки, підприємництва та бізнес- адміністрування	27.12.2023	В. С. Терещенко (підрозділ 3.4)
Студент Сумського державного університету	27.12.2023	С. О. Ніколаєв (підрозділ 3.4)
Студент Сумського державного університету	27.12.2023	В. С. Попов (підрозділ 3.4)
Студентка Сумського державного університету	27.12.2023	М. П. Нікуліна (підрозділ 2.1)
Студент Сумського державного університету	27.12.2023	М. В. Кириленко (підрозділ 2.1)
Студент Сумського державного університету	27.12.2023	Є. О. Скрипка (підрозділ 3.2, 3.3)
Студентка Сумського державного університету	27.12.2023	О. М. Ткаченко (підрозділ 1.4)
Студентка Сумського державного університету	27.12.2023	Я. В. Чорна (підрозділ 1.2)
Студент Сумського державного університету	27.12.2023	В. А. Мандрика (підрозділ 3.4)
Студентка Сумського державного університету	27.12.2023	Ю. В. Розгон (підрозділ 3.1)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 197 с., 26 рис., 6 табл., 107 джерел.

АДИТИВНА ЕКОНОМІКА, АДИТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ, ПРОМИСЛОВА РЕВОЛЮЦІЯ, ПРОРИВНА ТЕХНОЛОГІЯ, СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА СИСТЕМА, ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА, ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ.

Об'єктом дослідження є системний комплекс теоретичних засад та практичного динамічно побудованого інструментарію і рекомендацій, пов'язаних із забезпеченням фазового переходу до адитивної економіки.

Метою дослідження є розробка науково-методичного комплексу та практичного інструментарію щодо проривного переходу України до моделі цифрової економіки на основі обґрунтування впровадження проривних технологій (штучного інтелекту, Інтернету речей, нових матеріалів, альтернативної енергетики, сучасних агротехнологій, цифрових бізнес-платформ, 3D-принтингу, «розумних» мереж, хмарних технологій, ефективного транспорту і логістики, ін.). Відповідно до поставленої мети в роботі поставлено такі завдання:

- розробити концепції (теоретико-методологічні підходи, базові гіпотези, принципи, методи, інструменти) обґрунтування проривного фазового переходу до моделі адитивної (цифрової) економіки;
- проаналізувати проблемні вузли та успішні практики (у т.ч., зарубіжні) переходу до моделі адитивної економіки;
- розробити рекомендації щодо інституційної соціологізації трансформаційних рішень та активізації потенціалу самоорганізації населення та бізнес-структур «адитивної» цифрової економіки;
- сформулювати системи показників та критеріїв їх кількісного визначення для оцінки динаміки стану соціально-економічних та екологічних систем;
- обґрунтувати та апробувати такі методики: 1) оцінки ефективності

переходу господарських систем до адитивних способів виробництва; 2) оцінки ефектів вірусної природи поширення проривних технологій в господарських системах; 3) обґрунтування інструментарію забезпечення проривного фазового переходу економічних систем до господарювання на засадах індустрій 3.0, 4.0 та 5.0.

Методи дослідження – методи порівняльного, багатофакторного, економіко-статистичного, формально-логічного та системно-структурного аналізу.

Вирішення поставлених завдань було здійснено на основі аналізу закордонного досвіду, зокрема країн ЄС, а також успішних практик в Україні.

## ЗМІСТ

ВСТУП		9
1	РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ	17
1.1	Теоретико-методологічні підходи до розробки концепції проривного фазового переходу до моделі адитивної (цифрової) економіки	17
1.2	Аналіз проблемних вузлів та успішних практик переходу до моделі адитивної економіки	24
1.3	Інституційна соціологізація трансформаційних рішень та активізація потенціалу самоорганізації населення та бізнес-структур «адитивної» цифрової економіки	40
1.4	Потенціал розвитку та самоорганізації бізнес-структур в умовах цифрової економіки	59
2	ФОРМУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ НА ОСНОВІ ВІД ПРОРИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНСТИТУЦІЙНОЇ СОЦІОЛОГІЗАЦІЇ РІШЕНЬ	73
2.1	Концептуальні положення відтворення економіки на основі синергетичної теорії розвитку	73
2.2	Розробка системи управління процесами відтворення в умовах фазового переходу	92
2.3	Формування організаційно-економічного механізму та інструментарію функціонування адитивної економіки	100
2.4	Система показників та критеріїв їх кількісного визначення для оцінки динаміки стану соціально-економічних та екологічних систем	121
3	ФОРМУВАННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ НА ОСНОВІ ПРОРИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНСТИТУЦІЙНОЇ СОЦІОЛОГІЗАЦІЇ РІШЕНЬ	132
3.1	Науково-методичні підходи до оцінки ефективності переходу господарських систем до адитивних способів виробництва	132
3.2	Розробка методології оцінки ефектів вірусної природи поширення проривних технологій в господарських системах	141

3.3 Обґрунтування інструментарію забезпечення проривного фазового переходу економічних систем до господарювання на засадах індустрій 3.0, 4.0 та 5.0	155
3.4 Практичні аспекти фазового переходу від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень	163
ВИСНОВКИ	174
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	180
ДОДАТКИ	192



## ВСТУП

На даний момент Україна знаходиться у ключовому періоді свого історичного розвитку, який характеризується високою складністю та викликами. Країна та її громадяни зіткнулися з необхідністю обороняти свої фундаментальні права на існування в сучасному міжнародному контексті, проявляючи відвагу та рішучість у найважчих обставинах. Однак, важливо відзначити, що визначальною ареною боротьби України за своє майбутнє не є виключно військова сфера. Надзвичайної значущості набуває задача трансформації національної економіки. Цей процес включає перехід до нової соціально-економічної парадигми, що передбачає інтеграцію цифрових технологій та інноваційних практик. Україна відчуває вплив одночасно трьох промислових революцій - третьої (автоматизація та використання електроніки), четвертої (цифрові технології) та п'ятої (інтеграція людського інтелекту з технологіями), що вносить свій внесок у формування нового економічного та соціального ландшафту країни. Актуальність дослідження обумовлена розробленням системного науково-методичного комплексу та практичного інструментарію для обґрунтування проривного переходу країни до нової моделі економіки, яка умовно може бути названа «адитивною» – за провідним принципом дії інноваційної технологічної основи, що впроваджується. Це створює можливості для формування нової економіки, в основі якої лежать адитивні та цифрові технології, а основним конкурентним чинником є людський капітал.

Економічна сфера, у контексті зусиль України з переходу до новітніх методів управління економікою, має визначальне суспільне значення, аналогічне ролі вторинного фронту. В рамках цього “фронту”, країна прагне забезпечити своє право на самостійний розвиток та позиціонування себе як рівноправного члена міжнародної спільноти самодостатніх і прогресивних соціально-економічних систем. Для реалізації цієї амбіції надзвичайно важливими є готовність до неперервних інновацій, гнучкість управління в

умовах динамічних змін, а також здатність суспільних інститутів та окремих громадян адекватно реагувати на постійно змінювані умови виробничих і соціальних систем.

Успіх у сфері соціально-економічних трансформацій є критичним для забезпечення сталого розвитку країни, який включає економічне зростання та соціальну стабільність. Невдача у цьому напрямі може призвести до відставання України у глобальних цивілізаційних процесах, що несе за собою ризики наукової, технологічної, економічної та соціальної відсталості. Такий розвиток подій неминуче позначиться і на політичній, і на гуманітарній арені, викликаючи додаткові виклики на шляху досягнення національних цілей.

Нова соціально-економічна формація, до якої наразі відбувається проривний фазовий перехід, базується на нових технологічних принципах (адитивних методах виробництва) та відповідних інституційних засадах. Лише наукове обґрунтування забезпечує прийняття точних у просторі та вивірених у часі господарських рішень і гарантує адекватні вибори по низці біфуркаційних розгалужень. Це закладає фундамент для успішного проходження фазового бар'єру до нової моделі організації продуктивних сил та інституційних засад. Непроходження зазначеного фазового бар'єру неминуче відкидає країну на периферію суспільного розвитку і веде до загострення соціальної, економічної і екологічної криз у країні.

Провідна робоча ідея полягає в необхідності і можливості проривного переходу України до нової соціально-економічної моделі продуктивних сил і суспільних інститутів, що має забезпечити розв'язання актуальних соціальних, економічних та екологічних проблем на основі застосування альтернативної енергетики, адитивних технологій, розподілених мереж, Інтернету речей та інших проривних технологій.

Адитивна економіка показана як суспільне явище, що формується на нових принципах взаємодії людини та природи, які значно сестейнізують вплив людської цивілізації на біосферу планети. Адитивна економіка – це соціально-економічна формація, побудована на масовому застосуванню

адитивного принципу виготовлення продукції (3D-принтингу) та спрямована на радикальну мінімізацію використання первинних природних ресурсів і дематеріалізацію суспільного виробництва. Адитивна економіка є антиподом субтрактивної економіки, яка сьогодні панує у світі і побудована на використанні корисно лише незначної частки вилучених з надр природних ресурсів. Перехід до адитивної економіки є системним явищем, трансформаційними складовими якого повинні стати: адитивізація виробництва, мережевізація організаційних структур, інформатизація економіки, конвергенція і мініатюризація продукції, інформатизація матеріалів, кібергізація виробничих систем, циркуляризація ресурсовикористання.

Висунуто також припущення про можливість застосування механізмів адаптації національної економіки до фазових переходів глобального характеру, які, зокрема, пов'язані з антропогенною зміною клімату або мають іншу природу змін. Було висунуто також гіпотезу про необхідність і можливість зайняття країною провідних позицій у певних нішах цифрового світу. Проведено аналіз адаптаційних спроможностей національної економіки до глобальних еколого-економічних викликів.

За результатами роботи отримано результати, які полягають у визначенні ключових проблемних вузлів фазового переходу до адитивної економіки та методологічних засад формування відтворювального механізму сестейнового розвитку, а саме:

– розроблено механізми управління процесами фазового переходу для забезпечення сестейнового соціально-економічного розвитку та формування інформаційного суспільства, які, на відміну від існуючих, побудовані на принципах циркулярної економіки та включають низку інструментів (стимули для альтернативної енергетики, відтворення людського капіталу, формування цифрових двійників тощо);

– встановлено проблемні вузли та визначено успішні практики (у т.ч., зарубіжні) переходу до моделі адитивної економіки, зокрема при переході до

циркуляційної економіки у напрямках впровадження альтернативної енергетики, підвищення продуктивності праці, ефективному енергозбереженні та сприянні створенню нових робочих місць у руслі Четвертої промислової революції;

– розроблено рекомендації щодо інституційної соціологізації трансформаційних рішень та активізації потенціалу самоорганізації населення та бізнес-структур «адитивної» цифрової економіки. Зокрема, серед ключових рекомендацій слід виділити: моніторинг і застосування інновацій для різних сфер бізнесу з метою нівелювання ризиків та підвищення стійкості; розвиток у працівників толерантності до змін та пошуку нових напрямів розвитку; розвиток самоуправління колективу з метою посилення синергетичних взаємозв'язків та ефективності колективного пошуку рішень; уникнення надмірного ризику для нівелювання значних збитків; накопичення запасу ресурсів задля перенесення кризових періодів на кшталт епідемії COVID-19.

– закладено концептуальні положення відтворення економіки на основі синергетичної теорії розвитку. Зокрема, досліджено економічні, соціальні та екологічні синергетичні ефекти в цифровій економіці. Встановлено, що вони можуть бути позитивними, негативними та нейтральними. Відтворення економіки відбувається на основі позитивних синергетичних ефектів, що виникають при поєднанні технічних, економічних та управлінських сучасних інноваційних трендів;

– система управління процесами відтворення на сьогодні найбільш ефективно реалізована в новій формації - адитивній економіці, коли технологічна сторона виробництва основана на адитивному принципі. Саме даний принцип дозволяє мінімізувати використання природних ресурсів і якісно дематеріалізувати виробництво. Встановлено, що smart-система управління процесами відтворення в умовах адитивного виробництва дозволяє значно підвищити стійкість економічних систем та знизити енергоємність продукції. Крім того перехід до даної системи управління

дозволить задовольнити більше потреб економічних агентів за менших витрат ресурсів, ніж на основі адитивного принципу;

– розроблено концепцію організаційно-економічного механізму й інструментарій формування адитивної економіки на основі реорганізації соціально-економічних інститутів. При цьому досліджено вплив цифрової трансформації суспільства на прикладі економік країн ЄС. Було досліджено та апробовано на наукових форумах та в публікаціях актуальні вектори цифрових трансформацій: сестейнізація енергетичного комплексу; креативізація людського капіталу; мережевізація організаційних структур; адитивізація виробничої сфери; конвергенція виробництва, бізнесу і споживання; мініатюризація виробів; дематеріалізація виробництва; смартифікація матеріалів; циркуляризація ресурсокористування, дехрупкізація бізнесу, інформатизація економіки, кастомізація споживання та кібергізація виробництва;

– розроблено систему показників та критеріїв їх кількісного визначення для оцінки динаміки стану соціально-економічних та екологічних систем; обґрунтовано напрями економічної безпеки національної економіки. Будь-який процес динамічного відтворення стану системи слід розглядати як ціле, більше суми окремих підпроцесів, з яких він складається. Тому нами виділено параметри часу – показники, що характеризують кількісні та якісні сторони реалізації окремих процесів (підпроцесів) відтворення системи. До основних з них слід відносити: послідовність (порядок чергування підпроцесів зміни стану системи); тривалість (період часу від початку до закінчення певного процесу); темп (ступінь швидкості зміни стану системи – час, протягом якого відбувається умовна одиниця змін стану системи); швидкість (кількість змін стану системи за одиницю часу); рівень синхронності процесів (ступінь одночасності перебігу процесів щодо один одного); час перемикавання (період часу, який потрібний системі для переходу від одного процесу до іншого). Окремим показником оцінки динаміки стану соціально-економічних та екологічних систем нами виділено «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 потрібний системі на перерви в роботі, перемикання між окремими операціями, трансформації рівня її гомеостазу.

– розроблено науково-методичні підходи до оцінки ефективності переходу господарських систем до адитивних способів виробництва, які базуються на новому принципі взаємовідносин виробничого комплексу з природою. Він полягає у використанні лише корисної складової природних ресурсів, що значно зменшує кількість вилучення із довкілля природної речовини та зменшенні кількості відходів. Господарські системи, що працюють на нових принципах адитивної (цифрової) відрізняються більш високою стійкістю та антикрихкістю. Запропоновано до методики включити визначення пропорції часток ресурсів, що корисно використовуються, і отриманих відходів, що інтерпретується в роботі як коефіцієнт корисної дії функціонування систем життєзабезпечення суспільства.

– розроблено методику оцінки ефектів вірусної природи поширення проривних технологій в господарських системах. Встановлено, що революційні, якісні зміни обумовлюються саме проривними технологіями. За рахунок них стрибкоподібно (в рази чи, навіть, в десятки разів) підвищується ефективність функціонування системи. Дослідження показали, що процеси поширення сучасних проривних технологічних інновацій в переважній більшості мають специфічні властивості, які роблять їх схожими на процеси епідемічних феноменів поширення вірусних захворювань.

– розроблено методику обґрунтування інструментарію забезпечення проривного фазового переходу економічних систем до господарювання на засадах індустрій 3.0, 4.0 та 5.0. Розглянуто і обґрунтовано триєдиний механізм забезпечення передумов реалізації фазового переходу, який включає три групи факторів: матеріальних, інформаційних і синергетичних.

– розроблено практичну методологію оцінки життєздатності та потенціалу криптовалютних і блокчейн-проектів на основі оцінки окремих компонентів проекту та синтезу цих оцінок.

Одержані у роботі теоретичні підходи до формування організаційно-економічного механізму забезпечення фазового переходу до адитивної економіки та методика оцінки ефективності переходу господарських систем до адитивних способів виробництва для підвищення їх антикрихкості та стійкості можуть бути використані вітчизняними підприємствами для прискорення трансформаційних процесів до цифровізації та дематеріалізації виробництва, а також для відтворення та зміни системи мотивації людського капіталу. Також окремі теоретичні положення можуть бути використані держаними органами влади для удосконалення концепції цифрової трансформації країни. Методику оцінки ефектів вірусної природи поширення проривних технологій в господарських системах доцільно використовувати на рівнях державної та місцевої влади для планування розвитку країни та окремих регіонів. Розроблена методика оцінки проєктів на ранніх стадіях в умовах Industry 4.0 може бути використана компаніями та інвесторами для оцінки життєздатності та потенціалу, зокрема блокчейн-проєктів. Запропонований підхід можна застосовувати як перший крок в аналізі ефективності інноваційних стартап-проєктів.

Результати НДР частково використані при виконанні господарчих договорів на замовлення:

- № 53.14-2021.СП/02 «Дослідження економічних ефектів цифрової трансформації бізнесу»;
- № 53.14-2020.СП/01 «Підвищення конкурентоздатності підприємства на основі оптимального використання діджитал-платформ для просування промислової продукції»;
- № 53.14-01.17.СП/1 «Еколого-економічний аналіз венчурних проєктів у сфері альтернативної енергетики».

За напрямом теми НДР захищено 4 кандидати наук, студентами підготовлено 8 наукових робіт, які стали переможцями I турів Всеукраїнських конкурсів студентських наукових робіт та 4 роботи, які стали переможцями у II турах Міжнародних конкурсів студентських наукових робіт, захищені 4

магістерські роботи та видано 3 навчальних посібники («Кращі практики ЄС для сестейнового розвитку», «Трансформації економічних систем: досвід ЄС в реалізації Industries 3.0, 4.0, 5.0» та «Соціальна та солідарна економіка»). Одержані результати дослідження впроваджені у навчальний процес, зокрема, при викладанні дисциплін «Економіка розвитку», «Сучасні тренди в бізнесі: досвід ЄС» та «Соціальна та солідарна економіка», «Інформаційна економіка» та «Сучасні тренди соціально-економічного розвитку» (АКТи від 10 грудня 2021 р., від 13 грудня 2022 р. та від 4 грудня 2023 р.).



# 1 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ

## 1.1 Теоретико-методологічні підходи до розробки концепції проривного фазового переходу до моделі адитивної (цифрової) економіки

Поняття «адитивний» як правило пов'язують із поняттям «технологія». *Адитивні технології* можна вважати певним антиподом традиційним технологіям виробництва, які сьогодні повсюди застосовуються у сфері виробництва. Останні можна було назвати ще «субтрактивними» технологіями (від англ. subtract – віднімати). Вони засновані на тому, щоб із вилучених у природи ресурсів використовувати корисно лише незначну їх частку, повертаючи решту в природні екосистеми як відходи. При цьому вони перебувають вже в значно токсичнішому і шкідливому вигляді. За оцінками вчених, частка речовини, яка корисно використовується у виробництві, не перевищує сьогодні в середньому 10%. Це значить, що решта 90% сировини повертається в природу, забруднюючи і руйнуючи її екосистеми.

На відміну від субтрактивної технології адитивні методи виробництва (від англ. add - додавати) не відсікають зайве, а додають необхідне. Саме так працюють 3D-принтери, які шар за шаром наносять речовину, матеріалізуючи таким чином інформаційні образи товарів, що виробляються.

Втім, на наш погляд, поняття «адитивний» слід розуміти значно ширше, ніж просто метод виробництва. Мова повинна йти про перехід економічної системи в цілому на нові принципи реалізації продуктивних сил суспільства, відмінні від субтрактивних методів. За субтрактивними методами виробництва стоїть цілісна система адекватних їм процесів – 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%.

Саме так працює енергетика, яка забруднює своїми відходами усі три природні сфери: повітря, води 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 виробляє корисної роботи. Подібним чином працює транспорт, який для переміщення вантажів потребує вилучення із екосистем величезної кількості природних ландшафтів на дороги, трубопроводи, різні види комунікацій. При цьому значне навантаження екосистеми створюють процеси видобутку і 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.

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

Зусилля людської цивілізації, які сьогодні витрачаються на видобування і переробку ресурсів, а також утилізацію відходів виробництва і споживання можуть бути спрямовані на особистісний розвиток людства і досягнення тієї генеральної мети, яка фактично зафіксована в концепції сестейнового розвитку суспільства. На основі сказаного можна дати визначення адитивної економіки (АЕ).

АЕ – це соціально-економічна формація, побудована на масовому застосуванні адитивного принципу виготовлення продукції (3D-принтингу) та спрямована на радикальну мінімізацію використання первинних природних ресурсів і дематеріалізацію суспільного виробництва.

Як бачимо, те, що включає в себе адитивна економіка, ніяк не обмежується лише сферою застосування засобів виробництва. Фазовий перехід до адитивної економіки насправді означає системне явище,

трансформаційними складовими якого повинні стати: адитивізація виробництва, мережевізація економіки, конвергенція і мініатюризація продукції, інформатизація економіки, інформатизація матеріалів, інтелектуалізація (кібергізація) виробництва, колективізація споживання, циркуляризація ресурсовикористання (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Складові трансформацій процесів фазового переходу (ФП) до адитивної економіки (складено авторами)

Як бачимо, формування адитивної економіки – це складний суспільний процес, системними складовими якого виступають багато сфер соціально-економічної системи. Трансформаційні процеси формування основних із них показані на рис. 1.1. Кожен із цих трансформаційних процесів є біфуркаційною зміною, яка допускає багато можливих шляхів свого розвитку. Біфуркаційність зазначених змін обумовлює дискусійний характер їх інтерпретації та аналізу. Пам’ятаючи про це, спробуємо дати визначення зазначених процесів і звернути увагу на їх основні особливості.

В наукових працях сьогодні прогнозуються зміни, які чекають економічні системи у зв’язку з переходом до адитивної економіки (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Projected effects of additive economy development until 2025  
(складено авторами на основі: Schwab, 2017; Schwab et al., 2018; Skinner, 2018)

Технологія	Оцінка потенційного ефекту
3D-друк	<p>Це дозволяє заощадити від 35 до 60% експлуатаційних витрат на одиницю виробленої продукції та досягти дуже високого рівня налаштування (тобто виготовлення відповідно до індивідуальних вимог замовника).</p> <p>5% споживчих товарів надруковано на 3D-принтері.</p> <p>Перша трансплантація печінки, створена за допомогою технології 3D-друку</p>
Мобільний Інтернет	<p>Зниження на 10–20% витрат на лікування хронічних захворювань завдяки дистанційному моніторингу стану здоров'я</p>
Інтернет речей	<p>Це знизить експлуатаційні витрати до 36 трильйонів доларів США завдяки підвищенню ефективності переробки, охорони здоров'я та видобутку корисних копалин.</p> <p>1,2 – 3,7 трлн дол. США економічного ефекту.</p> <p>Економічний ефект 0,4 – 1,2 трлн доларів США за рахунок самообслуговування, розумного контакту виробника зі споживачем</p>
Блокчейн	<p>Завдяки блокчейну заощаджується 10% світового ВВП</p>
Шерінгова економіка	<p>Більше 50% від кількості поїздок каршерінгом</p>
“Хмара”	<p>Підвищення продуктивності на 15–20% за рахунок створення ІТ-інфраструктури, розробки необхідних додатків і програм.</p> <p>Економічний ефект від 1 до 6 трлн доларів на рік за рахунок використання хмарних технологій</p>
Просунута робототехніка	<p>Потенціал покращання життя 50 мільйонів людей з ампутованими кінцівками та людей з обмеженою рухливістю</p>
Енергозбереження	<p>Очікується, що від 40 до 100% автомобілів будуть електричними або гібридними</p>
Передові матеріали	<p>Впровадження інноваційних наномедичних препаратів відкриває перспективи значного прогресу в лікуванні онкологічних захворювань. За даними досліджень, застосування цих передових медичних технологій має потенціал ефективно лікувати до 20 мільйонів пацієнтів, у яких вперше діагностовано рак</p>
Відновлювані джерела енергії	<p>До 2025 року можна запобігти від 1 до 2 млн т викидів CO<sub>2</sub></p>

Увага експертів до еволюції соціально-економічних систем і прогнозних оцінок стану їх складових дає можливість скласти уяву про контури тих ключових змін, яке несе людству розвиток адитивної економіки.

Знайомство з майбутнім завжди передбачає погляд за горизонт – спробу передбачити явища життя, які ще не здатні розгледіти звичайні мешканці планети. Адитивна економіка – це реальність, яка очікує нас вже в недалекому майбутньому. Проведені дослідження дають можливість спрогнозувати ті явища суспільного життя, які поки що перебувають за горизонтом розвитку людства і відкриються нам вже завтра.

Немає сумніву, що формування адитивної економіки означає стрибок людства на новий якісний рівень його розвитку. Він обіцяє багаторазове підвищення ефективності суспільної праці, суттєву дематеріалізацію економічних процесів, вирішення значної частини екологічних проблем, формування передумов прогресивного особистісного розвитку людства.

Разом з тим, наївно припускати, що зазначені досягнення людства, як і будь-які складні явища, несуть з собою лише позитивні ефекти, які не затьмарені негативними наслідками. Системний аналіз лише тоді є цінним, якщо дає змогу прослідити нарівні з позитивними складовими ефектів будь-якого явища також його негативну сторону. Системний погляд на розвиток адитивної економіки представлений на рис. 1.2.

Аналіз потенційних впливів впровадження інноваційних технологій є критично важливим в аспекті стратегічного планування та розподілу ресурсів. Цей процес включає в себе оцінку відношення між інвестиціями в розробку та освоєння таких технологій та потенційними перевагами, які вони можуть принести. Важливо не тільки визначити прямі ефекти від використання проривних технологій, але й оцінити їх довготривалий вплив на економіку, соціальну сферу, екологію та інші ключові аспекти. Ефективне обґрунтування інвестицій у проривні проекти є вирішальним, особливо в контексті значних витрат, які пов'язані з розробкою та впровадженням таких технологій. Це

дозволяє максимізувати ефективність використання обмежених ресурсів та сприяє досягненню сталого розвитку в різних сферах.

Основні напрями реалізації позитивних ефектів показані нами вище. Узагальнюючи, можна сказати, що позитивні ефекти розвитку адитивної економіки зводяться до sustainization of технологій виробництва енергії та переробки матеріалів значної дематеріалізації економічних процесів, створення умов для прогресивного соціального (особистісного) розвитку людини. Значно менш наочні і важчі в прогнозуванні негативні ефекти. Сьогодні ми можемо мати уявлення лише про контури зазначених ефектів.



Рисунок 1.2 – Горизонти адитивної економіки (складено авторами)

*Вразливість інформаційних систем.* Збільшення інформаційної складності та кіборгізація технологічних систем дає можливість значно

підвищити ефективність їх функціонування. Разом з тим суттєво збільшується їх вразливість до технічних збоїв (аварії, відключення електроенергії, пошкодження комунікацій тощо) та несанкціонованих інформаційних впливів (комп'ютерні віруси, хакерські атаки). В разі виникнення наяву зазначені негативні ситуації можуть звести нанівець («обнулити») багато із можливих позитивних ефектів.

*Ризик втрати контролю за кіберсистемами.* Колосальна складність кіберсистем, які здійснюють управління технологічними процесами, залишають людині все менше можливості контролю за їх діяльністю. Зазначений ризик посилюється постійним збільшенням здатності кіберфізичних систем до самопроекування та самоорганізації.

Ще одним фактором, що може збільшити ризик, є зростання ролі «Хмари» в управлінні економічними процесами. Наразі зазначена інформаційна суперсистема діє в режимі глобальної пам'яті. Але вона дуже швидко еволюціонує в бік формування системи всепланетного метарозуму, здатного контролювати процеси існування цивілізації.

*Інформаційна залежність людини.* Постійна концентрація людини на сприйнятті інформації у поєднанні зі зниженням фізичної активності може викликати певні форми залежності, схожі з впливом наркотичних речовин. Наслідками можуть бути психічні проблеми зі здоров'ям людини та неадекватність її поведінки у суспільстві.

*Надмірне психологічне навантаження.* Інформаційний контроль за технологічними системами надвисокої складності вимагає величезного психологічного напруження людини, яке не кожен здатний витримувати. Ситуація ускладнюється тим, що подібні інформаційні навантаження генетично не закладені в людині, і їй доводиться засвоювати цифрові навички заново. Психологічне навантаження підсилюється прискоренням трансформаційних процесів і необхідністю постійно змінювати умови роботи.

*Зниження конфіденційності.* Зменшення рівня конфіденційності є однією з вагомих проблем, пов'язаних з розширенням використання цифрових

технологій. Ці технології підвищують ступінь прозорості індивіда перед суспільством, що має свої плюси і мінуси (Проривні, 2020). З одного боку, це може сприяти запобіганню незаконних дій завдяки підвищеній можливості моніторингу та виявлення порушень. З іншого боку, це створює ризики для особистої безпеки людей, зокрема в контексті негативного соціального впливу та інформаційних злочинів.

Захист особистих даних та приватності стає надзвичайно актуальним у світлі цих змін. Це вимагає розробки та впровадження ефективних правових норм і технологічних рішень, які б забезпечували баланс між потребами безпеки та правами людини на конфіденційність. Важливо також враховувати, що цифрові технології постійно розвиваються, тому підходи до забезпечення конфіденційності мають бути гнучкими і адаптивними до нових викликів.

*Збільшення соціальної уніфікації.* Мережевізація виробничої діяльності і соціального існування людини посилює роль різних стандартів в житті особистостей і колективів. Це збільшує ризик масової уніфікації і зменшення ступеня інклюзивності.

*Ризик зниження творчого потенціалу людини.* Звільнення людини від багатьох рутинних виробничих функцій означає необхідність переключення на розумову творчу діяльність, що є проблематичною для значної кількості людей. Виникає ризик поступової особистісної деградації людини.

## **1.2 Аналіз проблемних вузлів та успішних практик переходу до моделі адитивної економіки**

*Адитивізацією виробництва* слід вважати масовий перехід на застосування адитивних технологій (АТ) в процесах виробництва продукції (матеріальних виробів та енергії). АТ побудована на принципі адитивності, тобто використанні при виробництві продукції лише необхідних компонентів (енергії та речовини), які вилучаються з природи. Так, альтернативна



енергетика виробляє необхідну людям енергію, а 3D-принтинг – виготовляє матеріальні речі з мінімумом використання природних ресурсів. АТ є антиподом субтрактивної технології, яка заснована на відокремленні (субтракції) від вилучених з надр природних ресурсів зайвих компонентів. Так, традиційна енергетика вилучає з паливних ресурсів і спалює лише їх енергоємну компоненту (вуглець), залишаючи решту у вигляді відходів, а матеріальне виробництво вдається до багатоетапної переробки первинних ресурсів, використовуючи корисно лише незначну їх частину. Кінцевою метою зазначеного переходу є *адитивне виробництво*.

*Адитивне виробництво* (АВ), також відоме у світі як additive manufacturing (АМ), представляє собою перелік технологій, які дозволяють створювати тривимірні об'єкти безпосередньо з комп'ютерних тривимірних моделей шляхом послідовного нанесення матеріалу шар за шаром. Це може включати використання різних матеріалів, таких як пластик, метал, бетон, а у майбутньому можливо навіть людська тканина (Additive, 2021; What, 2016).

Технології АВ охоплюють широкий спектр застосувань, від прототипування до кінцевого виробництва. Серед основних переваг адитивного виробництва – здатність створювати складні геометричні форми, які були б важко або неможливо виготовити традиційними методами. Ця гнучкість у виробництві дозволяє оптимізувати дизайн продукції, скоротити відходи матеріалів та знизити загальні виробничі витрати.

АВ стає все більш важливим у різних галузях, включаючи авіацію, автомобілебудування, медицину та багато інших. У медичній галузі, наприклад, адитивне виробництво використовується для створення індивідуалізованих імплантатів та протезів. У майбутньому потенціал технологій АВ може розширитися до біопринтингу, що відкриває шлях до створення живих тканин та органів для трансплантації.

Адитивне виробництво інтегрує різноманітні технологічні методи, які базуються на принципі послідовного створення об'єктів шляхом послідовного

додавання матеріалу на основу або платформу, керуючись тривимірною комп'ютерною моделлю. Серед ключових методів АВ можна виділити:

- *селективне лазерне плавлення (SLM)*: цей метод використовує лазер для плавлення металевих порошків, створюючи тверді металеві предмети шар за шаром.

- *лазерна стереолітографія (SLA)*: технологія, яка використовує ультрафіолетовий лазер для затвердіння фоточутливих полімерів, формуючи об'єкти шар за шаром.

- *селективне лазерне спікання (SLS)*: схоже на SLM, але замість металевих порошків використовуються полімерні, що дозволяє виготовляти пластикові та металеві деталі.

- *електронно-променева плавка (EBM)*: технологія, яка використовує електронний промінь замість лазера для плавлення металевих порошків.

- *методи багатострумінєвого моделювання*: це техніки, які використовують декілька струменів (наприклад, чорнильні головки) для нанесення матеріалу.

- *ефекти ламінування*: технології, які створюють об'єкти шляхом послідовного склеювання шарів матеріалу.

- *комп'ютерна осьова літографія*: метод, що використовує осьове світло для виробництва деталей з високою точністю (Проривні, 2020).

Ці технології відкривають нові можливості для виробництва, дозволяючи створювати складні геометричні конструкції, знижувати витрати та час на виготовлення деталей, а також сприяючи розвитку індивідуалізованих та точних виробів.

Адитивне виробництво знайшло своє застосування в різних сферах економіки, оскільки воно пропонує значні переваги у порівнянні з традиційними виробничими процесами. Основні сфери, де використовуються технології АВ, включають:

- *будівництво*: АВ може використовуватись для швидкого створення будівельних конструкцій, включаючи складні архітектурні форми.
- *агровиробництво*: використання для створення спеціалізованого обладнання та компонентів.
- *машинобудування та суднобудування*: дозволяє виготовляти складні компоненти з високою точністю.
- *авіабудування та космонавтика*: використання для виготовлення легких і міцних компонентів, які витримують високі навантаження.
- *медицину та фармакологію*: виробництво індивідуалізованих імплантів, протезів та навіть потенційно вирощування тканин та органів.

Однією з ключових переваг АВ є економія на сировині, оскільки технологія дозволяє використовувати матеріал лише там, де це необхідно, знижуючи відходи (Проривні, 2020). Також знижуються витрати на підготовку виробничих процесів, включаючи витрати праці, енергії та матеріалів (рис. 1.3).

Процес виготовлення управляється комп'ютером з використанням 3D-принтерів, що значно спрощує виробництво та зменшує витрати. Це також дозволяє швидко вносити зміни в дизайн продукції та адаптувати виробництво під потреби диверсифікації продукції.

Адитивне виробництво (АВ) відкриває широкі можливості у сфері конструювання та виробництва, пропонуючи такі переваги як *необмежені можливості* конструювання, *безкоштовність* складності та варіативності дизайну, мінімальну *відходність* матеріалів, здатність до *індивідуалізації продукції* без значного збільшення вартості, можливість внесення змін до продукції навіть у *останній момент*. Ключовим аспектом АВ є те, що воно дозволяє виключити етап *збирання*, оскільки об'єкти створюються в один процес. Ця технологія також пропонує пряму *матеріалізацію* інформаційних образів, які можуть бути задані навіть голосом, а в перспективі – і думкою, відкриваючи нові горизонти у виробничому дизайні (Мельник, 2018).

## Субтрактивне виробництво



## Адитивне виробництво

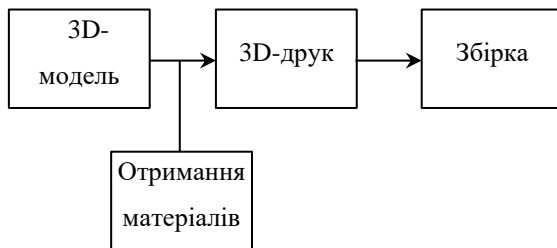


Рисунок 1.3 – Порівняльна схема реалізації субтрактивного і адитивного виробництва (складено авторами)

У сучасній промисловості використовуються такі основні процеси пошарового створення 3D-об'єктів:

- 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) (UV mapping, 2019);
- екструзія (E.) (extrusion) – матеріал під час E. видавлюється через екструзійну головку або філ'єру (спеціальний отвір);
- струменеве напилення (spray spraying) – нанесення порошка 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. 1.2).

Таблиця 1.2 – Характеристика основних класів 3D-принтерів

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 (EU Market, 2021).

У 2021 році французька компанія Sculpteo провела аналіз світового 3D-принтингу. Було опитано понад 1900 користувачів 3D-принтерів з 86 країн (Gaget, 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 рис. 1.4 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).



Рисунок 1.4 – Найбільш перспективні види робіт, де може застосовуватися 3D-принтинг

Прогнозується до 2025 року значне збільшення частки операцій, що виконуються за допомогою 3D-принтерів в різних галузях (рис. 2.3).

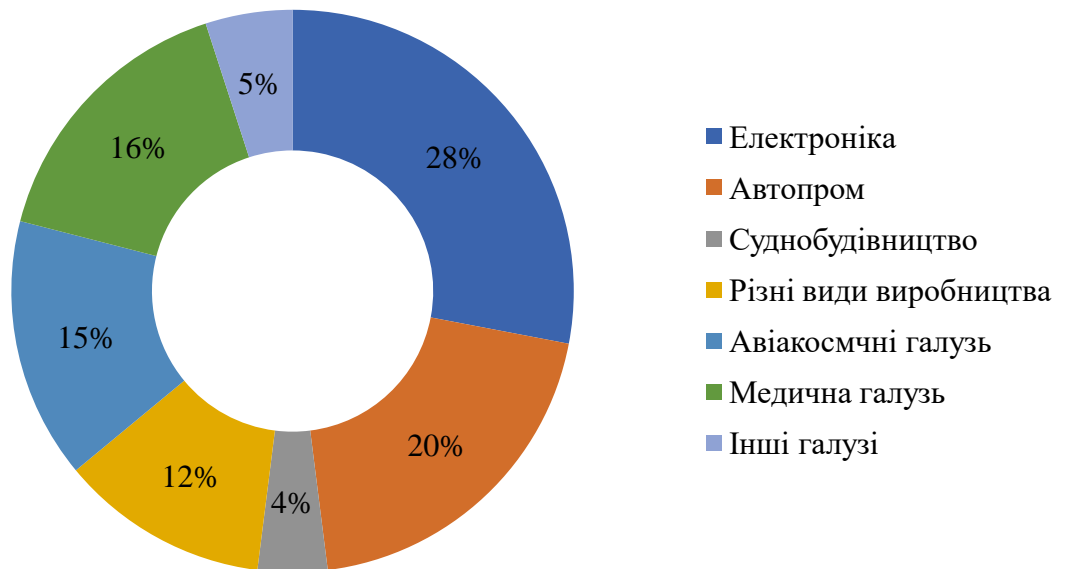


Рисунок 1.5 – Прогнозний рівень впровадження 3D-принтерів в різних галузях до 2025 року

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.

**Конвергенція та мініатюризація.** Концепція конвергенції та мініатюризації в сучасному виробництві, бізнесі та споживанні відіграє ключову роль, оскільки вона означає інтеграцію різноманітних функцій і властивостей у єдиний об'єкт або пристрій. Термін «*конвергенція*» походить від латинського “convergere”, що в перекладі означає «збігатися» або «зводити воедино». Це означає, що в одному пристрої об'єднуються можливості, які раніше були доступні лише в кількох окремих пристроях, забезпечуючи багатофункціональність та зручність використання (Convergence, 2021; Kranz et al., 2021; Проривні, 2020).

Така тенденція спостерігається у багатьох галузях, особливо у технологічній сфері, де конвергенція технологій, за визначенням (Kranz et al., 2021), передбачає об'єднання окремих технологічних рішень в єдиний пристрій. Це не тільки збільшує функціональність пристроїв, але й сприяє їхній мініатюризації, оскільки сучасні технології дозволяють розміщувати все більше функцій у все менших пристроях. Відмінним прикладом такої конвергенції є сучасний мобільний телефон, який об'єднує в собі функції комп'ютера, телефону, фотоапарата, відеокамери, ліхтарика, записної книжки, годинника-будильника, календаря та багатьох інших пристроїв (Проривні, 2020).

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 (Мельник, 2018).

**Мініатюризацією** (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; мініатюризація 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/см<sup>3</sup>), на основі напівпровідникових елементів – 2,5 ел/см<sup>3</sup>, на основі мікромодулів – понад 10 ел/см<sup>3</sup>, на основі інтегральних схем – тисячі і.с./см<sup>3</sup>. В останньому випадку мова вже йде про щільність навіть не елементів, а цілих інтегральних схем.

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.

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 отримує 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.

**Смартизація матеріалів.** *Смартизація 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.

Смартизація матеріалів стає ключовим фактором у зниженні ресурсомісткості економічної системи. Цей процес дозволяє значно зменшити енергоємність та матеріаломісткість на трьох основних стадіях виробництва: при добуванні вихідних ресурсів, виготовленні матеріалів, а також їхньому використанні в технічних системах (Підприємництво, 2018).

Одним із вражаючих прикладів смартизації є впровадження волоконно-оптичного зв'язку. Використання кварцових, скляних або полімерних волокон забезпечило зростання швидкості передачі даних більш ніж на п'ять порядків. Один світловод може ефективно замінити кабель, який містить сотні металевих дротів. Наприклад, світловод діаметром приблизно 1,5 см може замінити телефонний кабель діаметром 7,5 см, що містить 900 пар мідних дротів. Крім вищої швидкості передачі даних, світловоди мають і інші значні

переваги, такі як зменшення загального витрату матеріалів та енергії на виробництво та експлуатацію.

Нові матеріали, які використовуються в сучасних технологіях, не лише мають значно вищі функціональні властивості, але й дозволяють замінити ряд дорогих та ресурсомістких матеріалів, що традиційно використовувались у виробництві. Важливо, що ці нові матеріали також значно знижують ресурсомісткість функцій, які вони виконують, часто на декілька порядків (Мельник, 2018).

Одним із прикладів цього є використання волоконних світлодіодів у каналах зв'язку. Теплоприток при передачі сигналів через такі світлодіоди приблизно у 100 разів менший, ніж при передачі сигналів по кабелях із нікелю. Це не тільки покращує ефективність передачі даних, але й значно знижує енерговитрати.

Крім того, використання нових матеріалів призводить до загального зниження ресурсозбереження. Це означає, що не тільки готові вироби стають менш ресурсомісткими, але й сам процес їх виробництва потребує менше матеріалів та енергії, ніж традиційні матеріали, які вони замінюють (Мельник, 2018). Таким чином, інновації в матеріалознавстві сприяють сталому розвитку, зменшуючи вплив виробництва на довкілля та економлячи ресурси.

Смартизація матеріалів відкриває шлях до провадження 4D-принтингу, який побудований на здатності матеріалів змінювати свої властивості (наприклад, форму) після закінчення технологічної операції на 3-D принтері. Умовно можна говорити, що у цьому випадку з'являється четвертий вимір, яким є час, упродовж якого продукція набуває своєї остаточної форми та інших властивостей. «Розумні» матеріали здатні «вмикати» свою «пам'ять» в будь-які моменти часу, навіть через значні інтервали часу після свого друку. Факторами, що «вмикають» «пам'ять» матеріалів можуть бути різні параметри стану навколишнього середовища, на які здатні реагувати матеріали, як це показано на рис. 1.6.

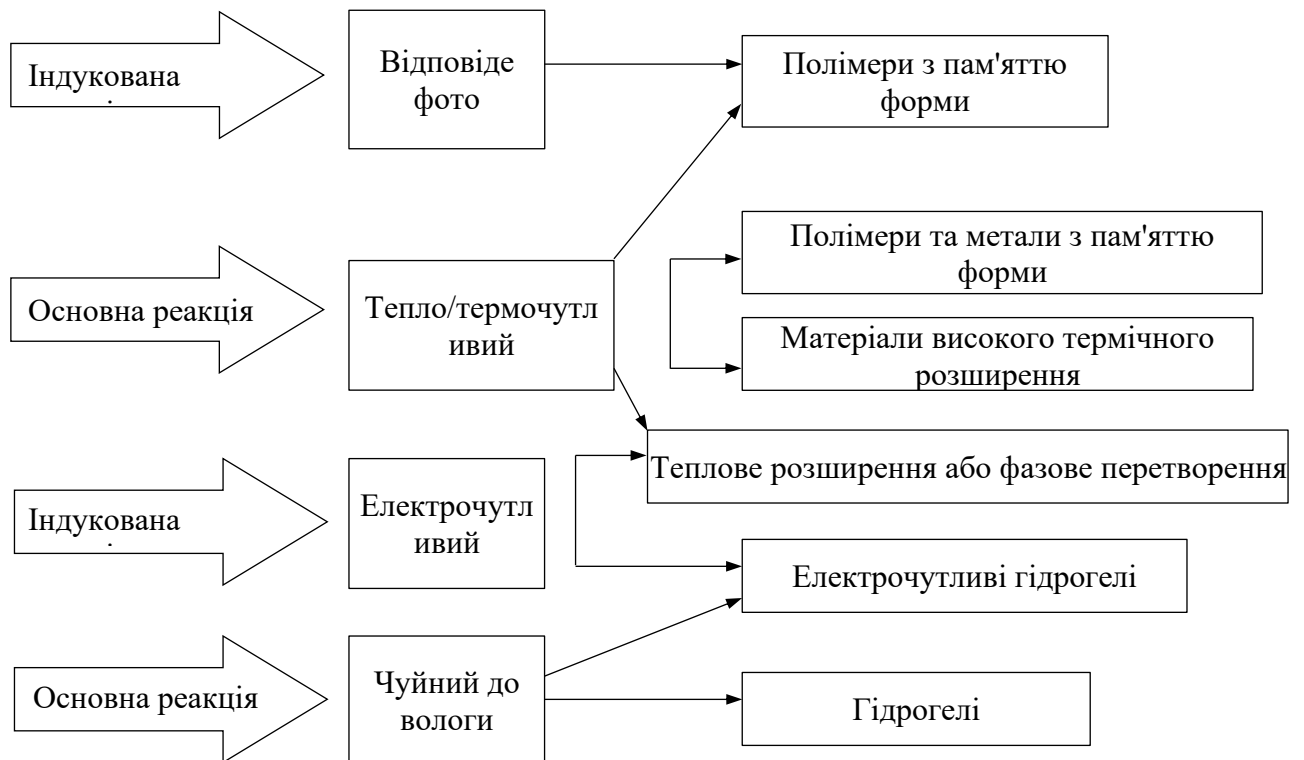


Рисунок 1.6 – Різні реакції «smart» матеріалів на дію відповідних збудників (Reddy, 2021)

4Д-принтинг може використовуватися (і він вже починає застосовуватися) в багатьох сферах економіки, зокрема: космічній галузі, автомобілебудуванні, на транспорті, в комунальному господарстві, у випадках надзвичайних ситуацій, в авіабудуванні, медицині, роботобудуванні, електроніці, мистецтві.

**Циркуляризація ресурсокористування.** *Циркуляризація ресурсокористування (ЦР)* – це перехід на 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 (cycle 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, наголошує на значущості екологічних аспектів технічного прогресу, особливо в контексті циркулярної економіки. Він вказує на те, що у майбутньому кожен продукт матиме спеціальну мітку, яка відображатиме детальну інформацію про його джерело, технологію виробництва, вид використаної енергії та інші важливі параметри.

Ця інформація, отримана на основі даних, відкриває широкі можливості для підприємств, міст та країн у плані ефективного відновлення та переробки ресурсів. Такий підхід може сприяти створенню більш сталого та екологічно відповідального виробничого ланцюга, знижуючи вплив на довкілля та оптимізуючи використання ресурсів (Dedicoat, 2016; Мельник, 2018). Це підкреслює значення інтеграції нових технологій та екологічних стратегій у сучасній економіці.

**Інформатизація економіки.** *Інформатизація економіки* є процесом, який характеризується поступовим заміщенням матеріальної частини активів у виробництві та споживанні інформаційною складовою. Це означає, що вартість та ефективність товарів і послуг все більше визначаються не стільки фізичними ресурсами, скільки обсягом, якістю та доступністю інформації, що їх супроводжує.

У рамках цього процесу відбувається значна трансформація економічних відносин: цифрові технології та інформаційні системи стають ключовими елементами в управлінні, логістиці, маркетингу, продажах,

обслуговуванні клієнтів та інших сферах бізнесу. Це веде до створення нових бізнес-моделей, заснованих на обробці даних, аналітиці та автоматизації процесів.

Інформатизація також змінює підхід до виробництва, де цифрові технології дозволяють підвищити продуктивність, оптимізувати витрати та забезпечити більшу гнучкість у відповіді на змінювані потреби ринку. Це включає такі аспекти, як цифрове моделювання, автоматизація та інтеграція різних етапів виробничого ланцюга.

Загалом, інформатизація економіки відкриває широкі можливості для підвищення ефективності та інноваційності, а також стає важливим фактором у глобальній конкуренції та сталому розвитку.

Все більше інформатизуються споживчі товари. В багатьох сучасних товарах та послугах матеріальна їхня складова виконує роль лише носія інформації (рис. 1.7).

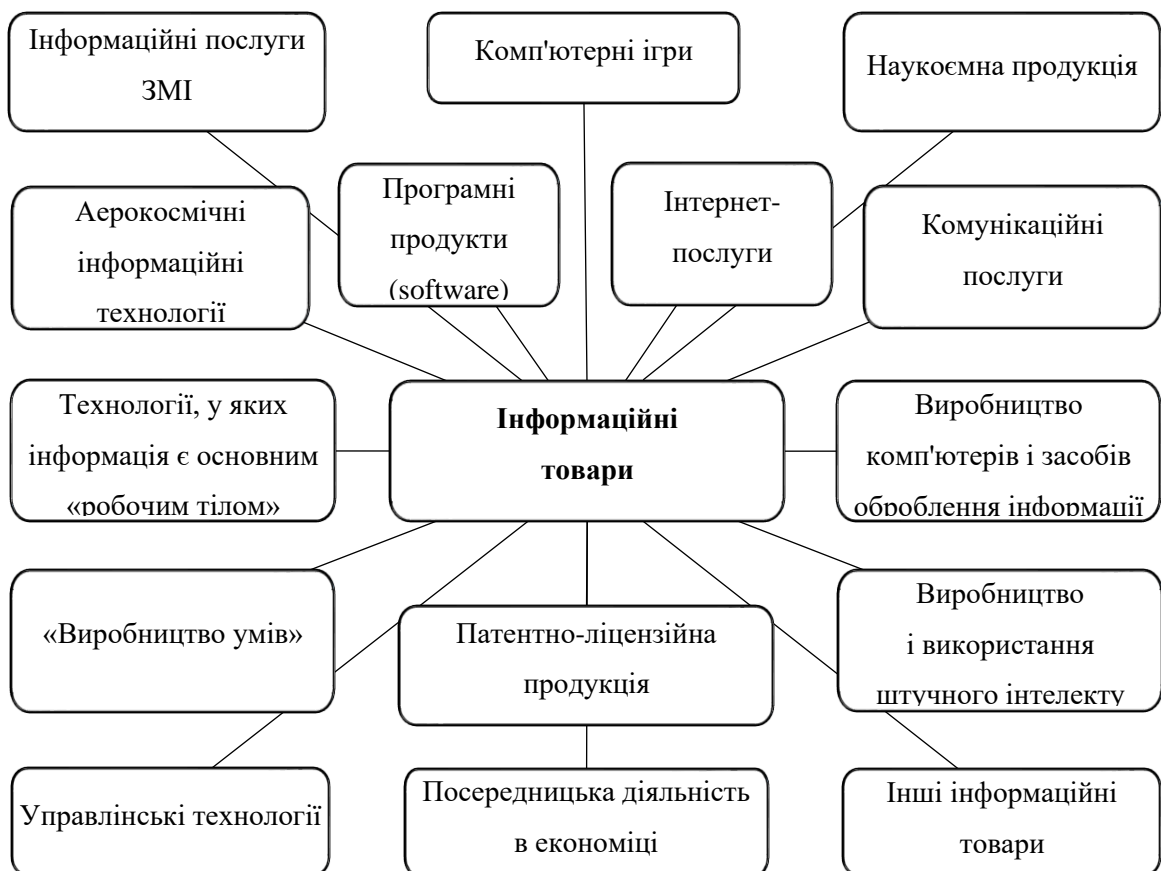


Рисунок 1.7 – Деякі види сучасних інформаційних товарів (складено авторами)

Найбільш значна трансформація обіцяє відбутися в самій людині.

У тріаді «біо-праце-соціо» особистісна сутність людини, або «соціо» відіграє провідну роль. Це означає, що саме особистісні характеристики та властивості людини визначають розвиток виробничого середовища та формування контурів суспільства в цілому. Особистісність людини включає її цінності, вірування, мотивацію, навички та інші аспекти, які впливають на її вибори та дії. Ця концепція підкреслює важливість індивідуальних рішень та взаємодії особистості з соціальним та виробничим середовищем. Особистісність визначає, як людина взаємодіє з іншими, які ресурси вона використовує та як вона сприймає і впливає на оточуючий світ. Отже, в контексті «біо-праце-соціо» особистісна сутність виступає як ключовий фактор, що визначає розвиток та трансформацію виробничого та соціального середовища.

**Інтелектуалізація (кібергізація) виробництва.** *Інтелектуалізація виробництва* – це процес наділення виробничих систем здатністю самовідтворення (реплікації), самонавчання і самоудосконалення. Основою інтелектуалізації виробництва є застосування штучного інтелекту і кіберфізичних систем. Тому цей трансформаційний перехід можна ще назвати кібергізацією.

Університет Бату в Британії став свідком історичної події 29 травня 2008 року, коли вперше робот був здатний виробляти деталі для своєї власної реплікації, створюючи точну копію самого себе. Ця подія відкрила шлях до створення машин, які могли бути здатні виготовляти свої власні «нащадки».

Процес створення копії здійснювався за допомогою методу 3D-друку, який включав в себе послідовне нанесення тонких шарів розплавленого полімеру. Робот під назвою RepRap (Replicating Rapid-prototyper) був спеціально оптимізований так, щоб його власні частини могли бути надруковані ним самим (Проривні, 2020).

Google здійснила ще вищий клас у забезпеченні самовідтворення створених людиною сутностей, навчивши своє програмне забезпечення

створювати більш досконалі версії програмного забезпечення самостійно (Пальчинская, 2017). Це досягнення є значним кроком у розвитку штучного інтелекту. По-перше, навчання штучних інтелектів вирішувати завдання, що вимагають інтелектуальних здібностей, є важчим завданням, ніж програмування їх для виконання механічних операцій. По-друге, програма, розроблена Google, може самовдосконалюватися і навчатися сама, що означає наявність навичок самонавчання. Ці досягнення мають велике прикладне значення для автоматизації завдань, що потребують когнітивної праці, таких як розробка програмного забезпечення, архітектурне проектування, сфера охорони здоров'я та інженерні роботи.

Сучасний розвиток так званих когнітивних технологій є органічним продовженням цих досліджень. Вони базуються на програмах, які мають можливість самостійного написання та самовдосконалення (Мельник, 2018).

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

В країнах ЄС був запущений проект “Завод за один день” (Factory-in-a-day). Сьогодні все більше підприємств, що займаються виробництвом роботів та 3D-принтерів, продають гнучкі заводи (із програмним забезпеченням) для малих і середніх підприємств, які можуть бути розгорнуті протягом 24 годин. Ці заводи продаються, як смартфони або планшети (EU Project, 2017; Factory-in-a-day, 2013).

У 2021 році в світі використовувалося приблизно 3 мільйони роботів. Очікується, що до 2024 року ця кількість зросте до 500 000 одиниць, які будуть встановлені протягом року. Розподіл роботів за провідними галузями виглядає наступним чином: автомобілебудування - 33%, електротехнічна і електронна промисловість - 10%, хімічна промисловість - 9,5%. Використання роботів за різними видами виробничих завдань складається так: обробка матеріалів -

35%, зварювання - 29%, збирання - 13%, дозування - 4% (Robot, 2021; Мельник, 2018).

На основі досліджень Массачусетського технологічного інституту (Бостон, США) (Gershenfeld, 2017) розроблено технологію, відому як MIT Fab Lab. Ця технологія дозволяє заводам саморозширюватися та доповнювати їх функціонал за допомогою наявного обладнання.

### **1.3 Інституційна соціологізація трансформаційних рішень та активізація потенціалу самоорганізації населення та бізнес-структур «адитивної» цифрової економіки**

Поняття людський капітал отримало широке поширення в економічній науці в другій половині XX століття. Проте воно цілком гармонійно входило в ті визначення капіталу, які давали класики економічної теорії: А. Сміт (Смит, 1993), К. Маркс (Маркс, 1983), А. Маршалл (Маршалл, 1993), Ж.-Б. Сей (Сэй, 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, 1994); Т. Шульца (Schultz, 1961); Дж. Мінцера (Mincer, 1958); Л. Туроуа (Thurow, 1970). Основна увага в зазначених працях приділялася питанням інвестування в людський капітал.

В XXI 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 в фазовий перехід до нової соціально-економічної формації, яку умовно можна назвати «цифровою економікою», все актуальнішими стають питання наповнення змістом структурних та



якісних трансформацій людського капіталу в ході промислових революцій (Industries 3.0, 4.0, 5.0), які все більше починають визначати контури економічних систем.

**Фундаментальні основи формування капіталу.** Людина завжди була ключовим фактором функціонування і розвитку суспільних, а з періоду формування перших агроценозів і біосферних систем. Провідна роль людини обумовлена такими 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. 1.8).

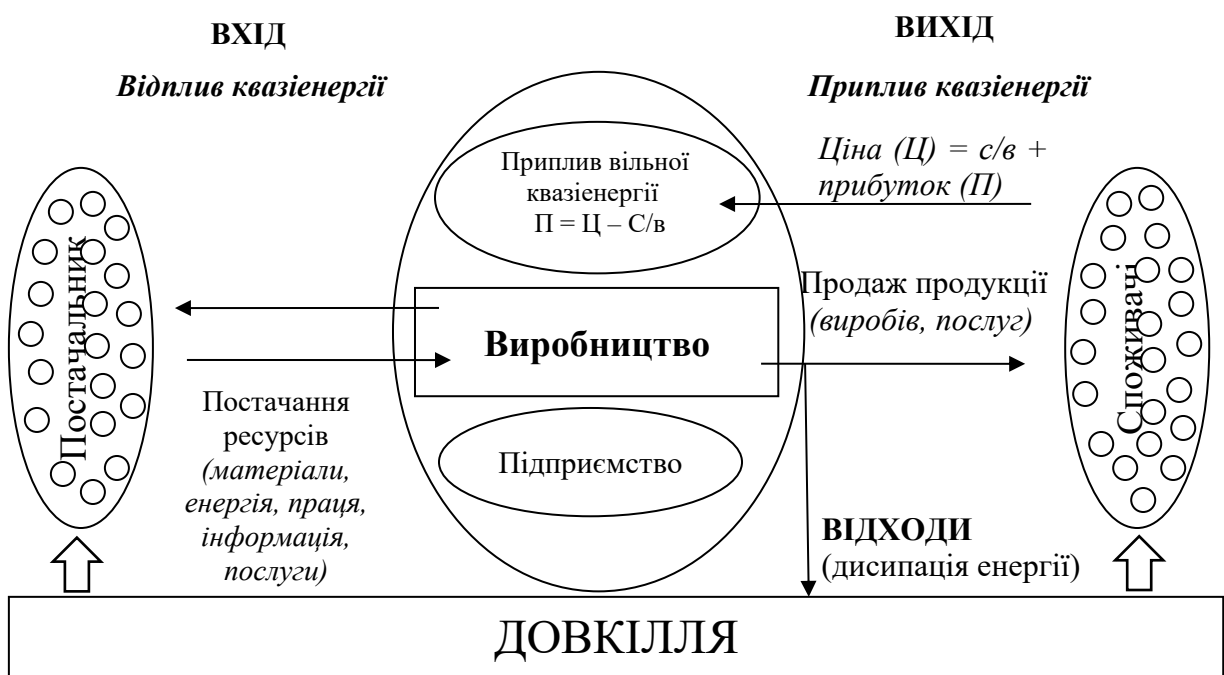


Рисунок 1.8 – Спрощена схема відтворювального економічного циклу

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; Райзберг, 2010; Экономическая, 1999) чи виробничі фактори (Сэй, 2000; Кларк, 2000; Словарь, 2003).

З фізичної точки зору, будь-яка економічна система є відкритою стаціонарною системою, яка здійснює матеріально-інформаційний метаболізм, підтримуючи стан свого гомеостазу. 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 із 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 і 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. 1.9. Цілком обґрунтовано, як бачимо, що капітал називається *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).

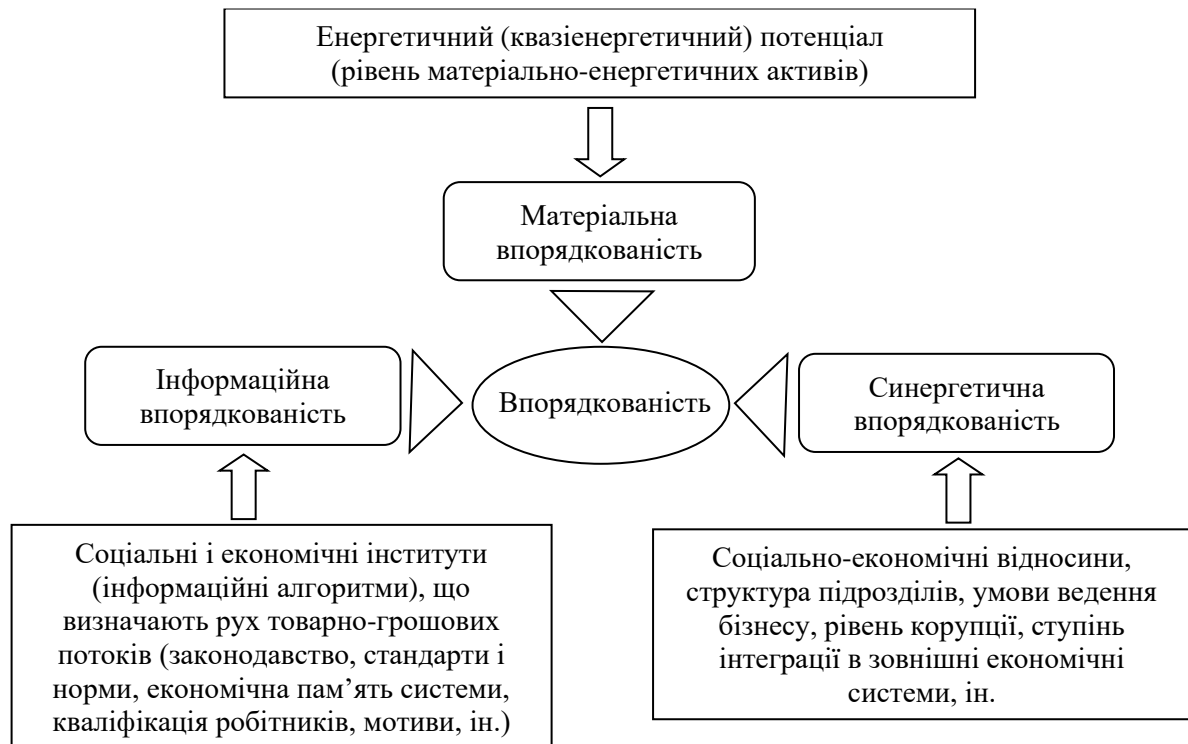


Рисунок 1.9 – Схема відтворення умов впорядкованості функціонування та розвитку економічних систем

Кожна з наведених на рис. 1.9 груп факторів по-своєму важлива для функціонування і розвитку економічних систем. Можна навіть сказати, що ці групи факторів, на зразок Іпостасей християнської Трійці, рівні у різному. Зокрема, зруйнувати будь-яку природну чи соціальну систему можна негативно впливаючи на кожну 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 екосистеми 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 докладання 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 виражається лише умова забезпечення засіб відтворення і розвитку капіталу (зокрема, за рахунок, самоокупності). Доходність же капіталу не завжди і 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 й 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. Боулдинг в статті «Від ковбойської економіки до економіки космонавтів» (Boulding, 1966).

**Людський капітал як рушійна сила економічної системи.** 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 розумінні 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 і 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 ініціювання економічного процесу, а потім на корегування необхідних відтворювальних процесів. Інвестування здійснюється через освіту і 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).

*Вище за рівнем адміністрування та інститути*; здійснюється керівними державними та місцевими органами, що забезпечують інституціональні умови, в яких господарюють економічні суб'єкти.

Відтворюється 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 природних ресурсів та компонентів природного середовища. Джерелами інвестування є кошти і діяльність держбюджета, економічних суб'єктів, приватних осіб, різних фондів і платежів.

Ще раз підкреслимо, що напрями і 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 – самозростаюча вартість). При цьому Маркс сформулював необхідну умову такого самозростання. Засіб праці може проявити подібні властивості (принести власнику вартості більше, ніж його власна) 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.

**Людина є ключовим фактором в будь-якій економічній системі і виконує різні ключові функції в цій системі:**

- *комунікатор:* людина визначає реалізацію відносин в суспільстві. Вона взаємодіє з іншими учасниками економічної системи, сприяючи обміну інформацією, ідеями та ресурсами;

- *виробник*: людина бере участь у виробництві всього, що було розроблено. Вона реалізує проекти і перетворює їх у конкретні продукти та послуги;

- *проектувальник*: людина виступає як проектувальник засобів виробництва, конструкційних матеріалів, технологій, систем енергозабезпечення, споживчих благ, середовища проживання, комунікацій та інших аспектів економічної системи. Вона визначає якість і ефективність цих елементів;

- *організатор*: людина відіграє роль організатора, координуючи процеси проектування, виробництва та споживання продукції. Вона забезпечує ефективну роботу економічної системи;

- *споживач*: людина виступає в якості споживача матеріальних і інформаційних благ. Вона визначає попит на продукцію та послуги, впливаючи на економічні процеси (Мельник, 2018).

Розуміння сутності людини і її впливу на розвиток економічних систем є ключовим для аналізу та розвитку сучасних суспільств. Зазначені сутнісні начала “біо”, “соціо” і “праце” дійсно визначають контури людського капіталу і мають велике значення для розуміння її ролі в економічних системах. “Біо” (біологічне начало): Це матеріальна складова людини, її фізіологічні процеси та метаболізм. “Біо” визначає базові потреби людини, такі як харчування, вода, житло та інші фізіологічні потреби. Розвиток та задоволення цих потреб впливають на економічну активність та споживчу поведінку людини. “Соціо” (соціальне начало): Це нематеріальна складова, яка охоплює соціальні, культурні і інформаційні аспекти особистості. “Соціо” визначає соціальні ролі, цінності, уявлення про світ і міжособистісні відносини. Важливою частиною “соціо” є особистісна ідентичність та участь в суспільних процесах, що включає соціальну інтеракцію і комунікацію. “Праце” (трудова складова): Ця складова базується на інтеграції фізичних і інтелектуальних здібностей людини. “Праце” визначає здатність людини до виконання роботи, розвитку навичок і професійний розвиток. Це також включає в себе аспекти

ефективності, продуктивності і креативності в роботі. Різниця між цими сутнісними початками обумовлює різні групи потреб і цінностей, що визначаються людьми. Це важливо для розуміння та аналізу споживчого попиту, ринкових динамік і розвитку технологій. Розглядаючи ці аспекти, можна досягти більшого розуміння того, як люди взаємодіють з економічною системою та впливають на неї.

Екологічний фактор життєзабезпечення людини можна визначити як комплекс умов зовнішнього середовища та внутрішніх біологічних характеристик людини, що сприяють її стабільному існуванню як біологічного виду. Це включає забезпечення гармонії між фізіологічними процесами людського організму та навколишнім природним середовищем, яке виконує ключові підтримуючі функції. З часом людство розвинуло здатність до створення штучних умов для власного існування, адаптуючи ці умови до своїх потреб. Це призвело до формування техногенного середовища, орієнтованого на економічну діяльність, в якому людина існує, споживаючи продукцію, модифіковану техногенними процесами, включаючи харчування, питну воду та різноманітні товари та послуги (Мельник, 2018).

З погляду біології, людина залишається мало зміненою в порівнянні зі своїми предками, і межі її життєстійкості все ще визначаються вузькими параметрами природного середовища, які відповідають гомеостазу людського організму. Для детального аналізу факторів, що впливають на відтворення людського капіталу, необхідно враховувати потреби цих трьох основних аспектів людської існування.

**Потреби людини «біо».** Фізіологічні потреби людини як біологічної сутності можна класифікувати в кілька основних категорій, що складають «біосферу» людського існування. Ці категорії включають необхідний простір для життєдіяльності; фізико-хімічні та біологічні параметри середовища, що також враховують вплив космічних факторів; якість та доступність повітря для дихання; наявність і якість ресурсів харчування та питної води; умови для



підтримання рухової активності; а також доступ до інформації, яка охоплює спектр емоційних взаємодій, від позитивних до негативних.

**Потреби людини особистісної.** В контексті формування основ інформаційного суспільства, до якого поступово рухається людство, важливим стає глибоке розуміння природи інформаційної людини, або людини особистісної. У майбутньому інформаційному суспільстві ключову роль відіграватиме особистісна сутність людини, яка в контексті економічної системи стане головним агентом – одночасно конструктором, виробником та споживачем товарів і послуг. Особливість цього періоду полягає в домінуванні інформаційних аспектів, оскільки в інформаційному суспільстві товари та послуги будуть мати переважно інформаційний характер.

У першому наближенні особистісні потреби людини, які визначають її як соціальну істоту (“соціо”), можуть бути класифіковані наступним чином:

- *забезпечення психологічного та соціального благополуччя*, включаючи духовне здоров'я. Це охоплює розвиток позитивних емоційних станів, таких як оптимізм, стабільність, радість життя, а також усвідомлення власної соціальної значущості.

- *можливість інформаційного пізнання світу*, що включає реалізацію природних інстинктів пізнання.

- *можливість художнього та естетичного розвитку*, яка виявляється у розвитку творчих здібностей, задоволенні естетичних потреб, та формуванні почуття краси і гармонії.

- *імпульс творчості* як джерело натхнення для особистісного зростання.

- *умови для морального виховання та самовдосконалення*, що формують співвідношення між індивідуальними та колективними потребами, включаючи такі якості, як почуття патріотизму, здатність до самопожертви та самообмеження, відчуття обов'язку, а також здатність до співчуття.

**Потреби людини «праце».** У рамках економічної системи людина виконує дві ключові ролі: *виробника і споживача*. Як споживач, людина є

втіленням інтегрованих потреб трьох основних підсистем – «біо», «праце» та «соціо», які існують у її структурі. Потреби людини є фундаментальним елементом економічної системи, і їх постійне відтворення є необхідним для забезпечення неперервності економічних процесів.

Потреби людини у контексті її ролі як виробника можна поділити на три основні групи:

- потреби в ресурсах, що включають матеріальні, енергетичні та утилізаційні ресурси, обмежені наявністю адекватних асиміляційних «контейнерів» для відходів;
- умови для відтворення фізіологічних характеристик людини як трудового ресурсу;
- умови для розвитку та підтримки особистісних якостей людини, необхідних для її ефективної праці.

Як можна побачити, друга та третя групи факторів прямо пов'язані з потребами людини у вимірах «біо» та «соціо». Це дає підстави для інтеграції фізіологічних та особистісних потреб у економічний аналіз.

**Порівняльний аналіз потреб різних сутнісних начал людини.** Проведення порівняльного аналізу потреб, які відповідають різним сутнісним аспектам людини, зокрема «біо», «праце», та «соціо», підкреслює умовний характер такого розділення. Оскільки ці аспекти коєкзистують в одній особі, часто виявляється складним точно розрізнити специфічні особливості кожного з них. Незважаючи на це, таке розподілення сприяє більш глибокому розумінню комплексних людських потреб та їх впливу на різні аспекти життя індивіда. В рамках цього аналізу важливо враховувати, що хоча ці сутності й існують в одному фізичному тілі, кожна з них має свої унікальні характеристики та вимоги, які важливі для всебічного розвитку особистості (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Компаративний аналіз прагнень поведінкових орієнтацій  
«людини-виробника» і «людини-соціо»

Людина “праце”	Людина “соціо”
До дискретності	До цілісності
До спрощення	До ускладнення
До корисності окремих підсистем природи	До цінності цілісних екосистем
До кінцевого	До нескінченного (в кінцевому)
До однозначності	До багатозначності
До спеціалізації	До універсальності
До стандартизації (уніфікації)	До оригінальності (неповторності)
До однофункціональності	До багатфункціональності
До аналізу	До синтезу

Людська воля та інтелект спрямовані на досягнення конвергенції цілей, притаманних різним аспектам сутнісної тріади – «біо», «праце» та «соціо». Гармонія цих начал у людській індивідуальності породжує стан душевного комфорту. Такий голістичний аналіз є критично важливим для розуміння місця та функцій людини в економічному контексті. У цій системі людина може одночасно виконувати ролі конструктора, виробника та споживача, які є взаємопов'язаними та взаємозалежними, що в свою чергу підкреслює її багатогранність у економічних процесах.

**Трансформація людського капіталу при переході до адитивної (цифрової) економіки.** Трансформація людського капіталу в контексті переходу до адитивної (цифрової) економіки супроводжується трансформацією інформаційних потреб індивіда, які втілюють «соціо» вимір людської діяльності. Ці потреби визначають переосмислення системи цінностей і формують особливе соціальне замовлення, мета якого полягає у задоволенні вимог, що сприяють розвитку особистісних якостей. У процесі цієї еволюції, фундаментальні фізіологічні потреби «біо» доповнюються і нерідко витісняються інтересами, характерними для 'праце' виміру, такими як матеріальний достаток та професійний прогрес. Однак, в інформаційній епосі на передній план виходять «соціо» потреби: фізичне вдосконалення, інтелектуальний розвиток, реалізація творчого потенціалу, накопичення

знань, а також відпочинок і культурне збагачення.

*Людина-споживач* у контексті цифрової економіки кардинально відрізняється від свого історичного попередника. Значуща зміна полягає в переорієнтації з прагнення до матеріальних благ на самореалізацію через задоволення особистісних потреб, які набувають статусу самоцілі. Матеріальні блага втрачають свою первинну важливість, перетворюючись на інструмент для досягнення інформаційного збагачення. Це процес можна ілюструвати на прикладі автомобіля, який вже не виступає лише як транспортний засіб для вирішення господарських завдань, але стає засобом для отримання відпочинку та духовного відновлення, символізуючи ширший тренд переосмислення цінностей у суспільстві, яке все більше залежить від інформаційних ресурсів.

У сучасній виробничій парадигмі спостерігається істотний зсув ролі *людини-виробника*: з традиційного впливу на фізичні характеристики об'єктів праці до акценту на маніпуляції з інформацією. Ця тенденція відображає зменшення безпосередньої участі людської праці в зміні форми, розміру та властивостей матеріальних об'єктів, замість цього посилюючи роль людського фактора у створенні інформаційних матриць для управління виробничими процесами. Автоматизація перебирає на себе задачі трансформації матеріальної субстанції, тоді як людина все більше займається розробкою алгоритмів для оптимізації взаємодії та координації матеріальних та інформаційних ресурсів у просторі та часі, що є вирішальним для ефективності сучасного виробництва.

Функція *людини-конструктора* полягає у створенні концепцій середовища проживання та роботи, а також розробці продуктів для споживання. В межах цієї ролі прогнозуються два основних напрями трансформації:

- у сфері споживання: зміщення акценту від дизайну індивідуальних товарів та послуг до створення інтегрованих систем, що сприяють благополучному існуванню «людини-біо», максимальному розвитку

«людини-соціо» та творчій самореалізації «людини-праце».

- у сфері виробництва: переорієнтація з виробництва об'єктів, що є чужими природним умовам за складом чи властивостями, та виробничих процесів з розривними циклами, на розробку екологічно сумісних предметів праці з замкнутими циклами виробництва та використання.

Очерчені напрямки змін є лише фрагментарним відображенням комплексного феномену, відомого як перехід до цифрової економіки, і служать для ілюстрації лише деяких його аспектів. Революційні перетворення, що відбуваються в рамках Третьої, Четвертої та П'ятої промислових революцій, здійснюють глибокий вплив на всі виміри людської цивілізації, включаючи зміни в засобах виробництва, економічних структурах, способах життя, базових потребах і заняттях, а також інших численних аспектах повсякденності (Мельник, 2020). Видатні дослідники та аналітики (Агамірзян, 2013; Rifkin, 2013; Rifkin, 2015; Schwab et al., 2018; Shahan, 2017; Rossi, 2018) детально розглядають різні сторони цих трансформацій, які відбуваються у світовій економіці та суспільстві.

Ведучи мову про перехід до нової соціально-економічної формації (вона по-різному називається у різних джерелах: цифровою, адитивною, сестейною, «зеленою» та ін. – залежно від ключової ознаки, положеної в основу аналізу), 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 людському капіталу, який забезпечує не тільки функціонування екологічних систем, але й їх модифікацію в ході зазначених промислових революцій.

Слід відзначити тісний взаємозв'язок виникнення і реалізації промислових революцій, їх логічну послідовність і причинно-наслідкові зв'язки.

Підвищення рівня освіти та наукового розуміння серед населення сприяло визнанню Природи як складної системи, що характеризується

взаємопов'язаними процесами саморегуляції маси, енергії та інформації. У рамках цієї системи існує багато закономірностей та обмежень, що регулюють її стабільність. Одним з виявлених обмежень є усвідомлення обмеженої кількості енергії, яку планета може безпечно асимілювати, особливо в контексті того, що земля отримує енергію переважно з космічного простору, а насамперед від Сонця. Продукування додаткових обсягів енергії з людської діяльності може призвести до перегріву планети, дисбалансу її енергетичних систем і, як наслідок, до критичних змін кліматичних умов.

*Енергетичний вимір.* Розв'язання еколого-енергетичної проблеми в межах Т. п. р. почало реалізовуватися через використання альтернативних джерел енергії, які не додають кількості теплової енергії на планеті (як це робить традиційна енергетика внаслідок спалювання енергоносіїв та утворення теплового прошарку через відходи від цих процесів). Альтернативні джерела енергії лише перерозподіляють енергію, яку планета отримує з космосу. Це, насамперед, різні сонячні панелі, а також ті генератори, які використовують різні види рухів чи різниці фізичних потенціалів (вітер, хвилі, припливи-відпливи, теплові насоси тощо) (Мельник, 2020).

*Ресурсний вимір* створює ще одну проблему, яку покликана розв'язувати Третя промислова революція (Мельник, 2020). Проблема антропогенного впливу на природні екосистеми полягає у значному витягуванні ресурсів з надр Землі, яке перевищує здатність екосистем до самовідновлення. Аналіз показує, що лише приблизно 5% видобутих з надр матеріалів використовується ефективно, тоді як понад 95% видобутих ресурсів повертається назад у природне середовище у формі, яка часто є токсичною та небезпечною для екологічного балансу (Мельник, 2019).

Традиційно виробничі процеси базувалися на субтрактивному методі, який передбачає видалення надлишкових елементів з первинної сировини, в результаті чого 90–95% сировини часто виявляються невикористаними та перетворюються на відходи. Цей підхід створює величезну кількість

промислових відходів, що має значні негативні наслідки для навколишнього середовища, у вигляді звалищ, териконів, та інших форм промислового марнотратства.

В той час як 3D-принтери пропонують альтернативний підхід, заснований на адитивних технологіях, де об'єкти створюються шляхом послідовного нанесення матеріалу, мінімізуючи відходи. Ця технологія також має потенціал зменшити потребу в транспортуванні товарів, оскільки виробни можуть бути 'надруковані' локально за інформаційними моделями, переданими від виробника до споживача. Таким чином, 3D-друк відкриває нові перспективи для ефективного виробництва та розподілу товарів.

По мірі формування концепцій 'зеленої' економіки на економічному горизонті виникає нова складна проблематика. Центральним елементом 'зеленої' економіки є створення мережевої структури, де незліченна кількість виробничих елементів – від машин до підприємств – буде інтегрована в єдину систему. Однак, через високий ступінь інформаційної складності такої системи, людське управління в реальному часі стає практично неможливим. Тому необхідним стає перехід до автоматизованої системи управління, яка здатна функціонувати ефективно та самостійно в автоматичному режимі.

***Колективізація споживання*** (sharing, or collaborating of consumption) – перехід до економічної моделі, 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 інноваційно підходить до використання вантажних автомобілів, працюючи на принципах шерінгової економіки. Вони

пропонують вантажівки на водневих паливних елементах за системою абонентської плати, що варіюється від 5 до 7 тисяч доларів США на місяць. У цю вартість входить повне обслуговування вантажівки, включно з безкоштовними заправками воднем. За умовами контракту, після 7 років експлуатації або досягнення пробігу в 1 млн миль (приблизно 1,6 млн км), споживач має можливість продовжити оренду з новим транспортним засобом.

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 лізинга меблі.

У рамках **Четвертої промислової революції** відбувається значне ускладнення інформаційної структури технічних систем на планеті. Ця висока ступінь складності вимагає впровадження нових технічних систем, здатних ефективно управляти та обробляти інформацію за допомогою високопродуктивних засобів. Такі системи мають здатність функціонувати з надзвичайною швидкістю, значно перевищуючи можливості традиційних методів обробки інформації.

Одним з ключових факторів, що визначають початок Четвертої промислової революції, є поява кіберфізичних систем. Ці системи характеризуються інтеграцією фізичних машин з цифровими технологіями, де машини оснащені датчиками для «бачення» та «слухання» оточення, а обробка даних здійснюється за допомогою комп'ютерних «мізків».



Ще одним переломним моментом стало об'єднання цих кіберфізичних систем у загальноглобальну мережу, відому як *Інтернет речей*. В цій інтегрованій системі речі спроможні спілкуватися через Інтернет, самостійно ухвалювати рішення, виробляти товари, транспортувати їх та надавати послуги, адаптуючись до потреб та бажань людини. Це створює основу для нової технічної цивілізації, де взаємодія між машинами та їх здатність до самостійного управління змінюють традиційні підходи до виробництва та споживання

**П'ята промислова революція.** Реалізація в новому обсязі Industry 4.0 породжує ще одну проблему, яку покликана розв'язувати п'ята промислова революція. Річ у тім, 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 п. п. р. (Мельник, 2020).

У контексті п'ятої промислової революції (п. п. р.) відбувається важливий зсув у ролі людини у виробничих процесах. Згідно з концепцією цієї революції, людина поступово відходить від безпосередньої участі у виробництві, де її місце займають кіберфізичні системи та Інтернет речей. Ці технології забезпечують автоматизацію рутинної, стандартизованої, монотонної та низькоінтересної роботи. Водночас, людина, яка виходить з традиційного виробництва, відома як «людина-праце», пристосовується до нових реалій, де виконання стандартних операцій виробництва та виготовлення стандартизованих товарів для споживачів зі стандартними потребами вже не є її основною функцією.

У майбутньому виробничому пейзажі, відповідно до концепції п'ятої промислової революції, роль «людини-праце» зазнає суттєвих змін, зміщуючись у бік «людини-особистості». Ця нова категорія працівників буде зосереджена на створенні інформаційних моделей та проектів, які можуть бути

легко реалізовані за допомогою адитивних технологій, подібно до способу, яким 2D-принтери використовуються для друку на папері. Значущим є той факт, що виробництво буде персоналізованим та орієнтованим на індивідуальні потреби кожного споживача, дозволяючи їм отримувати продукти, виготовлені відповідно до їх особливих вподобань.

Важливо підкреслити, що цей новий тип виробництва відрізнятиметься від традиційного. Він передбачає відсутність фізичних бар'єрів, таких як огорожі чи прохідні, і замість цього спирається на автономне функціонування обладнання під контролем Інтернету речей. Це створить середовище, де людина більше не буде залучена до монотонної праці, а зосередиться на творчому та індивідуальному аспектах роботи.

**Транзит людського капіталу.** 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* (в тому числі, екологізацію) 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 на виробництво та експлуатацію *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 інтернет або за допомогою їх застосування як робочого інструмента;
- формування вмінь жити і діяти в умовах тотального впровадження засобів *Інтернета речей*;
- *соціологізацію розвитку*; перехід на пріоритетний розвиток особистісного начала людини в умовах повного забезпечення матеріального добробуту і автоматизації виробництва;
- формування *синергетичного зв'язку з кіберфізичними системами і штучним інтелектом*.

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

#### **1.4 Потенціал розвитку та самоорганізації бізнес-структур в умовах цифрової економіки**

Вважається, що увагу до систем, які самоудосконалюються при негативних впливах ззовні, одним із перших привернув американський вчений Н.Н. Талеб (Nassim Nicholas Taleb). Він у 2012 році опублікував книгу «Антикрихкість (Antifragile): речі, які вдосконалюються (gain) під дією розладу (disorder)» (Taleb, 2012). В Україні переклад книги вийшов у 2021 році (Талеб, 2021).

Ключове поняття, яке використовується в роботах Н. Талеба – «антикрихкість» може одночасно розглядатися і як принцип формування систем, побудований на нелінійному мисленні. Поняття «антикрихкість»

Талеб виводить із тріади: все навколо нас може бути «крихким», «невразливим» і «антикрихким». Автор приділяє увагу саме останньому поняттю. За Талебом, «антикрихкість» - не просто здатність систем не порушуватися (не руйнуватися) під дією несприятливих факторів. Це – не просто гнучкість чи еластичність (і в цьому контексті підзаголовок українського перекладу книги Талеба, де вживається термін «(не)вразливість», слід вважати не зовсім точним: Талеб, 2021). Головна відмінність полягає у тому, що «антикрихкість» (як її розуміє Талеб) – це не тільки здатність систем витримувати дію стресових факторів, а й властивість ставати після цього ще більш стійкими та досконалішими.

Чим «антикрихкість» відрізняється, зокрема від «гнучкості»? Гнучке протидіє шоківому струсу і залишається таким, як і раніше. Антикрихке, пройшовши крізь випробування, стає більш досконалим.

Дослідження феномену «антикрихкості» значною мірою були ініційовані роботами американського вченого Н.Н. Талеба (Taleb, 2010; Taleb, 2012). Йому вдалося знайти яскравий образ для назви широкого кола досліджень реакції соціальних систем на непередбачувані невизначені зміни і застосування принципів нелінійного мислення для управління поведінкою систем у таких умовах (Гараедаги, 2010; Майнцер К., 2009; Пригожин, 1985; Gieseck et al., 2021; Valbo, 2015 та ін.).

Разом з тим слід зазначити, що тематика антикрихкості в більшості публікацій відзначається певною фрагментарністю, що не дає можливості сформуванню системний погляд на відповідне поняття. Крім того, потребує переосмислення значна частина результатів в умовах біфуркаційних явищ цифрових трансформацій.

*Антикрихкість* – це одна із ключових властивостей складних систем, перш за все живих організмів та їх спільнот (популяцій, екосистем, об'єднань та асоціацій). Основою реалізації антикрихкості є все те, що може змінюватися протягом часу: ідеї, політичні погляди, інститути, інновації, засоби

виробництва, зразки продукції, методи управління, правові засади, традиції, форми поведінки, стилі життя та багато іншого.

Антикрижкими, таким чином, слід вважати системи (об'єкти і явища), які під дією несприятливих факторів здатні поліпшувати параметри свого стану, формуючи передумови для прогресивного розвитку. У перший період носіння взуття демонструє властивості антикрижкості. Під дією навантажень воно поліпшує свої параметри, розношуючись під розмір і конфігурацію ноги. Нерідко в ролі антикрижкого предмета виступає інформація. Книжки, які забороняють або нещадно критикують, можуть навпаки від цього стати популярнішими і реалізуватимуться набагато успішніше.

Поняття антикрижкості цілком може бути застосоване до економічних структур: підприємств, територій, макроекономічних систем. Пандемія коронавірусу стала справжнім випробуванням для них. Ці структури зазнали колосальний вплив непередбачуваних, а отже невизначених і випадкових (відносно економічних систем) подій. Н. Талеб називає такі події «чорними лебедями». Можна було лише здогадуватися, як події, пов'язані з епідемією коронавірусу, впливатимуть на долю економіки і бізнесу загалом і кожної компанії зокрема. Хтось такого удару не пережив, хтось був шокований, але втримався на плаву. Але є й такі бізнеси, які в ситуації невизначеності змогли не лише вижити, але стали сильнішими, набувши рис антикрижкості.

За Талебом, антикрижкість реалізується на основі трьох ключових компонентів:

- змін
- помилок
- помірних стресів.

Спробуємо дати власне трактування зазначених компонентів.

*Зміни* – це те, з чого виростає будь-який процес розвитку. *Мінливістю* можна вважати здатність системи змінювати свої стани. Зміни, що відбуваються в природі та в суспільстві, умовно можуть бути диференційовані на дві групи:

- *детерміновані* зміни, коли чітко визначено параметри кожного майбутнього стану системи (відсутність випадковості та невизначеності);
- *недетерміновані* зміни, коли майбутні стани системи обумовлені факторами випадковості (стохастичності) та невизначеності (ймовірності).

Н. Талеб підкреслює, що реалізація антикрихкості відбувається за рахунок відбору і закріплення системою саме невизначених випадкових змін.

Відбір ефективних станів системи може відбуватися лише у разі, якщо буде забезпечене постійне формування багатоваріантності її станів, тобто. відбуватимуться зміни системи. Від того, як задаватимуться ці зміни, залежатиме і характер самого відбору.

Формування *багатоваріантності* станів системи означає необхідність її відносної *свободи* – система повинна мати *свободу змінюватися*.

*Змінність* формується на основі випадкових, імовірнісних змін. Людині непідвладне цілеспрямоване генерування таких змін (на те вони й випадкові). Однак можна і потрібно готувати передумови (у тому числі і завдяки творчості) для їх виникнення в потрібному напрямку.

На основі аналізу робіт відомого теоретика менеджменту Пітера Друкера та інших публікацій (Друкер, 2007; Друкер, 2008; Прийняття, 2021; Why, 2020; Gieseck et al., 2020; Balbo, 2015) можна виділити сім основних причин виникнення в суспільстві та економіці недетермінованих (тобто випадкових, імовірнісних) змін (рис. 1.10).

Цикл виникнення поля мінливості станів системи під впливом випадкових, імовірнісних чинників можна охарактеризувати в такий спосіб.

Перша фаза – *зниження ефективності*. Під впливом зміни чинників довкілля ефективність функціонування системи знижується, і вона починає відчувати внутрішній «дискомфорт».

Друга фаза – *поява різноманіття віртуальних станів*. Система починає шукати вирішення проблеми підвищення ефективності. Виникає різноманіття віртуальних (тобто потенційно можливих) рішень щодо зміни її стану.

Наприклад, на підприємстві розглядаються можливі варіанти модернізації виробництва та/або зміни маркетингових стратегій.



Рисунок 1.10 – Основні джерела недетермінованих (випадкових, імовірнісних) змін у суспільстві

Третя фаза – *відбір*. З безлічі можливих варіантів системою відбирається один або кілька (які, на думку «мозкових центрів» системи, мають покращити умови її функціонування). Якщо рішення прийнято *правильно*, система отримує додатковий імпульс свого розвитку. Якщо рішення *не правильне*, стан системи надалі може ще більше погіршитися.

Невизначені зміни, які зазнає система, формуються на основі інновацій. *Інновації* – це ідея, новітній продукт, технологія, метод організації праці, управління, засновані на використанні досягнень науки і передового досвіду.

Якщо в результаті дії інновації відбувається біфуркація, система отримує безліч варіантів свого розвитку. За І. Пригожиним, у цій ситуації «всі

можливості актуалізуються, співіснують і взаємодіють одна з одною, а система виявляється одночасно усім, чим вона може бути». Йдеться про актуалізацію системного інноваційного *тезаурусу* – набору можливих варіантів чи напрямів нового упорядкування (еволюційних ліній), які дозрівають та латентно присутні в рамках інновації-системи, але реально позначаються чи актуалізуються разом із її розпадом (Пригожин, 1985).

Інновації є *об'єктом* природного відбору. Адже через відбір відбувається селекція тих станів систем, які забезпечують системам ефективний режим функціонування та переваги в конкурентній боротьбі.

Разом з тим, інновації можна вважати й *продуктом* природного відбору. Адже дія природного відбору, що проявляється у конкурентній боротьбі, спонукає економічні системи створювати умови, які забезпечують виникнення у них відповідних змін для реалізації інновацій.

**Помилка** – це ненавмисне відхилення від правильних дій, вчинків, рішень, думок, різниця між очікуваною або вимірною і реальною величиною.

Для економічних систем критерієм помилковості можна вважати зміну показників ефективності діяльності економічного суб'єкта і пов'язаних з цим результатів його роботи. Зокрема, помилковими слід вважати ті дії (вчинки, рішення), внаслідок яких ефективність діяльності економічних систем (підприємств, територій, національних економік) знижується, а з цим погіршуються й результати роботи (доходи, отримані прибутки, поліпшення позицій на ринку, рівень капіталізації підприємств, національний дохід).

Надзвичайно важливою складовою формування антикрихкості економічної системи, таким чином, є факторний критичний аналіз причинно-наслідкових зв'язків динаміки показників, зокрема, роботи підприємства та ефективності його діяльності. Він може бути реалізований на основі аналізу дії зворотних зв'язків. Необхідно не тільки встановити взаємозв'язок між прийнятими рішеннями та зміною зазначених економічних показників, а й визначити, чому саме відбулися ці зміни. Мають значення конкретні чинники реакції на реалізовані дії споживачів, компаньйонів, постачальників,



конкурентів. Відповіддю системи на помилкові рішення має стати корекція механізмів організації і управління системою. Головне, щоб результатом аналізу помилок був імпульс на удосконалення системи до початку нового циклу розвитку (зокрема, біфуркаційних трансформацій) системи.

Ще одним важливим компонентом забезпечення антикрихкості є *регулярність* роботи над помилками. Остання має стати постійною, доведеною до автоматизму складовою механізму управління діяльністю системи.

**Помірні стреси** – це умови функціонування системи, за яких регулярно створюються різного виду перешкоди для усталеної безпроблемної діяльності системи. Саме помірні стреси змушують шукати засоби подолання труднощів, що виникають, та шляхи удосконалення механізмів функціонування системи.

В публікаціях (Taleb, 2012; 10 Principles, 2021; Из чего, 2021; ) закладаються підходи до розуміння основ антикрихкого функціонування систем.

На рис. 1.11 показані сформульовані нами принципи забезпечення антикрихкості організацій. Це дало можливість запропонувати ключові рекомендації щодо антикрихкого управління економічними системами.



Рисунок 1.11 – Принципи забезпечення антикрихкості організацій

***Відслідковувати і застосовувати інновації.*** Для різних сфер бізнесу застосування інновацій означає, зокрема, пошук нових напрямів ведення бізнесу і освоєння нових ринкових ніш. Кризові явища несуть не тільки серйозні ризики, але й можливість подивитися на свій бізнес під іншим кутом зору. Це дає змогу знайти нові форми діяльності та генерувати ідеї для підвищення стійкості та подальшого розвитку.

Під час епідемії деякі компанії засвоїли принципово нові напрямки діяльності: хтось почав використовувати онлайн-інструменти, хтось запровадив нові навички і функції. Наприклад, мережа виготовлення одягу Urbantiger переорієнтувала виробництво гірськолижних костюмів на пошив одягу для лікарів, що працюють в COVID-небезпечних умовах. Новий одяг на відміну від традиційних медичних «скафандрів» може «дихати» при збереженні необхідних параметрів безпеки. Для зазначеної компанії, яка раніше не мала жодного відношення до медицини, це стало новим напрямом її бізнесу (Із чого, 2021).

У той час як більшість театрів просто закрилася на період карантину, Метрополітен Опера почала щовечора стрімити записи найкращих вистав за останні роки, де кожен бажаючий може лишити пожертву. Щоденно сотні тисяч глядачів з усього світу приєднуються до вистав, дізнаються про Метрополітен Опери та формують своє ставлення до цього бренда.

Міжнародний продюсер концертів, компанія Fever, пропонує глядачам стріми живих концертів за незначну плату – 5–10 євро. Приємно, що цю ініціативу підхопили і в Україні: Національна філармонія пропонує онлайн-концерти наживо за 50 грн (Мельник, 2021).

***Розвивати у працівників толерантність до змін і оптимістичне ставлення до помилок і невдач.*** У антикризових компаніях їх працівники звикли не боятися несподіваних (невизначених) шоківих ситуацій і завжди готові до змін. Колектив такої компанії постійно випробовує щось нове, приймаючи на себе його ризики. В таких компаніях створюється атмосфера спокійного оптимістичного ставлення до помилок і невдач. На основі їх аналізу і отриманого досвіду команда прямує далі, шукаючи нові напрямки розвитку.

**Позбавлятися крихких складових бізнесу.** На думку Н. Талеба, неможливо достатньо точно спрогнозувати параметри більшості факторів, які впливають на бізнес. Необхідно вчитися просто швидко реагувати на умови, що виникають. Але з значно вищою вірогідністю можна передбачити ті складові бізнесу, які в майбутньому не мають перспектив для свого розвитку (Taleb, 2010).

Зокрема, підсвідомо дотримуючись зазначеного принципу, впродовж карантину в освітніх процесах були замінені або реорганізовані види зайнять, що за традицією використовували монотонні нудні методи навчання, які було неможливо адаптувати під нову онлайн специфіку навчальних комплексів.

**Розвивати самоуправління колективу.** За одним із принципів кібернетики, складність керівної системи має бути вище складності керованої системи. В бізнесі це може бути досягнуто, коли весь колектив або його більшість залучатиметься до управління організацією. Невід'ємною умовою для цього є делегування повноважень працівникам. Атмосфера взаємної підтримки, загальних цінностей і ясне (не приховане від колективу) розуміння ситуації згуртовує колектив і сприяє колективному пошуку рішень.

**Уникати надмірного ризику.** Вище було сказано, що антикрихкі компанії повинні не боятися ризику. Але це має поєднуватися з іншим принципом – «не нашкодити». Ризикова діяльність тоді має сенс, коли ціною її не є існування всієї компанії. В компанії мусить існувати певний фонд для реалізації ризикових рішень. Але втрата цього фонду не повинна вести до непоправимої шкоди компанії.

Н. Талеб так формулює загальний принцип реалізації ризикової діяльності: «Вкладайте 90% своїх коштів в надійні, але низькодоходні активи, і 10% – в дуже ризиковані цінні папери, які можуть принести високий дохід. При несприятливій ситуації ви не зможете втратити більше 10% коштів, але матимете шанс серйозно заробити» (Taleb, 2012).

На підтвердження своєї думки Талеб наводить приклад із історії (Taleb, 2012). Відомого філософа Фалеса Мілетського нерідко дорікали за його невміння заробляти

гроші. Мовляв, відчуваючи свою непрактичність, він і займається філософією. Щоб їх посоромити, Фалес здійснив таку операцію. Ще до того, як поспів урожай, він за невелику плату зафрахтував усі олійниці (цехи, де з оливок виробляли олію) на островах Мілет і Хіос. В договір була включена умова, що власники не мали права без дозволу Фалеса брати від кого-небудь оливки на переробку. Ніхто не знав, яким буде врожай, і тому не поспішали з укладанням угод на використання олійниць.

А врожай трапився насправді дуже рясний. Власники оливкових садів кинулися шукати підприємства для переробки оливок, та всі вони були орендовані Фалесом без права використання іншими особами. Саме тоді Фалес і погодився звільнити власників олійниць від взятих раніше обов'язків. Але це вже коштувало їм зовсім інших грошей.

Як бачимо, Фалес діяв за принципом антикрихкості. Якби трапився неврожай, втрати Фалеса були б незначними, а вигоди, які він отримав при рясному врожаї, були величезні.

Вдаючись до поняття «чорного лебедя» (тобто несподіваної, непередбачуваної події), Н. Талеб так формулює наведену вище ідею: «Ви можете собі дозволити великий ризик у тих сферах, які невразливі перед негативними «чорними лебедями», й невеликий ризик у тих сферах, які відкриті для впливу позитивних «чорних лебедів» – так ви станете антикрихкими» (Taleb, 2012).

***Мати запас ресурсів.*** Зазначений принцип певною мірою витікає із попереднього. Адже реалізація антикрихкості, зокрема, зміна напрямів діяльності підприємства і розширення його можливостей, вимагає достатнього ресурсного потенціалу.

Кожний бізнес повинен мати запас міцності, який в кризу дасть йому можливість протриматися на плаву протягом періода, достатнього для знаходження рятівних рішень. Забезпечувальними ресурсами для цього перш за все повинні бути фінансові кошти (рятівна подушка безпеки). Але фінансовими фондами зазначена ресурсна основа не обмежується. В ролі ресурсів можуть виступати: компетентності команди, її готовність пережити разом із компанією негаразди, довірчі відносини із партнерами,

різнонаправленість діяльності та багатофункціональність персоналу компанії тощо.

**Створювати майбутнє, а не оптимізувати сьогодні.** Багато підприємців прикладають основні зусилля, спрямовані на отримання максимального результату в короткій перспективі. Саме з цим пов'язано намагання підвищити ефективність поточного виробництва та оптимізувати його ключові складові. Питання далекої перспективи відходять на задній план. І це – одна з ключових помилок підприємців. Як правило, доводиться робити вибір між високими прибутками зараз (а це часто обумовлює втрату перспектив на розвиток у майбутньому) та обмеженими доходами сьогодні заради значного успіху у майбутньому. Багато хто обирає перше. У зв'язку з цим Талеб зазначає: «Важко грати в довгу гру, коли в якості першого кроку отримуєш очевидний негатив. Але необхідно бути готовим виглядати телепнем в короткостроковій перспективі, щоб виглядати генієм у майбутньому... Коли ви робите те, що інші, не дивуйтеся, якщо ви отримаєте й такі самі результати, як і усі інші» (Taleb, 2012).

**Перехід до мережевізації 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. Сучасні мережі, що розвиваються у контексті новітніх технологічних та економічних умов, виконують ряд складних функцій. Серед них є кондиціонування, яке передбачає доведення енергетичних показників до стандартних параметрів. Також до їх компетенції входить ефективна передача, зберігання, перетворення та використання енергії,

а також забезпечення стійкості енергетичних систем. Окрім технічних аспектів, ці мережі також відіграють ключову роль у вирішенні складних економічних завдань, пов'язаних із купівлею та продажем енергії. Вони забезпечують багатофакторну тарифікацію, що вимагає комплексного підходу до оцінки та управління енергетичними ресурсами (Мельник, 2018).

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 матеріалізуватимуться за допомогою 3D-принтингу безпосередньо споживачами або виробничими ланками, які їх обслуговують.

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

На сучасному етапі розвитку виробничої сфери відбувається фундаментальна зміна: центр ваги та асоційовані витрати у виробничому процесі переміщуються від етапу масового тиражування продукції до її проектування. У цій фазі формується ключова цінність майбутнього продукту через його інформаційні атрибути, включаючи властивості, функціональність та експлуатаційні характеристики, як надійність, естетичність та інші. У недалекому майбутньому роль виробничих потужностей може бути прирівняна до ролі звичайного принтера, який активується натисканням кнопки для друку потрібної кількості матеріалів

У 2010 році перша модель iPad від Apple була запропонована на ринку за ціною майже 500 доларів США. Однак сукупні матеріальні витрати на виготовлення та збірку його компонентів склали приблизно лише 33 долари. Цей приклад демонструє розрив між виробничими витратами та кінцевою ринковою цінністю продукту, який є характерним не тільки для електроніки, а й спостерігається у багатьох інших галузях промисловості (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.

***Оволодівати нелінійним мисленням.*** В умовах відносно стабільного стану параметрів зовнішнього середовища себе виправдовує застосування лінійного мислення, побудованого на негативних зворотних зв'язках. У цьому випадку певний стан середовища, до якого пристосувалася система, може розглядатися як умовно сприятливий. На будь-яке відхилення параметрів цього стану від оптимального система, намагаючись максимально використати можливості поліпшення умов або скоротити негативні наслідки їх погіршення, реагує за принципом: чим більше, тим краще, або чим менше, тим краще. Наприклад, при зростанні попиту на певний вид продукції підприємство збільшує його виробництво. При зменшенні попиту – виробництво зменшується.

А що робити, якщо за якихось обставин реалізація даного виду продукції (виробів чи послуг) стає взагалі неможливою? Саме це сталось, зокрема, з традиційним видом послуг кафе й ресторанів в період карантину, коли клієнти не мали змогу заходити до них.

Для нелінійної логіки не існує сприятливих і несприятливих умов середовища. Діє лише принцип: під різні умови – різну стратегію і форми діяльності. Не слід тужити над несприятливими умовами, слід шукати шляхи, як їх використати з вигодою для себе. Так найбільш гнучкі пункти харчування налагодили доставку замовлень за адресами людей, які не мали змоги залишити свої помешкання. Більшість з таких підприємств витримала випробування. А були й такі, які навіть поліпшили свої економічні показники. Саме вони й демонструють властивості антикрихкості структур.



## **2 ФОРМУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ НА ОСНОВІ ВІД ПРОРИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНСТИТУЦІЙНОЇ СОЦІОЛОГІЗАЦІЇ РІШЕНЬ**

### **2.1 Концептуальні положення відтворення економіки на основі синергетичної теорії розвитку**

Наразі людство переживає фазовий перехід (ФП) до нової соціально-економічної формації, основу якої становитиме економічна система, яку умовно можна назвати цифровою, або адитивною економікою.

Як і в будь-якому фізичному процесі, функціонування ФП потребує витрат енергії. Ця енергія є необхідною для трансформації системи з одного стану гомеостазу до іншого. Цікаво, що витрати енергії відбуваються навіть у випадку, коли система переходить на новий рівень гомеостазу, який є нижчим за попередній. Така динаміка вказує на те, що зміна гомеостатичного стану завжди супроводжується енергетичними витратами, незалежно від того, чи відбувається ця зміна у напрямку підвищення чи зниження рівня стабільності системи.

Важливо відзначити, що в процесі фазового переходу існує можливість компенсації частини енергетичних затрат за рахунок вивільнення енергії, яка була затрачена під час демонтажу застарілої структури та руйнування існуючих зв'язків у системі. Цей процес можна порівняти з ситуацією реконструкції будівлі, де витрати частково можуть бути знижені за рахунок використання або продажу матеріалів, отриманих від демонтажу попередньої конструкції.

Проте слід усвідомлювати, що витрати енергії не є єдиним необхідним фактором для здійснення фазового переходу. Значення цього стає очевидним при детальному аналізі концепції змісту системи, що дозволяє глибше зрозуміти процеси, які відбуваються під час трансформації.

Кожна система характеризується триалектичною природою свого формування, що передбачає її існування не тільки як матеріально-енергетичної структури, але також як інформаційної сутності. Це передбачає, що система формує власний інформаційний алгоритм для координації взаєморозташування її компонентів у просторі, а також програму їх еволюції в часі. Третім фундаментальним елементом є синергетичний аспект, який забезпечує реалізацію взаємодії між окремими компонентами системи, а також встановлення зв'язків системи з зовнішнім середовищем.

У контексті функціонування системи, ці тривимірні начала виконують специфічні функції. *Матеріально-енергетичний* компонент відповідає за здійснення силової функції, що забезпечує активацію різних форм руху та змін усередині системи та в її взаємодіях з зовнішнім оточенням. *Інформаційна* складова керує напрямком енергетичних імпульсів, забезпечуючи цілеспрямованість та ефективність процесів, які відбуваються в системі. *Синергетичний аспект* інтегрує дії окремих частин системи у єдине ціле, гарантуючи координацію та узгодженість підсистемних дій та функцій, а також сприяє інтеграції системи в якості підсистемного елемента в ширше зовнішнє середовище.

Отже, фазовий перехід системи на новий рівень розвитку можливий лише за умови комплексної перебудови всіх трьох основоположних начал, які визначають її суть. Наприклад, при бажанні підвищити потужність автомобіля, недостатньо просто встановити більш потужний двигун. Необхідно провести глибоку модифікацію усієї технічної конфігурації машини, включаючи, наприклад, систему подачі палива. Поряд із цим, потребують переосмислення і зміни система взаємодій між різними вузлами автомобіля, які забезпечують перехід між різними режимами роботи та інші аспекти конструкції.

Обговорюючи фазові переходи у соціально-економічних системах, слід підкреслити, що модифікації ключових компонентів цих систем неодмінно впливають на різноманітні аспекти суспільної діяльності. Зміна в одному

елементі системи може спровокувати каскад змін у різних сферах, що взаємопов'язані з цим елементом. Це свідчить про високий ступінь інтеграції та взаємозалежності всередині соціально-економічних систем, де зміни в одній частині системи мають потенціал реорганізувати і переформатувати значну частину або навіть всю систему.

Процес переходу від транспорту, що залежить від тягової сили тварин, до автомобільного транспорту виявився каталізатором розвитку великої кількості галузей. Зокрема, це призвело до експансії автомобільної промисловості та її дослідно-конструкторських підрозділів. Виникла необхідність у розвитку металургійної та хімічної промисловості для забезпечення виробництва нових матеріалів. Паралельно відбулося будівництво дорожньої інфраструктури, створення правил дорожнього руху, формування специфічної кредитно-банківської системи, розвиток нафтопереробної промисловості, будівництво танкерного флоту та інших необхідних елементів інфраструктури. Однак, можливо, найважливішим був вплив цього переходу на людину. Виникла необхідність у підвищенні технічної грамотності, зміні ритму та стилю життя, забезпеченні самодисципліни під час водіння та дотримання правил дорожнього руху. Ці зміни стали виразом внутрішньої перебудови людини та її адаптації до нових умов життя та роботи у високотехнологічному суспільстві.

Фізичний процес у транспортній сфері ініціював комплексну трансформацію всіх трьох природних начал у системах, що його підтримують. Ця зміна охоплює *матеріально-енергетичні* фактори через створення нових технологічних засобів та енергоносіїв; *інформаційну* систему, яка сприяє їх функціональному розвитку, включно з науково-дослідними і дослідно-конструкторськими роботами, навчанням фахівців та водіїв; а також *синергетичні* фактори, які забезпечують координацію та взаємодію всередині системи, включно з обов'язковою системою правил дорожнього руху, комунікаційними артеріями, та засобами взаємної комунікації.

Без серії фундаментальних трансформацій у трьох ключових групах факторів – матеріально-енергетичних, інформаційних та синергетичних – людство не змогло б реалізувати важливий фазовий перехід та подолати інерцію фазового бар'єру. Якісні перетворення економічної системи вимагають готовності та узгодженості цих трьох груп системоутворювальних факторів, кожна з яких повинна відповідати цілям та завданням трансформаційного стрибка і бути синхронізованою з двома іншими групами. У новому стані, ці групи повинні гармонічно співвідноситися, причому у різні періоди соціально-економічного розвитку провідну роль «локомотива» перетворень може виконувати будь-яка з цих груп факторів, залежно від поточних вимог та контексту.

**Перша промислова революція**, яка також відома як Велика індустріальна революція, охоплює період з приблизно 1770 по 1860 роки. Ця епохальна зміна характеризується переважанням матеріально-енергетичних факторів у трансформаційних процесах. Найбільш значущим аспектом цього періоду був перехід від ручної праці до машинної, що стало ключовим каталізатором для зародження індустріальної формації. Цей перехід знаменує початок ери широкомасштабної індустріалізації, що радикально змінила економічний та соціальний ландшафт того часу.

Серед визначних інновацій, які відзначали Першу промислову революцію, слід привести наступні ключові технологічні прориви (Промышленная, 2016):

- розробка *прядильних машин* Річарда Аркрайта (Richard Arkwright) у 1769 році, які сприяли полегшенню ручної праці у процесах прядіння бавовняної нитки;
- використання *парового двигуна*, створеного Джеймсом Ваттом (James Watt) у 1775 році, не тільки для відкачування води з шахт, але й на тих виробництвах, де не можливо було використати гідравлічну енергію, наприклад, у млинах;

- впровадження Генрі Кортон (Henry Cort) у 1783–1784 роках *процесу пудлінгування* у металургії, що дозволило замінити деревне вугілля кам'яновугільним коксом, який став використовуватися як енергоносіє у виробництві переробного та ковкого чавуну.

Основні інновації Першої промислової революції були тісно пов'язані з енергетичними викликами того часу. Одним з ключових моментів стала потреба в розв'язанні проблеми дефіциту робочої сили, що була обумовлена демографічними змінами в Європі, викликаними епідеміями (Щедровицький, 2014). Інша важлива інновація була пов'язана з необхідністю збільшення потужності робочих знарядь через використання парових машин, що забезпечувалися енергоносіями, такими як деревина та вугілля. Третій прорив відповідав на виклик дефіциту енергоносіїв, викликаного вирубуванням лісів у Європі. Паралельно з цими енергетичними трансформаціями, Перша промислова революція відіграла важливу роль у модернізації матеріальної бази. Метал замінив деревину як основний будівельний і конструкційний матеріал, що дозволило значно збільшити міцність виробів та їх витривалість до великих навантажень. Це, у свою чергу, розширило функціональні можливості промислового виробництва, будівництва та сфери споживання.

Додатковим фактором, який сприяв становленню Першої промислової революції, було накопичення значного обсягу капіталу в Європі, особливо в Англії, зумовлене економічним потенціалом її колоній до другої половини XVIII століття. Цей капітал виступав у ролі квазіенергетичного ресурсу, який забезпечував необхідним «фінансовим паливом» техніко-економічні трансформації.

Отже, можна стверджувати, що як *передумови необхідності* (зумовлені зміною ресурсної парадигми через дефіцит робочої сили і енергоресурсів, зокрема деревини), так і *передумови достатності* (утворені завдяки формуванню економічних можливостей) мали вирішальне значення у розвитку Першої промислової революції. Саме матеріальні чинники слугували

каталізатором для трансформації та гармонізації інших груп чинників, зокрема інформаційних та синергетичних, в контексті цього історичного періоду.

У рамках Першої промислової революції набувають значущості *інформаційні фактори*, що включають наукові знання та технічні інновації. Раніше ці аспекти обмежувалися суспільними умовами, які не сприяли їх розвитку. Важливо зазначити, що прорив Джеймса Ватта в області парових машин був передуваний десятиліттями досліджень та численними аналогічними винаходами інших вчених та інженерів. Наприклад, відомі двигуни, запатентовані Томасом Севері у 1698 році та Томасом Ньюкоменом у 1712 році, а також експерименти в галузі термодинаміки, проведені Дені Папенем на початку 1700-х років (Промышленная, 2016).

Розвиток Першої промислової революції також значно підштовхнув розвиток *синергетичних факторів*. Збільшення виробничого потенціалу фабрик викликало необхідність у розвитку транспортних комунікацій, таких як залізниці та канали. Це було критично важливо з двох причин: по-перше, для забезпечення постачання сировини на виробництво, а по-друге, для ефективної торгівлі готовими виробами. Окрім того, цей період характеризується прискоренням розвитку засобів зв'язку, наприклад, телеграфу, що відіграв значну роль у сприянні більш швидкому обміну інформацією.

**Друга промислова революція**, яка розгорталася у XIX столітті, представляла собою логічне продовження технологічних та економічних змін, започаткованих під час Першої промислової революції. На цьому етапі стало очевидним, що для подальшого розвитку індустріалізації потрібні не лише достатні енергоресурси, а й новий тип «палива» – інформаційні ідеї та технології. Збільшення розмірів і енергетичної міцності індустріальних комплексів зумовило необхідність вдосконалення їх координації. Інформаційні інновації стали ключовими для оптимізації виробничого обладнання, підвищення точності його роботи та якості кінцевої продукції, а також інтеграції виробничих потужностей у єдину систему. Внаслідок цього

матеріально-енергетичні фактори втратили своє лідируюче положення на користь *інформаційних факторів*.

З початку 1860-х років, у ході Другої промислової революції, інформація стала основною рушійною силою економічних трансформацій. Розвиток економіки тепер базується не лише на індивідуальних технічних винаходах, але й на фундаментальних наукових досягненнях. Спостерігається вдосконалення процесів металургії та металообробки, розвиток машинобудування. Виробничі процеси в цей період все більше базуються на використанні штучно створених хімічних та фізичних явищ, включаючи синтез нових речовин, розробку нових технологій виробництва, принципів двигунів і видів транспорту, а також електрифікацію виробничих процесів (Вторая промышленная, 2016).

Прогрес у сфері інформаційних технологій під час Другої промислової революції значно вплинув на матеріально-енергетичні та синергетичні аспекти виробництва. Це включало розробку нових способів отримання і використання енергії, створення нових матеріалів, двигунів та транспортних засобів, а також удосконалення транспортних та комунікаційних мереж.

Паралельно з цим, самі *інформаційні фактори* також зазнали суттєвого розвитку, сприяючи інноваціям у матеріальній та синергетичній сферах. Відбулось інтенсивне зростання як фундаментальних, так і прикладних наукових досліджень, підтримуваних державними та корпоративними інвестиціями. Виникли нові засоби запису, обробки, передачі та відтворення інформації, серед яких поліграфія, телефонія, радіозв'язок, фотографія, кінематографія, відеотехнології, телебачення, комп'ютерні технології, факс, ксерокопіювання, друкування.

Одним з ключових аспектів Другої промислової революції стала необхідність адаптації робочої сили до нових умов виробництва, що вимагали розвинутих знань, світогляду та інтелектуальних навичок від більшості виконавців. Професії, згруповані під умовною назвою «білий комірець» (інженерно-технічні працівники, службовці, секретарі, менеджери та інші),

перетворилися на масові. Це стимулювало зростання вимог до загальної грамотності, впровадження нових методів управління та застосування спеціальних прийомів для ефективної організації та мотивації праці.

Таким чином, Друга промислова революція не лише започаткувала еру металорізальних верстатів, потокового виробництва, електрики, телефонії, радіозв'язку, комп'ютерних технологій, автомобілебудування та авіації, але й породила новий тип працівника – «людину-праце», діяльність якої базувалася переважно на розумовій праці.

В контексті Другої промислової революції, тип працівника, який ефективно адаптується до складних інформаційних умов промислового виробництва, стає ключовим. Такий виконавець обладнаний здатністю розробляти та дотримуватися стандартів, критично важливих для виробництва складних виробів, які монтуються з сотень деталей, виготовлених тисячами робітників у різних частинах світу.

Цей тип працівника володіє навичками контролю за численними параметрами виробництва, які відбуваються у високоспеціалізованих фізико-хімічних умовах, включаючи екстремальні температури, тиски, електромагнітні поля, радіацію, хімічну агресивність та біологічну активність. Також, цей працівник спроможний ефективно керувати колективами, що оперують з великими енергетичними потужностями. Важливим є його вміння до самоорганізації, самонавчання та саморозвитку у відповідь на стрімкі зміни соціально-економічного середовища.

У рамках структурних трансформацій, що відбуваються у суспільстві під час Другої промислової революції, відзначається суттєве зростання числа інтелектуалізованих виконавців, більшість з яких залишаються найманими працівниками. У промислово розвинених країнах ця категорія населення стає переважаючою, і саме ці люди, завдяки своїм потребам та фінансовим можливостям, перетворюються на масових споживачів та замовників продукції, формуючи таким чином попит на ринку.



Під впливом процесу інтелектуалізації споживачів, змінюється характер та якість продукції, яка стає більш наукоємною та інформаційно насиченою. Сучасні побутові прилади, засоби зв'язку, житло та індивідуальний транспорт отримують все більш високий рівень «розумності», інтегруючи в себе керуючі електронні системи і елементи комп'ютерних технологій. Аналогічна ситуація спостерігається і у сфері *виробничих засобів*, які також стають більш інформатизованими. Вплив інформатизації поширюється й на *сферу послуг*, включаючи освіту, літературу, мистецтво, шоу-бізнес, туризм, та засоби їхнього виробництва.

Індустріальне суспільство характеризується певною особливістю у функціонуванні економіки, яка полягає в стихійному формуванні попиту, що охоплює широкий спектр людських потреб – від фізіологічних до особистісних та трудових. В умовах, де ринкові механізми не завжди сприяють особистісному розвитку, *масовий* інтелектуалізований споживач починає формувати моделі споживання та стилів життя, які стають орієнтиром для інших членів суспільства, виключаючи невелику частину осіб з надмірними прибутками. Ці тенденції стимулюють економічний розвиток, зокрема через інтенсивну інформатизацію.

Однак, важливо відзначити, що такі маркетингові стратегії можуть також породжувати можливості для недобросовісних маніпуляцій попитом. В результаті значна частина населення може сформувати попит на продукти та послуги (наприклад, косметика, харчові добавки, лікарські препарати, одяг, захоплення), які не тільки не сприяють їх особистісному розвитку, але й можуть перешкоджати йому або навіть шкодити здоров'ю.

Підсумовуючи особливості Другої промислової революції, слід зазначити, що її трансформаційні процеси були значною мірою визначені потребами інтелектуалізованої «людини-праце», яка одночасно стала основною силою попиту на ринку. Зростання доходів цієї категорії населення набуло ролі своєрідного капіталу, або квазіенергії економічної системи, що

забезпечило фінансування попиту на масово вироблену продукцію і стало ключовою *передумовою достатності* для розвитку індустріального суспільства.

До другої половини ХХ століття потенціал індустріального суспільства почав вичерпуватися через обмеження, накладені на вплив людської діяльності на природне середовище. Висока матеріало- та енергоємність економічних систем та глобальні розміри виробничих комплексів стали невідповідними обмеженим можливостям відновлення локальних екосистем та біосфери в цілому, викликаючи необхідність переосмислення та адаптації до нових екологічних умов.

На відміну від Першої промислової революції, де основним викликом був дефіцит природних ресурсів, індустріальне суспільство знайшло способи адаптації до цієї проблеми, зокрема через заміну одних видів сировини на інші. Проте, значно більш складною виявилася задача вирішення проблем деградації локальних екосистем та біосфери загалом. Це стосується здатності природних систем підтримувати асиміляційний потенціал планети і уникнення руйнування енергетичної системи Землі через надмірне виробництво енергії людиною.

Таким чином, головним викликом індустріального суспільства стає не дефіцит ресурсів, а збереження екологічної рівноваги та стабільності природних систем, що є ключовим для тривалої життєдіяльності людства на планеті.

**Третя промислова революція**, викликана необхідністю подолання протиріч, які не можна було вирішити в межах індустріального суспільства ХХ століття, покладається на основні компоненти, такі як цифрові технології, масова комп'ютеризація та мережизація населення. Ці елементи почали розвиватися в рамках завершальної хвилі промислових трансформацій Другої промислової революції.

Головними завданнями, які ставить перед собою Третя промислова революція, є завдання, що кардинально відрізняються від тих, які стояли перед

Першою та Другою промреволюціями. Якщо під час Першої та, особливо, Другої промислової революції людство зосереджувалося на зростанні своєї матеріально-енергетичної могутності, виборюючи перевагу над природними силами, то Третя промислова революція зміщує акценти. Прикладом цього є 1950-ті роки, коли в багатьох країнах домінував девіз: «все, що велике, – красиво!».

Третя промислова революція визначається новими цілями та завданнями, що історично відрізняються від її попередниць. Головною метою цієї епохи стає відновлення гармонії з природним середовищем, що включає трансформацію виробничих систем, екологізацію суспільного устрою, стилю життя, а також екологічно орієнтоване перетворення самої людини. У цьому контексті важливими стають не масштаби та потужності виробництва, а їх мініатюризація та оптимізація, що сприяє підвищенню продуктивності та ефективності економічних систем.

Як і в попередніх промислових революціях, у Третій промисловій революції відбувається трансформація трьох основних груп системоутворювальних факторів економіки: матеріально-енергетичних, інформаційних та синергетичних. Особливість сучасного етапу полягає в тому, що лідерство переходить до *синергетичних* факторів, які мають за мету інтегрувати окремі компоненти локальних економічних систем в єдине ціле на глобальному рівні, утворюючи таким чином «економіку космічного корабля» Земля. Цей процес інтеграції має аналогії в природі, де локальні екосистеми об'єднуються, формуючи єдину біосферу планети.

Основу трансформаційних процесів у рамках Третьої промислової революції складають синергетичні (комунікаційні) фактори, які мають об'єктивні підстави для свого домінування:

- 1) в секторі виробництва відбувається зсув «центру ваги» від великих господарських форм, таких як масштабні електростанції та великі виробничі комплекси, до мереж, складених з численних маленьких виробничих одиниць, включаючи ІТ-підприємства, міні-енергетичні

установки та виробництва, що використовують 3D-принтери. Ефективність цих одиниць можлива лише через їх інтеграцію у цілісні системи;

- 2) у сучасному світі виникають транскордонні віртуальні виробництва, які можуть функціонувати тільки завдяки вдосконаленим синергетичним зв'язкам;
- 3) ефективна робота комп'ютерних (інформаційних) керуючих систем, таких як 'розумні' заводи, будинки, міста, транспортні магістралі чи країни, неможлива без використання інтегруючих та аналітичних можливостей інформаційних мереж, насамперед Інтернету;
- 4) сам Інтернет, який є втіленням всепланетної пам'яті людства, став результатом синергетичної інтеграції локальних інформаційних систем.

Станом на середину 2017 року, чисельність користувачів Інтернету у світі значно зросла, досягнувши понад 4 мільярдів осіб, що становить більше половини населення планети. З 2000 року частка інтернет-користувачів збільшилася восьмикратно, з 6,5% до 54% (Гоголадзе, 2018). У Європі рівень доступу до Інтернету сягає 75%, а в Північній і Південній Америці – 66%. У таких країнах, як Норвегія, Великобританія, Катар, Японія та ОАЕ, відсоток користувачів Інтернету перевищує 90% (Пользователи, 2017). Кількість підключень мобільного зв'язку до кінця 2016 року досягла 8 мільярдів, перевищивши загальну чисельність населення Землі (Мобильная, 2017). Близько двох третин населення світу користується мобільними телефонами, більшість з яких є смартфонами, причому багато людей мають два і більше таких пристроїв. Однак у Африці лише половина населення володіє мобільними пристроями. Обсяг електронної комерції досягає майже 20% від всесвітнього обсягу продажів, сягнувши до кінця 2017 року 1,5 трильйона доларів США (Гоголадзе, 2018).

Перехід від ХХ до ХХІ століття можна вважати відправною точкою Третьої промислової революції. Цей період характеризується інтеграцією трьох фундаментальних винаходів людства – персонального комп'ютера, Інтернету та цифрових технологій – в єдину систему, Всесвітню мережу (World Wide Web). Ця інтеграція створила надзвичайно ефективні інструменти для фіксації, зберігання та відтворення інформації в різних формах, що стало ключем до стрімкого розвитку суспільних відносин і технологій. Особливо важливим аспектом цього розвитку є трансфер технологій, оскільки швидкість розвитку будь-яких систем, зокрема соціально-економічних, безпосередньо залежить від швидкодії їх інформаційних систем.

Основною задачею у рамках Третьої промислової революції є адаптація матеріально-енергетичної бази економіки до вимог екологічної гармонії з навколишнім середовищем. Це передбачає дематеріалізацію виробничих та споживацьких систем, тобто істотне зниження використання матеріалів та енергії на одиницю продукції або виконаної роботи, а також на кожного мешканця планети, забезпечуючи його життєво важливими потребами. Завдання екологічної адаптації також передбачає перехід до використання речовин, що є прийнятними для екосистемного метаболізму, та замкнених циклів ресурсів. В англійській мові для опису екологічно дружніх продуктів часто використовуються терміни «environment friendly» (*дружні до середовища*) та «natural sound» (*співзвучні з природою*), підкреслюючи їхню узгодженість із природними циклами та екологічні принципи.

Аналізуючи причини, що сприяли виникненню Третьої промислової революції, можна зазначити, що вони лежать у сфері екологічних протиріч. Ключовим моментом, що вплинув на розвиток подій, стала радіаційна аварія на АЕС Фукусіма-1 в Японії, яка була класифікована як найвищий, 7-й рівень за Міжнародною шкалою ядерних подій. Ця подія мала значний вплив на стратегічні плани розвитку Європейського Союзу, особливо в контексті країн, де значна частина електроенергії вироблялася на атомних електростанціях, як це було, наприклад, у Франції (78%) та Словаччині (54%) (Бобылёв, 2016;

Одессер, 2016). Шок від аварії в Японії стимулював пошуки альтернатив атомній енергії, особливо в Європі, де енергетичні ресурси були обмежені. Рішенням цієї проблеми стала інтенсифікація використання відновлюваних джерел енергії. Це, в свою чергу, запустило ланцюгову реакцію, що призвела до розвитку та прискорення процесів, що характеризуються як «Третя промислова революція».

Серед основних завдань, які стоять перед Третьою промисловою революцією, важливо виділити зміну підходу до формування сутнісних начал людини. Зокрема, це стосується переходу економіки від задоволення в основному матеріальних і фізіологічних потреб («людини-біо» та «людини-праце») до фокусування на системному особистісному розвитку соціальної сутності людини («людини-соціо»).

Аналізуючи передумови сучасного *фазового* переходу, можна виділити ключові моменти у групі *матеріально-енергетичних* факторів. По-перше, значну роль починає відігравати створення конкурентоспроможної альтернативної енергетики із масовим накопиченням енергії. По-друге, важливим є формування нової виробничої бази на основі адитивних технологій та 3D-принтерів.

У контексті *інформаційних* факторів Третьої промислової революції, нарівні з масовою комп'ютеризацією, ключову роль відіграють кілька важливих аспектів. По-перше, створення єдиної цифрової бази для запису та передачі інформації, яка обслуговує взаємодію між людьми, людьми і машинами, а також між машинами. По-друге, формування глобальної системи пам'яті, або «хмари», що все більше виконує роль своєрідного управлінського центру. По-третє, застосування штучного інтелекту та кіберфізичних систем, відомих як «Інтернет речей».

В сфері *синергетичних* факторів вирішальне значення мають тотальна мережевізація економічних систем і суспільного життя на основі Інтернету, формування горизонтальних виробничо-споживчих структур та виникнення міжконтинентальних віртуальних підприємств.

Існують вагомі свідчення того, що фазовий перехід, характерний для Третьої промислової революції, вже активно відбувається. Це підтверджується численними фактами, серед яких можна виокремити кілька ключових прикладів.

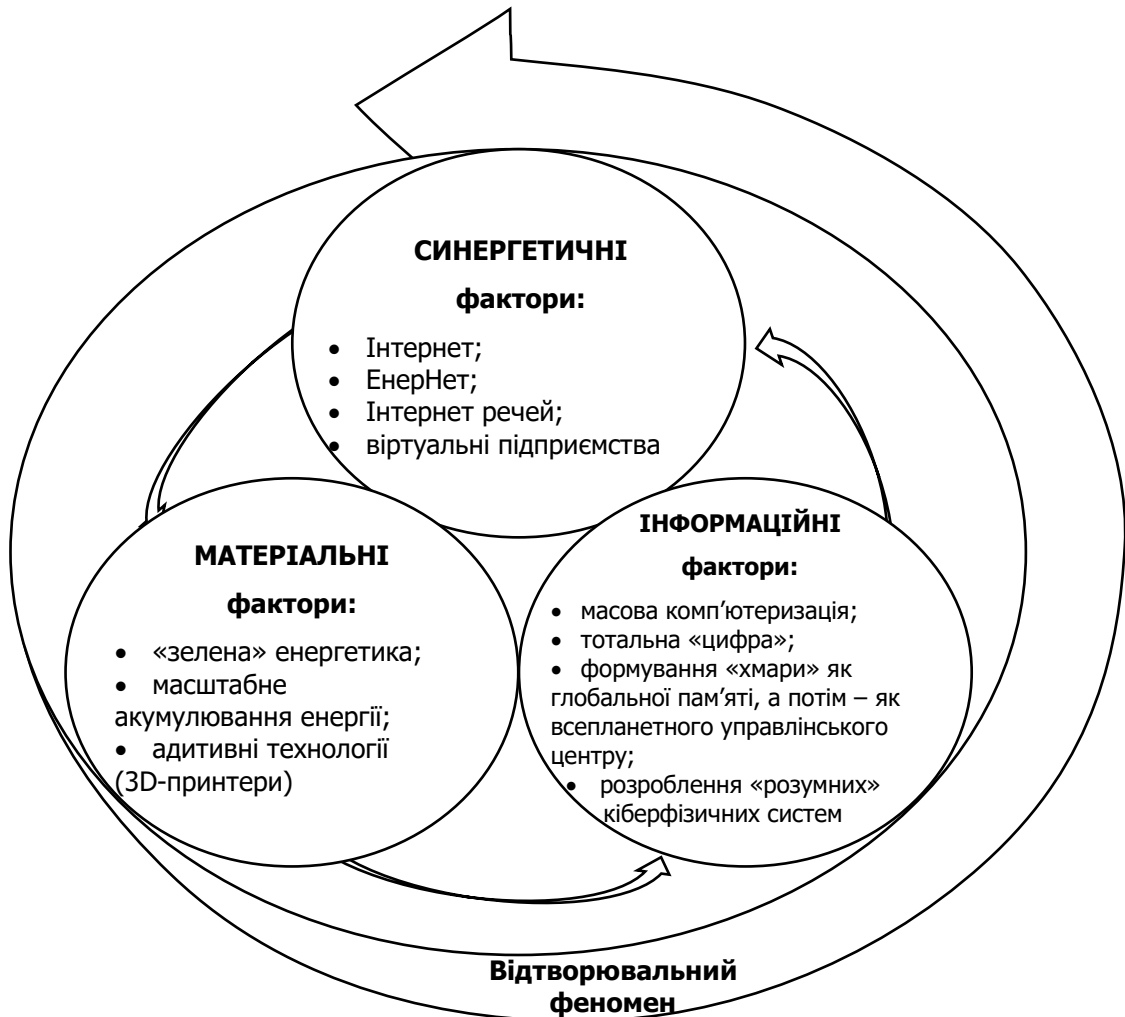


Рисунок 2.1 – Розвиток ключових передумов та інноваційних технологій для здійснення сучасного фазового переходу (складено авторами)

До кінця 1980-х років лише приблизно 1% усієї світової інформації зберігалася в цифровому форматі. Однак до 2007 року цей показник зріс до 94%, а до 2014 року склав уже 99% (Digital Revolution, 2019), що вказує на домінування цифрового формату інформації. В 1990 році використання Інтернету було розповсюджене серед менш ніж 0,05% населення світу, але до 2016 року цей показник збільшився до більш ніж половини жителів планети (Digital Revolution, 2019).

Щодо використання альтернативної енергії, на початку 2000-х її частка у світовій енергетиці становила лише кілька відсотків. Проте до початку 2020-х років

ця частка зросла до приблизно 30% (Hill, 2016). В окремих країнах і регіонах, таких як Данія, Німеччина, Португалія, Шотландія, Чилі, Швеція, в деякі періоди частка відновлюваної енергії перевищувала 100% (Турлікьян, 2016; Федосенко, 2016; Bolton, 2016; Coren, 2016; Denmark, 2015; Johnston, 2016; Scotland, 2016).

Необхідно підкреслити, що фазові переходи в соціально-економічних системах мають свою унікальність, причому в центрі цих процесів завжди знаходиться людина, що відіграє ключову роль у їх розвитку та створенні передумов для таких переходів.

На межі XX та XXI століть розпочалась Третя промислова революція, що була відзначена інтеграцією трьох фундаментальних винаходів людства - *персонального комп'ютера, Інтернету та цифрових технологій* - в єдину структуру, *Всесвітню мережу (World Wide Web)*. Це об'єднання дало поштовх до надзвичайної швидкості обробки та розповсюдження інформації на глобальному рівні, включаючи її *запис, зберігання та відтворення* у різних форматах. Таке стрімке розвиток технологій та суспільних відносин, зокрема через трансфер технологій, свідчить про значення швидкості обробки інформації як ключового фактора розвитку будь-яких систем, в тому числі соціально-економічних.

***Мережизація виробництва.*** У сучасних умовах значною мірою поширюється створення та впровадження «розумних» керуючих систем у виробничому процесі. Ці системи не тільки оптимізують управління виробничими процесами у просторово-часовому аспекті, але й виконують роль інтегратора, об'єднуючи діяльність значної кількості виробничих ланок, які можуть нараховувати сотні, тисячі, а у випадку з енергетичними системами, як *ЕнерНет*, навіть мільйони елементів.

Одним з прикладів є «розумні» Інтернет-системи, які використовуються для вирішення логістичних задач виробничих підприємств. Вони дозволяють, наприклад, знаходити оптимальних постачальників ресурсів, оптимізувати маршрути їх доставки та інші подібні завдання. Слід зазначити, що такі системи



уже доступні у багатьох країнах, включаючи Україну. Наприклад, система управління транспортними перевезеннями, як «Google-transport», може не лише розраховувати найбільш ефективний маршрут доставки вантажу до певної точки, але й підбирати вантаж для зворотного шляху, мінімізуючи таким чином «порожній пробіг».

В сучасному контексті спостерігається створення керуючих мереж, що охоплюють різні рівні: від 'розумних' заводів до 'розумних' будинків, міст і транспортних магістралей. Основою для їхньої формації та ефективного функціонування є неперервний зв'язок із Інтернетом, який грає ключову роль в управлінні та координації цих систем.

**ЕнерНет (EnerNet).** В контексті «зеленої» економіки та «зеленої» енергетики, яка розвивається у межах її рамок, з'являється критична необхідність глибокої трансформації синергетичної (комунікаційної) бази. Це зумовлено тим, що «зелена» економіка та «зелена» енергетика не можуть бути реалізовані без таких фундаментальних змін.

Особливість ЕнерНету полягає у високому рівні інформаційної складності завдань, що значно перевищує ті, які стояли перед традиційними енергосистемами. Якщо раніше акцент робився на перерозподілі енергії, то нове покоління енергосистем повинно вирішувати значно ширший спектр завдань. Серед них - збір електроенергії від мільйонів економічних суб'єктів, які використовують різноманітні генератори, *кондиціонування* електроенергії до стандартних параметрів, її *передачу, зберігання, перетворення і використання* у найбільш оптимальних режимах, а також підтримку стійкості енергосистем. Водночас, вирішуються складні економічні завдання, пов'язані з купівлею та продажем електроенергії, включаючи її багатофакторну тарифікацію.

**Віртуальні підприємства.** Розвиток віртуальних підприємств є втіленням принципу концентрації децентралізованих у просторі процесів у єдиний часовий вимір. Це досягається через створення виробничих мереж, які

дозволяють підприємствам, розташованим у різних географічних локаціях, навіть у різних частинах світу, інтегрувати свої операції в єдині виробничі процеси.

Транснаціональні корпорації, як «Боїнг» та «Аеробус», демонструють ефективно використання віртуальних підприємств у своїй діяльності. Крім того, компанія CISCO-system, яка контролює приблизно половину світового виробництва комп'ютерного обладнання, є яскравим прикладом. У її діяльності задіяні 38 великих світових підприємств, розташованих у різних країнах, причому безпосередньо компанії CISCO належать лише два з них (Возможна, 2015).

Сучасний світовий ринок надає можливість вибору партнера з будь-якої точки земної кулі, який комплементарно доповнює ваші виробничі потенціали. Кожне таке підприємство самостійно вирішує питання логістики, кадрової та технічної політики, а також інші виробничі та маркетингові аспекти.

***Горизонтально розподілені мережі.*** Водночас, однією з ключових тенденцій в розвитку продуктивних сил є формування горизонтальних мереж, які безпосередньо, без посередників, з'єднують виробників і споживачів. Цей розвиток обумовлюється кількома передумовами. По-перше, зміщенням акценту з матеріальних на інформаційні засоби виробництва, такі як програми, алгоритми, бази даних, та їх усупільнення. По-друге, децентралізацією джерел енергії, що призводить до появи мільйонів власників малих енергетичних установок. По-третє, доступність 3D-принтерів, які дозволяють знизити бар'єри для вступу на ринок більшості членів суспільства. Таким чином, формується новий тип економічних відносин, які закладають основи для *солідарної економіки*. В цій моделі виробники, які одночасно є власниками засобів виробництва, об'єднуються у спільний виробничо-споживчий ланцюжок, де мають можливість активно впливати на управління виробничими процесами та розподіл доходів.

*«Хмарні» технології* є інноваційним напрямком у сфері інформаційних технологій, які дозволяють ефективно використовувати мережеві ресурси для вирішення широкого спектру завдань, пов'язаних із обробкою та зберіганням інформації поза межами локальних комп'ютерних систем чи індивідуальних IT-інфраструктур.

Ці технології надають можливість виконувати різноманітні операції на віддалених серверах через Інтернет, що створює враження роботи в умовній «хмарі». Такий підхід включає функції обробки та зберігання інформації, оновлення даних, реалізацію обчислень, застосування різних комп'ютерних програм і баз даних, а також систем безпеки і інтеграційних рішень.

Використання «хмарних» технологій дозволяє значно підвищити ефективність економічних процесів, забезпечує швидке накопичення, обробку та доступ до інформації, сприяючи безпрецедентному прискоренню розвитку людської цивілізації.

«Хмарні» технології революціонізують обробку та зберігання інформації, переносячи ці процеси на віддалені сервери, доступні через Інтернет. Це створює ілюзію роботи в метафоричній «хмарі», звідки й походить назва технологій. В результаті, кожна особа на планеті має можливість підключитися до всепланетної інформаційної системи. Застосування цих технологій суттєво збільшує продуктивність економічних процесів, радикально прискорюючи накопичення, фіксацію та відтворення інформації. Це відкриває шлях до небувалого прискорення розвитку людської цивілізації, змінюючи як ми зберігаємо, обробляємо та використовуємо інформацію на глобальному рівні.

## 2.2 Розробка системи управління процесами відтворення в умовах фазового переходу

Ключовим завданням процесів відтворення в умовах фазового переходу є формування динамічних основ сестейнової економіки, яка умовно може бути названою «зеленою».

Ефективність управління процесами розвитку «зеленої» економіки залежить від здатності людини адаптувати та оптимізувати економічні системи для їхнього неперервного удосконалення та зменшення навантаження на природне середовище на одиницю продукту, необхідного для підтримки людського життя. Такий процес трансформації економіки, спрямований на сталого розвитку, пропонується називати *сестейнізацією*.

*Сестейнізація* є процесом створення інтегрованої системи, яка сприяє безперервній трансформації економічної системи в інтересах сталого розвитку. Вона охоплює вдосконалення основних виробничих факторів, включно з матеріальною основою, технічними засобами та людським потенціалом, а також методи управління цими ресурсами.

Слід відзначити глибинний зміст терміна «сестейнізація». Він охоплює не лише екологічні аспекти зменшення антропогенного впливу на природу, але й широкий спектр якісних змін у соціально-економічних системах, що включають їх гуманізацію, дематеріалізацію, етизацію тощо. Ці аспекти є інтегральними складовими процесу сестейнізації.

Англійська мова пропонує низку термінів із схожим значенням, таких як «greening», «sustainable transforming», «sustainable sound transforming», які можна адекватно відобразити українським словом «сестейнізація».

Термін «sustainable» в англійській мові стосується сталого розвитку, що має важливе значення для точного перекладу різноманітних термінів. Приклади включають «sustainable transport» або «sustainable goods», які не слід перекладати як «стійкий транспорт» або «стійкі товари». Краще

використовувати термін «сестейновий» (наприклад, транспорт, спосіб життя) або «сестейнове» (поселення), що точно відображає зміст оригіналу.

Послідовність процесів, які призводять до деградації природного середовища, кульмінує на рівні споживача. Споживач стає останньою ланкою в ланцюзі виробничо-споживчого циклу, на виході з якого залишаються виключно відходи. Вимірювання загального впливу цих екологічно деструктивних процесів у межах повного циклу виробництва та споживання продукції представляє собою складне завдання.

**Складові відтворювального механізму.** Система екологізації виробництва репрезентує собою динамічний відтворювальний механізм, який постійно регенерує свої ключові взаємопов'язані та взаємозалежні компоненти (див. рис. 2.2). В основу цього механізму лягають такі фундаментальні елементи:

- розвиток екологічно орієнтованої виробничої основи;
- формування екологічно свідомих людських ресурсів;
- формування мотивів екологізації;
- відтворення екологічного попиту.

Ефективна реалізація зазначеного механізму вимагає безперервного застосування організаційних, економічних та соціальних інструментів, які спрямовані на підтримку та стимулювання екологічно орієнтованих змін у складі та функціонуванні економічної системи. Розглянемо детальніше кожен з компонентів цієї системи.

Управління процесами сестейнізації економіки вимагає розробки та впровадження комплексного підходу, що охоплює чотири основних компоненти. Ці компоненти формують «квадрат» управлінського механізму, який є важливим для ефективного переходу економіки до сестейнового розвитку. Розглянемо ці компоненти більш детально (див. рис. 2.3):

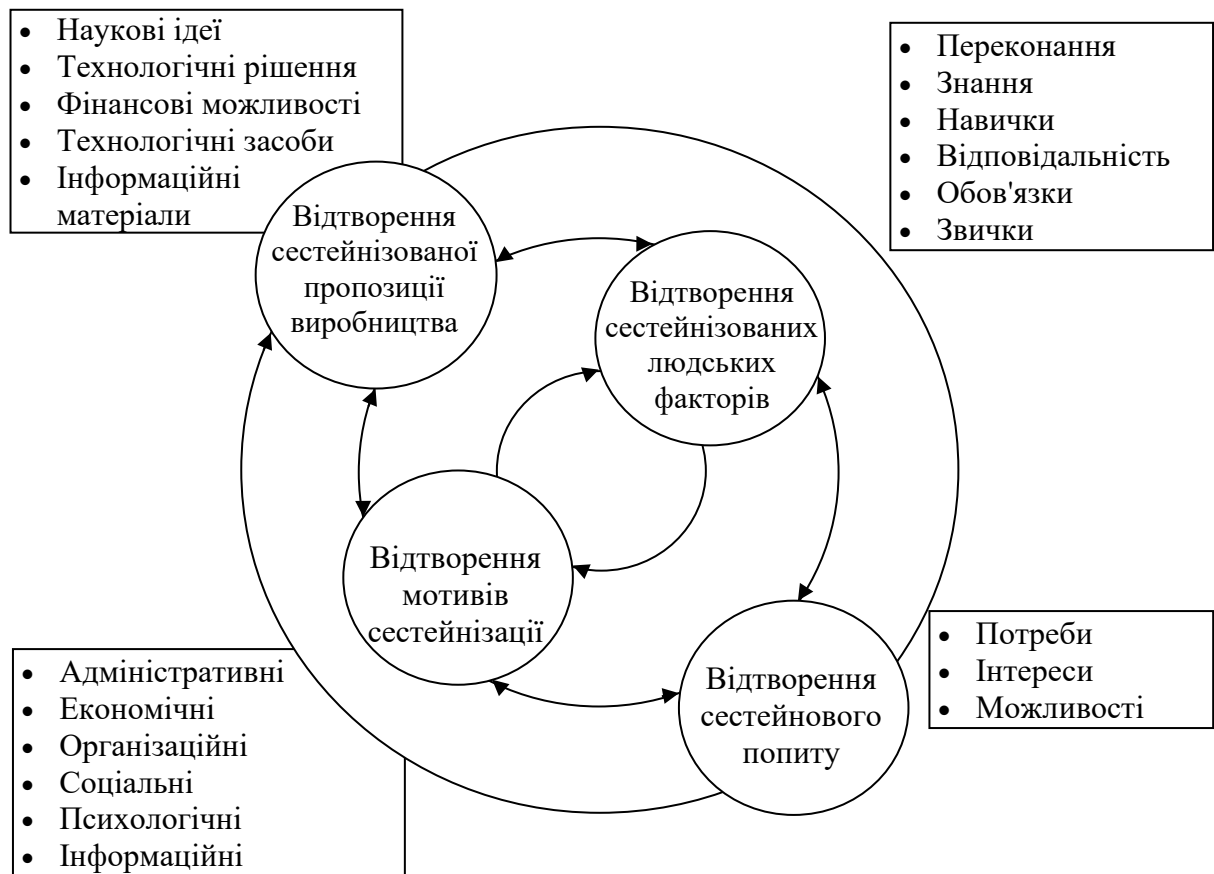


Рисунок 2.2 – Структурна схема механізму відтворення сестейної трансформації економічних систем

- цільові установки: визначення чітких цілей та установок є критично важливим для напрямку і фокусування управлінських зусиль. Ці цілі мають бути спрямовані на досягнення сталого розвитку, збалансування економічних, соціальних та екологічних аспектів;

- об'єкти екологізації: це включає розгляд різних елементів економічної системи, які потребують екологічної оптимізації. Об'єктами можуть бути підприємства, виробничі процеси, продукти та послуги тощо;

- суб'єкти екологізації: це включає різних учасників економічного процесу, які беруть участь у впровадженні екологізації. Суб'єктами можуть бути державні органи, бізнес-структури, некомерційні організації, споживачі, і т.д;

- інструменти екологізації: це різноманітні засоби і методи, які використовуються для досягнення цілей сестейнізації. Це може включати

законодавчі ініціативи, економічні стимули, технологічні інновації, освітні та інформаційні кампанії тощо.

Ефективне управління у цих чотирьох напрямках дозволяє створити скоординовану систему, яка сприяє сестейновому розвитку економіки, забезпечуючи її гармонію з природним середовищем і водночас задовольняючи потреби сучасного суспільства.

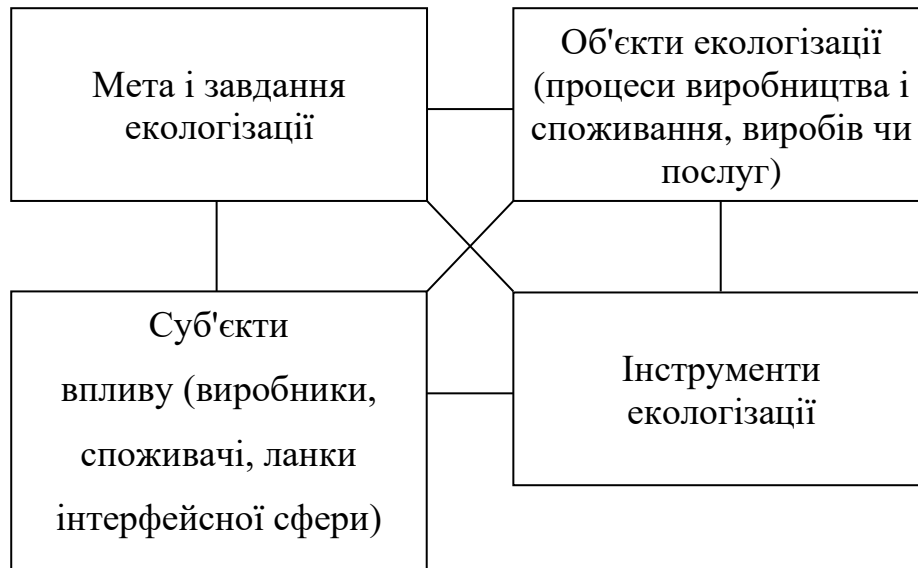


Рисунок 2.3 – Структурна модель управлінського механізму сестейнізації в економіці

Мета екологізації, спрямована на усунення чи зниження впливу екодеструктивних факторів, вимагає комплексного підходу у реалізації конкретних завдань. Розглянемо детальніше завдання екологізації:

1) Реструктуризація економіки, галузей та регіонів: Це включає переорієнтацію економічної діяльності на екологічно безпечні та стійкі практики. Це може означати перехід від традиційних, ресурсоінтенсивних галузей до тих, що базуються на відновлюваних джерелах енергії та стійких технологіях.

2) **Перепрофілювання підприємств:** Під цим завданням розуміється зміна виробничих профілів підприємств з метою адаптації до екологічних стандартів та вимог. Це може включати впровадження чистіших технологій, ефективніше використання ресурсів, та розробку нових, екологічно безпечних продуктів.

3) **Усунення (зниження) потреби в екологічно несприятливих видах продукції або послуг:** Це означає зміну патернів споживання та виробництва з метою скорочення залежності від шкідливих продуктів та послуг, наприклад, шляхом заміни їх екологічно чистими альтернативами.

4) **Заміна екологічно несприятливих технологічних процесів на їх більш досконалі аналоги:** Це включає впровадження новітніх технологій, що мінімізують негативний вплив на довкілля, таких як чистіші виробничі технології, енергоефективне обладнання та ін.

5) **Зниження ресурсоемності продукції:** Це стосується зменшення кількості ресурсів, необхідних для виробництва одиниці продукції, що включає оптимізацію виробничих процесів, впровадження рециркуляції та повторного використання матеріалів, та інші методи підвищення ресурсної ефективності.

**Напрями сестейнізації.** Основні напрями сестейнізації національної економіки можуть бути окреслені як комплекс заходів та ініціатив, спрямованих на зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення стійкості соціально-економічних систем. Давайте розглянемо ці напрями детальніше:

1. *Енергоефективність та використання відновлюваних джерел енергії:* цей напрям включає розробку та впровадження технологій та практик, які забезпечують зниження споживання енергії та перехід на джерела енергії, що є більш екологічно чистими та відновлюваними.

2. *Стійке використання ресурсів та управління відходами:* включає оптимізацію використання природних ресурсів, мінімізацію відходів, їх переробку та повторне використання.



3. *Екологічно чисті та безпечні технології*: розробка та впровадження технологій, які знижують забруднення довкілля, в тому числі заміна шкідливих хімічних речовин і процесів.

4. *Збереження біорізноманіття та захист екосистем*: заходи, спрямовані на захист і відновлення природних екосистем, збереження видового різноманіття флори та фауни.

5. *Соціальна відповідальність та включення громадськості*: залучення громадськості до процесів прийняття рішень, що стосуються довкілля, та забезпечення соціальної відповідальності бізнесу.

6. *Стійке міське планування та управління*: розвиток міських просторів з урахуванням принципів стійкості, включаючи енергоефективність, мінімізацію впливу на довкілля, зелені зони, стійкі транспортні системи.

7. *Адаптація до зміни клімату та її пом'якшення*: розробка стратегій та ініціатив, спрямованих на адаптацію до змін клімату та зменшення викидів парникових газів.

**Об'єкти сестейнізації.** Об'єкти процесу сестейнізації можна визначити як ті складові економічної системи, які безпосередньо пов'язані з факторами, що негативно впливають на довкілля. До таких об'єктів відносяться продукти, послуги та виробничі процеси, здатні провокувати екологічну деструкцію. Визначення факторів екодеструктивного впливу включає ідентифікацію процесів виробництва та споживання, а також вивчення характеристик самих продуктів, які призводять до порушення екологічної рівноваги в природному середовищі. Сестейнізація передбачає переосмислення та трансформацію цих елементів з метою досягнення стійких змін у напрямку екологічної відповідальності і сталості.

**Стратегії сестейнізації.** Розробка стратегій сестейнізації базується на аналізі визначених напрямів і передбачає формування як основних, так і проміжних стратегій для визначення та трансформації об'єктів екологізації. Основні стратегії зосереджуються на фундаментальних змінах в підходах до виробництва, споживання та управління ресурсами, в той час як проміжні

стратегії мають на меті адаптувати поточні процеси до нових екологічних вимог і стандартів (рис. 2.4).

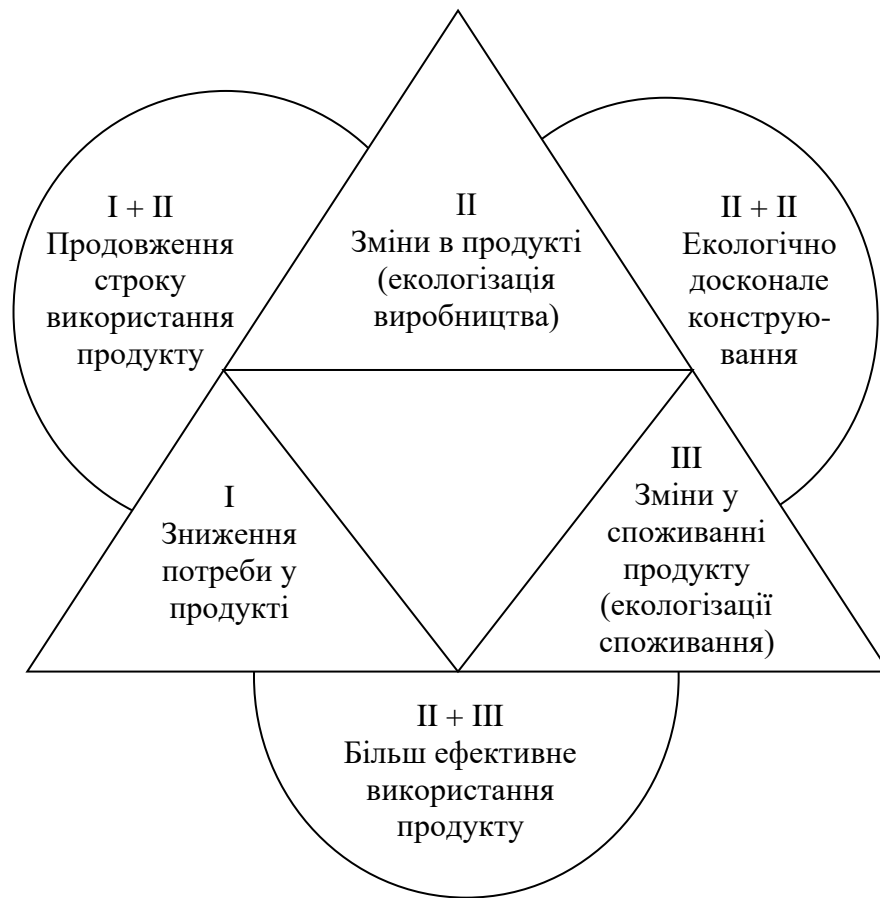


Рисунок 2.4 – Стратегії інноваційного впливу на об’єкти сестейнізації

Розглядаючи стратегії впливу на різні аспекти господарської діяльності в контексті ринкових умов, слід відзначити ключову роль взаємодії між попитом та пропозицією у регулюванні економічних відносин між суб’єктами господарювання. Центральним елементом у формуванні стратегій управління для процесів екологізації є вплив на ці дві компоненти ринку та інтерфейсну сферу, яка з’єднує виробників і споживачів. Згідно з науковими джерелами (Oosterhuis et al, 1996), виділяються три основні стратегії впливу для реалізації екологізації економіки: *зосередження на пропозиції (виробництво)*, *на попиті (споживання)* та *на взаємозв’язках між виробниками і споживачами*. Ці стратегії ілюстровані на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Схема стратегічного впливу на господарські сектори для сестейнізації економіки

Аналіз явища сестейнізації господарської системи виявляє кілька ключових особливостей. Перш за все, цей процес характеризується високою динамікою; для досягнення успіху він має бути не одноразовою акцією чи набором заходів, а безперервним процесом, який сприяє постійній трансформації економіки. Далі, такі зміни повинні охоплювати не лише окремі елементи, але й систему господарювання в цілому. Нарешті, ключовими драйверами цих процесів є не лише зовнішні стимули від вищих органів влади,

але й внутрішні мотиваційні фактори, які є інтегральною частиною економічних суб'єктів на різних управлінських рівнях.

### **2.3 Формування організаційно-економічного механізму та інструментарію функціонування адитивної економіки**

Фундаментальним принципом природи, що керує розвитком усіх відкритих стаціонарних систем, є *принцип збереження енергії*. В одному з класичних визначень він викладений так: *при всіх макроскопічних процесах енергія не створюється і не зникає, а лише переходить із однієї форми в іншу*.

Для цілей аналізу енергетичного стану системи закон збереження енергії може бути сформульований наступним чином: будь-яка матеріальна система може функціонувати та розвиватися лише в рамках споживання тієї вільної енергії ( $E_e$ ), якою вона володіє (накопиченою чи залученою ззовні); при цьому енергія витрачається: на зміну внутрішньої енергії системи ( $\Delta U$ ), на розсіювання (дисипацію) енергії в зовнішнє середовище ( $E_d$ ) і на здійснення роботи ( $W$ ):

$$E_e = \Delta U + E_d + W. \quad (2.1)$$

Слід зазначити, що цей закон та відповідна йому формула енергетичного балансу (3.1) повною мірою відображають також квазіенергетичну діяльність економічних систем. Тільки місце енергії у квазіенергетичному балансі займає аналог енергії – капітал. Тоді цю формулу можна прочитати наступним чином: засоби, що надходять у систему, витрачаються за такими напрямками: на зміну внутрішнього капіталу системи (капіталізацію) ( $\Delta U$ ); дисипативні (тобто ті, що не приносять вигоди) витрати ( $E_d$ ), пов'язані з виникненням збитків, податковими та корупційними платежами, ін.; здійснення корисної роботи ( $W$ ), пов'язаної з виробництвом та реалізацією продукції.

Корисна робота ( $W$ ), яку здійснює система, реалізується за такими напрямками:

- здійснення функції *метаболізму* (переміщення потоків речовини, енергії та інформації), кінцевою метою чого є вилучення із зовнішнього середовища *вільної енергії* ( $E_\delta$ ) (умовно – *метаболічна* складова);
- *підтримання рівня гомеостазу* (здійснення механізмів негативного зворотного зв'язку), без чого неможлива реалізація функції метаболізму (*гомеостазна* складова);
- *трансформація рівня гомеостазу* (здійснення механізмів позитивного зворотного зв'язку) (*трансформаційна* складова).

Для виконання роботи з перерахованих напрямків система змушена витратити енергію. Це веде до того, що в балансі системи з'являється відповідно три енергетичні (квазіенергетичні) компоненти –  $E_m$ ,  $E_z$  та  $E_t$ .

Таким чином, в остаточному вигляді формулу енергетичного (квазіенергетичного) балансу відкритої стаціонарної системи можна виразити так:

$$E_\delta = \Delta U + E_\delta + E_m + E_z + E_t, \quad (2.2)$$

де  $\Delta U$  – зміна внутрішньої енергії системи.

Чи може система витратити енергії більше чи менше тієї кількості, яку вона отримує за рахунок процесів метаболізму із зовнішнього середовища? Ці дві ситуації можуть бути виражені нерівностями:

$$1) E_\delta < E_\delta + E_m + E_z + E_t; \quad (2.3)$$

$$2) E_\delta > E_\delta + E_m + E_z + E_t. \quad (2.4)$$

Подібні ситуації можливі і часто відбуваються у житті на будь-яких рівнях її прояву. Демпферним (компенсаційним) моментом в обох випадках є зміна внутрішньої енергії системи ( $\Delta U$ ).

Для перебудови системи (трансформації гомеостазу) включається механізм позитивного зворотного зв'язку. Його реалізація здійснюється за рахунок трансформаційної складової  $E_m$ .

Зміна кількості внутрішньої *вільної енергії* у системі ( $\Delta U$ ) є своєрідним індикатором енергетичного стану системи та характеризує передумови зміни рівня її гомеостазу. При цьому можна виокремити три важливі ситуації.

1.  $\Delta U = 0$ : система функціонує у стабільному режимі, при якому надходження вільної енергії до системи повністю витрачається на підтримку порядку в системі (*запобігання наростанню ентропії*).

2.  $\Delta U > 0$  (зміна внутрішньої енергії має позитивне значення): в системі починає накопичуватися надлишок вільної енергії; він може бути реалізований при трансформації рівня гомеостазу у напрямі його підвищення (*прогресивна трансформація системи*).

3.  $\Delta U < 0$  (негативне значення): система починає використовувати внутрішні резерви (тобто функціонувати за рахунок саморуйнування); усунути таку ситуацію система може лише знизивши рівень гомеостазу; при цьому знизяться й енергетичні потреби системи (*регресивна трансформація системи*).

Відповідно в соціально-економічних системах діють подібні механізми негативного та позитивного зворотного зв'язку. Проаналізуємо тепер зміст складових базового рівняння енергетичного балансу системи.

Перша складова, що характеризує *обсяг виробленої вільної енергії за одиницю часу* ( $E_e$ ), відображає своєрідну потужність системи. Для різних видів структур приблизне уявлення про цей життєво важливий показник якоюсь мірою дають оцінки, що характеризують їх продуктивність. Для живих організмів – це кількість генерованої життєвої енергії; для екосистеми – її несуча здатність (carrying capacity) або загальна кількість енергії, що

надходить у трофічний (харчовий) ланцюг; для фірми – дохід, чи виторг підприємства; для національної економіки країни – валовий внутрішній продукт (ВВП).

Зовнішні умови функціонування системи, що постійно змінюються, вимагають наявності у неї ефективних механізмів управління своїм станом. Адаптуватися під умови середовища система повинна, змінюючи параметри своїх внутрішньосистемних елементів (підсистем) і перебудовуючи по ходу зв'язку між ними. Цю проблему природа вирішила з властивою їй геніальністю, створивши механізми зворотнього зв'язку (табл. 3.1).

Ціною дії механізмів зворотнього зв'язку є *витрати вільної енергії (квазіенергії)* системи. При активації механізмів *негативного* зворотного зв'язку спостерігається витрата енергії (або її недоотримання) з метою підтримки стабільності стану системи. Навпаки, у разі дії *позитивного* зворотного зв'язку, системі необхідно витратити додаткові ресурси для трансформації або реконфігурації свого стану, що детально розглянуто у таблиці 2.1. Обидві групи механізмів зворотного зв'язку – негативних та позитивних – забезпечують стійкість системи.

Механізм *негативного зворотного зв'язку* забезпечує підтримку *існуючого гомеостазу*.

Механізми *негативного зворотного зв'язку* знаходять своє застосування як у природному середовищі – наприклад, у регулюванні популяцій у системах типу «хижак-жертва» – так і в соціальних контекстах, зокрема у підтримці ринкової рівноваги між попитом та пропозицією. Багато регулюючих пристроїв у технічних системах також ґрунтуються на цьому принципі. Теоретичне узагальнення дії негативного зворотного зв'язку було проведено фізиками Ле Шательє (1884) та К. Брауном (1887), зокрема через аналіз термодинамічних систем. Згідно з сучасною інтерпретацією принципу Ле Шательє-Брауна, *стаціонарна система, що піддається зовнішньому впливу, який виводить її зі стану мінімального виробництва ентропії, активізує процеси, спрямовані на пом'якшення цього впливу*.

Таблиця 2.1 – Механізми зворотного зв'язку для підприємства при зниженні попиту на продукцію та обсягів її продажу

Напрямок механізму зворотного зв'язку	Зміст заходів	Класифікація витрат вільної енергії (квазіенергії)
1	2	3
Негативний	Заходи щодо підтримання рівня реалізації продукції включають: а) посилення маркетингових зусиль та рекламної активності; б) покращання якості продукції з метою збереження обсягів продажу за фіксованого цінового рівня, або прийняття рішення про зменшення обсягів продажу у випадку підвищення ціни; в) зниження ціни реалізованої продукції з метою потенційного збільшення обсягу продажів і збереження загального обсягу реалізації	а) додаткові інвестиції у маркетинг та рекламу; б) підвищення виробничих витрат, яке часто призводить до зниження загального прибутку; в) зменшення потенційного прибутку, який може бути отриманий від продажу продукції
Позитивний	Припинення виробництва та реалізації існуючої продукції та перехід до виробництва та збуту нових видів продукції	Витрати, пов'язані з модернізацією виробничих потужностей, а також упущені можливості через призупинення виробництва та нереалізацію раніше випущеної продукції

Можна виділити кілька видів та напрямів дії механізмів негативного зворотного зв'язку.

Залежно від характеру компенсаційної реакції, системи можна класифікувати на два основних типи механізмів: *що підвищують (інтенсифікаційні)* та *знижують (що демпферують)*.



*Підвищувальні* механізми пов'язані з необхідністю діяльності системи, спрямованої «підвищення» певних параметрів гомеостазу при зниженні відповідних параметрів довкілля. В таких випадках реакція системи зазвичай включає активізацію та інтенсифікацію її діяльності.

*Знижувальні* механізми спрямовані на зниження певних властивостей системи через відповідне підвищення значень параметрів зовнішнього середовища.

Наприклад, у разі зниження температури середовища організм за рахунок інтенсифікації кровообігу змушений стабілізувати температуру «розігрівом». Дещо схоже відбувається при зниженні попиту на продукцію підприємства. За рахунок додаткової активності (реклама, акції) підприємство намагається його стимулювати («розігріти»). І навпаки, у разі підвищення температури середовища організм «скидає» додаткове тепло завдяки підвищеному потовиділенню, а економічні системи починають «пригальмовувати» свою активність, знижуючи темпи розвитку.

В економічній науці існує спеціальний термін «*перегрів економіки*». Він означає надмірне фінансування економічного зростання, «перекредитування», надмірне вкладення державних коштів в економіку, що загрожує надмірним дефіцитом державного бюджету та інфляцією (Райзберг та ін., 2010). При такому стані мікроекономічної системи включаються механізми негативного зворотного зв'язку, покликані здійснити стримування «розкручування» економічних процесів («зв'язування» частини грошової маси, підвищення «цін» (ставок) на кошти та кредити тощо).

Незалежно від типу, обидва види механізмів залучають витрати енергії. Щодо напрямку дії, ці механізми можна умовно поділити на дві категорії: ендогенні та екзогенні. *Ендогенна* група механізмів має внутрішньосистемну спрямованість і пов'язана із зміною у самій системі. *Екзогенна* група спрямована на зміну параметрів зовнішнього середовища. Це може бути пов'язано з кондиціонуванням умов середовища, обробкою (фільтрацією) вхідних та вихідних метаболічних потоків, кооперуванням з іншими системами, міграцією даної системи у просторі та часі.

Стаціонарна система здатна підтримувати стан динамічної рівноваги тільки за рахунок використання одержуваної нею ж вільної енергії. Однак, що станеться, якщо динамічна рівновага все ж таки буде незворотно порушена, тобто параметри системи вийдуть за межі «точки неповернення» до рівня гомеостазу, що існував? Причин може бути дві:

- а) зміни у самій системі (система слабшає/стає сильнішою);
- б) зміни в зовнішньому середовищі (вона стає менш сприятливою/більш сприятливою для підтримки гомеостазу).

Для самої системи ці чинники важко помітні, оскільки ведуть до однакового наслідку, який можна формалізувати як «невідповідність ресурсів системи умовам середовища». Іншими словами, система не може підтримувати стан динамічної рівноваги (гомеостазу) за існуючих умов середовища. В таких умовах можливі два різні сценарії:

1. Недостатня кількість вільної енергії в системі для нівелювання впливу зовнішнього середовища, що системою сприймається як надто строге або жорстке.

2. Накопичення в системі ексцесивної кількості енергії, яку вона не встигає витратити на власні потреби або дисипувати в зовнішнє середовище, в результаті чого середовище сприймається як надмірно сприятливе.

У ситуації, коли діє механізм позитивного зворотного зв'язку, система реорганізує свою структуру, що призводить до зміни рівня її гомеостазу.

За *видами зміни* рівня гомеостазу трансформації систем умовно можна класифікувати на три групи:

- 1) ті, що підвищують рівень гомеостазу;
- 2) ті, що знижують рівень гомеостазу;
- 3) ті, що імітують зміну рівня гомеостазу.

Останні пов'язані не стільки з реальною зміною реального рівня гомеостазу, як із забезпеченням зовнішніх його проявів. Зазвичай це пов'язано з реалізацією будь-яких захисних функцій системи.

*По характеру обратимости* происходящих изменений трансформации гомеостаза можно дифференцировать на две группы: *обратимые* и *необратимые*.

*Залежно від можливості оборотності* змін, трансформації гомеостазу можуть бути класифіковані як *зворотні* або *незворотні*.

*Зворотні* трансформації дозволяють системі відновити попередній рівень гомеостазу без істотних змін у її структурі.

Подібним чином багато тварин, впадаючи в сплячку і істотно знижуючи параметри гомеостазу взимку, спокійно повертаються до колишнього рівня метаболізму навесні.

В економіці подібну стратегію тимчасової зворотної зміни гомеостазу практикують багато секторів економіки та підприємства, пов'язані із сезонними видами робіт.

*Незворотні* трансформації характеризуються неможливістю системи повернутися до свого первісного стану, виключаючи теоретичну можливість відновлення попереднього рівня гомеостазу. Наприклад, процес перетворення гусениці в лялечку, а згодом у метелика, є прикладом незворотної трансформації.

У сфері економіки подібні трансформації часто пов'язані з процесами реструктуризації підприємств і галузей, в результаті яких втрачається можливість повернення до первісного стану через зникнення різних внутрішніх та зовнішніх зв'язків.

Основою на характері змін після трансформації, можна виділити два типи трансформаційних механізмів у системі:

1. Механізми, які зберігають основні характеристики системи (*адаптаційні механізми*);

2. Механізми, що призводять до істотних змін у характеристиках системи, в результаті чого первісна система перетворюється на нову через процес біфуркації (*біфуркаційні механізми*).

Позитивні зворотні зв'язки мають властивість *самопосилення*. Чим сильніше вони діють, тим більший імпульс з боку системи отримують до підсилення.

**Контроль позитивного зворотного зв'язку.** Контрольовані *позитивні зворотні зв'язки* (тобто врівноважені механізмами *негативного* зворотного зв'язку) є джерелами розвитку (зростання). Неконтрольовані позитивні зворотні зв'язки можуть послужити як імпульс, що ініціює вибух, руйнування, колапс системи. Ось чому спостерігати подібні явища доводиться не так часто. Зазвичай рано чи пізно система змушена «вмикати» механізми негативного зворотного зв'язку.

Більш *доцільним* для системи є зниження інтенсивності використання механізмів позитивного зворотного зв'язку. Це означає, зокрема, уповільнення темпів зростання системи і зазвичай є для неї більш сприятливішим, ніж спроби за рахунок посилення негативних зворотних зв'язків стримувати одночасно неконтрольовані механізми позитивних зворотних зв'язків, що реалізуються. Іншими словами, краще свідомо знижувати стимулюючий вплив позитивного зворотного зв'язку, ніж паралельно використовувати механізми негативного зворотного зв'язку для «гасіння» можливого наростання негативних наслідків. Якщо проводити паралель з керуванням автомобіля: перед перешкодою краще заздалегідь прибрати ногу з педалі газу, ніж одночасно натискати і на неї, і на педаль гальма.

Поряд з *інформаційним аспектом* цієї проблеми велику роль відіграє і *енергетичний (квазіенергетичний)* аспект. Одночасне нескоординоване застосування механізмів *позитивного* і *негативного* зворотного зв'язку не лише значно ускладнює інформаційний алгоритм управління системою, а й істотно знижує ефективність функціонування системи. Адже обидва згадані види зворотного зв'язку потребують витрат енергії (коштів). Такі витрати істотно збільшуватимуться, якщо *неконтрольована* дія механізмів позитивного зворотного зв'язку відтворюватиме необхідність паралельного

застосування механізмів негативного зворотного зв'язку, що також потребують витрат енергії.

*Контрольоване* використання механізмів позитивного зворотний зв'язок зазвичай щедро винагороджує тих, хто вміло цим користується. Формами такої нагороди бувають: економічні успіхи, визнання суспільства, впевненість у власних силах. Все це стимулює повторення успіху вже у більшому масштабі. В економічній літературі це отримало назву «петлі: від успіху до успішності».

Основним інструментом, що забезпечує стабільність системи, є здатність підтримувати її в стані динамічної рівноваги. В цьому контексті система може функціонувати у двох основних режимах:

а) *режим підтримання стаціонарного стану*, який передбачає збереження певного рівня гомеостазу;

б) *режим трансформації стаціонарного стану*, що включає перехід до нового стаціонарного рівня гомеостазу.

Перехід до другого режиму функціонування системи вимагає значних змін у метаболічних процесах, а також адаптації внутрішніх та зовнішніх зв'язків системи. Ці фундаментальні перетворення можливі завдяки наявності специфічних трансформаційних механізмів, які функціонують в системі.

Під *трансформаційним механізмом* у контексті відкритих стаціонарних систем необхідно розуміти комплекс логічних зв'язків та процедур, що фасилітують трансформацію стану системи, або її рівень гомеостазу. Цей комплекс охоплює як внутрішні, так і зовнішні зв'язки, що визначають функціонування та адаптацію системи до змін у її середовищі.

**Класи трансформаційних механізмів.** В рамках теоретичного дослідження трансформаційних механізмів академік Н. Н. Моїсєєв визначив два основні класи, які можна умовно назвати *адаптаційними* та *біфуркаційними* механізмами. Адаптаційні механізми забезпечують систему здатністю до еволюційного розвитку та пристосування за рахунок гнучкої взаємодії з навколишнім середовищем. Біфуркаційні механізми, в свою чергу,

відповідають за радикальні зміни в структурі та функціонуванні системи, що відбуваються при досягненні певних критичних точок або умов.

Термінологічне поняття «біфуркація» має своє коріння в латинському слові «bifurcatio», що літературно перекладається як «роздвоєння або розгалуження» (де «bis» означає «двічі» та «furca» - «вила»). Використання цього терміна у науковому контексті підкреслює моменти, коли система досягає критичної точки, в якій вона може перейти в один із двох або більше альтернативних станів, тим самим «роздвоюючись» або «розгалужуючись» на кілька можливих шляхів розвитку. Це поняття є ключовим для розуміння динамічних систем, де вибір конкретного шляху розвитку може радикально змінити подальші характеристики та поведінку системи.

*Адаптаційні механізми* у системах характеризуються реалізацією такого роду змін, які забезпечують здатність системи ефективно реагувати на зовнішні виклики, не втрачаючи при цьому своїх фундаментальних характеристик та ідентичності. Застосування адаптаційного механізму гарантує, що, незважаючи на внесені зміни, система зберігає свою первісну структуру та сутність, продовжуючи функціонувати в рамках своєї визначеної категорії: біологічний організм залишається відповідним біологічним організмом, сім'я – сім'єю, фірма – тією ж фірмою, військовий підрозділ – тим самим військовим підрозділом, держава – державою.

*Біфуркаційні механізми* імплікують тип змін у системах, що веде до втрати їх первісних дистинктивних характеристик і переходу до стану з новою якістю, при цьому зберігаючи генетичний зв'язок із попереднім станом. Ці механізми ініціюють процеси, які можуть радикально трансформувати ідентичність системи, зумовлюючи появу нових якісних атрибутів, водночас зберігаючи певну спадковість зі своєю попередньою конфігурацією.

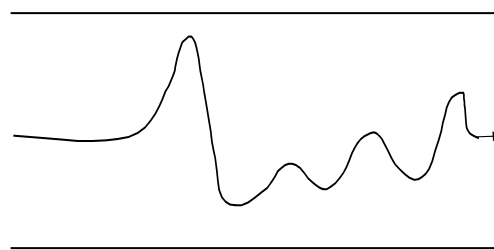
В контексті біфуркаційного механізму можна розглянути наступні приклади:

- *сім'я* може пережити роз'єднання або об'єднання з іншою сім'єю, при цьому зберігаючи визначні культурні та традиційні аспекти своєї первісної структури.

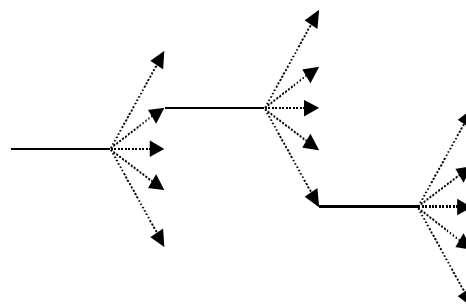
- *фірма* може пройти процес реорганізації, змінивши свій масштаб, назву або сферу діяльності, де співробітники, що залишились, виступають як носії корпоративної культури та традицій попереднього підприємства.

- на території колишньої *держави* може сформуватися нове державне утворення з новими політичними, адміністративними та культурними характеристиками, зберігаючи при цьому певні зв'язки з минулим через своїх громадян та історичну спадщину.

Ілюстрація методів втілення механізмів *адаптації* та *біфуркації* здійснена на рис. 2.6.



а) адаптаційний механізм



б) біфуркаційний механізм

Рисунок 2.6 – Схематичні відображення процесів, притаманних адаптаційним (а) та біфуркаційним (б) категоріям трансформаційних механізмів.

Аналізуючи особливості описаних класів механізмів, можна здійснити порівняльний аналіз їх впливу на динаміку еволюційних процесів. Зокрема, адаптаційні механізми відрізняються тим, що вони обмежують потенціал системи до виходу за межі передбачуваних шляхів еволюції, які були визначені природними умовами розвитку такої системи. Це означає, що адаптаційні механізми не дозволяють зовнішнім чи внутрішнім збуренням кардинально змінити траєкторію розвитку системи, залишаючи її в межах «оглядового каналу еволюції», термін, запропонований М. М. Моїсеєвим. Ці коридори еволюції визначені обмеженнями, що накладаються фізичними можливостями системи пристосуватися до екологічних змін, що робить потенційні шляхи розвитку системи передбачуваними і відносно стабільними.

Зазначені трансформаційні механізми діалектично взаємопов'язані між собою. Адаптаційний механізм реалізує функцію адаптації системи до змін середовища через добір станів самої системи. Відбувається мікроеволюція системи, що йде на системному рівні, згідно з принципом І. Пригожина: мінімум виробництва ентропії за максимуму ентропії системи (Хазен, 2000).

Після того, як можливості системи до адаптації вичерпуються (за словами І. Моросанова, «заходять у глухий кут») настає «виродження» («моральне старіння») системи і починається макроеволюція цього виду систем (біологічної популяції, ринку). Адаптація до умов середовища на макрорівні, тобто. через відбір систем надсистемному рівні. У цьому випадку включається біфуркаційний механізм, що забезпечує максимальну швидкість тиражування «нового» (нових видів біології, нових технологій економіки). У умовах реалізується принцип А. М. Хазена: максимум виробництва ентропії при мінімумі ентропії системи (Хазен, 2000). Це є початком до відбору на надсистемному (метасистемному) рівні.

Біфуркаційні трансформації відіграють ключову роль у прискоренні еволюційних процесів завдяки їх здатності до раптового збільшення рівня змінності системи. Цей ефект має два фундаментальні аспекти:



- внаслідок біфуркаційного процесу, який супроводжується розгалуженням, система може диференціюватись на множину потенційних структур або станів, які забезпечують основу для її подальшого розвитку. Ця особливість лежить в основі номенклатури даного класу механізмів;

- становище кожної з цих потенційних структур характеризується значним зростанням стохастичності та непередбачуваності. Прогнозування, яка з можливих структур стане доміантною та буде реалізована в результаті селективних процесів, є неможливим через наявність в системі випадкових коливань, або флуктуацій.

Біфуркаційний механізм, у порівнянні з адаптаційним, володіє рядом унікальних характеристик, які значно сприяють прискоренню еволюційних процесів системи. Серед цих характеристик слід виділити:

- різке зростання варіабельності станів, яке включає значне розширення спектра потенційних варіантів змін та параметрів системи, що веде до підвищення її адаптаційного потенціалу;

- підвищену невизначеність майбутнього розвитку системи, обумовлену великою мірою випадковістю та вірогідністю флуктуацій, які можуть ініціювати спонтанні зміни;

- незворотність еволюційного процесу, що зумовлена стрибкоподібною природою змін. Це означає, що однією з визначальних особливостей біфуркаційного механізму є його здатність до забезпечення спрямованості та незворотності розвитку, з мінімальною ймовірністю повернення до попереднього стану.

У світлі цього біфуркаційний механізм створює майже ідеальні умови для розвитку.

Біфуркаційний механізм сприяє максимальному прискоренню темпів розвитку. Стан «катастрофи», в якому іноді виявляється система, дозволяє як би «забувати» (або майже «забувати») своє минуле. Після переходу через біфуркаційний стан (який називається фазовим переходом) відбувається розгалуження шляхів еволюції. Кожен з них (залежно від рівня ефективності)

Природа може вибрати як оптимальний напрямок для реалізації подальшого розвитку. При цьому нова якість чітко закріплюється незворотністю, захищаючи систему від повернення до старого стану.

Трансформаційні процеси у системі пов'язані із зміною рівня її гомеостазу. Це відбувається як за адаптаційних, і при біфуркаційних трансформаціях системи.

У контексті біфуркаційних процесів, система проходить через три фундаментальні стадії: стійкий стаціонарний стан, з якого вона ініціює трансформацію; збуджений турбулентний стан, що слугує перехідною фазою; та рефракторний стан, де система досягає нового рівня гомеостазу після періоду збурень.

Особливості збудженого турбулентного стану включають:

- *кризу*: цей період характеризується раптовими та критичними змінами в параметрах системи, руйнуванням звичних зв'язків між елементами, що приводить до глибокого переосмислення стандартних причинно-наслідкових зв'язків та поведінкових алгоритмів.

- *багатоваріантність*: з'являється множина потенційних напрямків розвитку системи, кожен з яких може призвести до формування нових структур або станів. Ця множинність можливих шляхів еволюції сприяє раптовому переходу системи на нову траєкторію розвитку.

- *незворотність*: унаслідок біфуркації, система набуває змін, які не допускають повернення до попереднього стану, оскільки кожна нова конфігурація впливає на подальший розвиток системи, виключаючи можливість її регресу до ініційованих умов.

Фазове перетворення або фазова трансформація (фазовий перехід) описує процес, під час якого система переходить з одного стаціонарного стану, характеризованого певним рівнем гомеостазу, до іншого стаціонарного стану, що відрізняється новим рівнем гомеостазу. У контексті біфуркаційних трансформацій, система може досягати стану з множинними гомеостазами. У вужчому розумінні, фазовий перехід відбувається через

стрибкоподібну зміну властивостей системи в результаті безперервної модифікації зовнішніх умов.

Критичний стан визначається як граничний рівень рівноваги системи, на якому властивості суміжних фаз стають ідентичними, ініціюючи фазовий перехід після його досягнення.

Критична точка представляє собою специфічне значення параметра (або набір параметрів) системи, досягнення якого веде до критичного стану і зумовлює наступ фазового переходу.

Точка біфуркації визначається як критична точка, за якої система вступає у фазу біфуркаційних трансформацій. З математичного погляду, точка біфуркації ідентифікується як таке значення параметра, при якому рівняння, що описує стани системи, має дві або більше розв'язків, демонструючи множинність можливих напрямків розвитку системи.

Фактори, що сприяють лінійному реагуванню системи. Підтримання стабільного стану системи або стійкого рівня гомеостазу, що є характерним для адаптаційних процесів, фундаментально впливає на формування лінійних залежностей між параметрами системи та варіаціями зовнішніх впливів. Така модель поведінки включає в себе можливість відновлення первісного стану, неперервність ключових характеристик, високий рівень передбачуваності реакцій системи на зовнішні зміни, а також стабільність причинно-наслідкових зв'язків протягом часу. Відтак, ці особливості лежать в основі лінійної моделі поведінки системи, що демонструє збереження пропорційності та взаємозалежності між внесками зовнішніх факторів та реакціями системи.

Фундаментальний принцип лінійно-орієнтованого управління, заснований на стратегії оптимізації через використання механізмів негативного зворотного зв'язку, базується на ідеї мінімізації впливу неблагоприємних факторів, що можуть порушити існуючий рівень гомеостазу системи (підхід «чим менше, тим краще»), та одночасного збільшення впливу позитивних факторів (підхід «чим більше, тим краще»). Цей принцип

передбачає диференційоване регулювання зовнішніх та внутрішніх впливів з метою забезпечення стабільності та ефективності системи, підтримуючи при цьому баланс між необхідністю адаптації до змінюваних умов середовища та збереженням оптимального стану функціонування.

Причини нелінійної поведінки системи. При трансформаційних процесах біфуркаційного типу вичерпуються передумови лінійної поведінки системи, спрямованої на активізацію прояву сприятливих факторів та протидію впливу несприятливих. Власне, за таких умов, мабуть, взагалі розмиваються підстави для подібної диференціації факторів середовища (тобто на сприятливі та несприятливі).

У ситуаціях, коли первісний рівень гомеостазу системи втрачає свою актуальність, виникає необхідність реорієнтації стратегії управління з використанням механізмів зворотного зв'язку. В таких випадках, акцент пересувається від модифікації зовнішніх впливів до фундаментальної перебудови внутрішнього стану системи, аби забезпечити її оптимальну відповідність зміненим умовам зовнішнього середовища. Це підкреслює важливість нелінійної поведінки для трансформації соціально-економічних систем у напрямку досягнення нового рівня гомеостазу.

Розрізнення між лінійною та нелінійною логікою управління виявляється у їхніх цілях та методах впливу. Лінійна логіка фокусується на підтримці існуючого стану гомеостазу, в основному через використання механізмів негативного зворотного зв'язку. Натомість, нелінійна логіка спрямована на активний пошук та встановлення нового рівня гомеостазу, який краще відповідає зміненим умовам зовнішнього середовища, з перевагою застосування механізмів позитивного зворотного зв'язку.

Нелінійна логіка є основою проектування майбутнього стану системи за умов біфуркаційних трансформацій. При цьому проєктований стан системи (проєкт інноваційного змісту або форми) повинен містити компоненти:

а) нинішнього стану – переважно визначають форму, і навіть ключові (найважливіші) елементи, які є носіями пам'яті системи;

б) майбутнього стану – переважно визначальні мета (основну функцію), що має забезпечити цей стан.

Проектований стан має містити фрагменти старого та майбутнього (бажаного) станів системи. У цьому майбутнє стан має бути представлено переважно метою (змістом) розвитку, а старий стан – формою.

Зокрема, успіх у сучасній швидкій електрифікації автомобільного транспорту пояснюється саме тим, що витриманий згаданий принцип: новий зміст вдалося вкласти у старі звичні масовому споживачеві форми, включаючи як сам автомобіль, так і використовувану ним інфраструктуру (наближену до звичних мереж автозаправок). Подібним шляхом йде і переведення автомобілів на водневе паливо.

У контексті соціальних систем, індивід виступає як ключовий агент, що ініціює їх трансформацію. При цьому, нелінійне мислення слугує основним інструментом, який забезпечує зв'язок між поточним станом системи та її майбутніми проявами. Фундаментальна роль нелінійного мислення полягає в сприянні визначенню та реалізації напрямків змін, які оптимізують функціонування системи. Ключ до ефективної трансформації полягає у максимальному врахуванні «енергії тенденції» розвитку системи, яка забезпечує активне накопичення атрибутів майбутнього стану, орієнтованого на зниження ентропії.

Керівництво на будь-якому рівні повинно володіти умінням ідентифікації та використання згаданої тенденції для переформування існуючого гомеостазу системи. Цей процес передбачає не лише визначення оптимальних шляхів трансформації, але й інтеграцію атрибутів поточного стану з властивостями, що впливають із загальної тенденції розвитку системи, формуючи новий гомеостаз, що гармонічно поєднує минуле, сьогодення та перспективи майбутнього.

Хвильові властивості змін. Будь-яка система може існувати, самоорганізовуватися і розвиватися лише тому випадку, якщо вона може бути стаціонарної, тобто. підтримувати відносно постійні значення параметрів. Ця

сталість, тим щонайменше, будь-коли абсолютним, оскільки стану будь-якої системи схильні до коливань. Коливальні зміни стану системи здебільшого носять упорядкований характер, завдяки якому вони набувають форми хвильового (ритмічного) руху. Хвильовими якостями обов'язково мають і всі середовища, в яких знаходяться системи.

Хвильові властивості середовища та системи відіграють надзвичайно важливу роль у забезпеченні процесів метаболізму, самоорганізації та розвитку систем. Насамперед слід зазначити процеси зародження систем, що починаються з явищ флуктуації, тобто. виникнення неоднорідності окремих елементів, у тому числі складається середовище. Подібні явища можуть виникати і значно посилюватись завдяки резонансним ефектам, що виникають у хвильовому середовищі.

Так само важливу роль грають хвилі й у реалізації явищ синергетизму, тобто узгодженості окремих елементів, що об'єднуються у систему. Хвилі стають своєрідним засобом, з якого окремі елементи «узгоджують» свою поведінку. Інструментом такого «узгодження» стає синхронізація коливань або хвильового руху окремих елементів.

В адитивній економіці людський капітал є одним з визначальних чинників розвитку. Його якість і кількість визначаються не лише економічною цінністю знань, навичок, умінь, а й якістю навколишнього середовища і ефективністю економічних інститутів - правилами, нормативами, обмеженнями, стимуляторами. Конкуренція між країнами, регіонами, місцевими громадами, компаніями відбувається не за фінансові або природні ресурси, а за знання або людський капітал - актив, який здатний генерувати додаткову вартість.

Для рівня підприємства на сьогоднішній день необхідний новий інструмент для вимірювання його креативного людського капіталу.

В умовах адитивної економіки підприємству важливо розуміти, що його конкурентоспроможність, більш того, навіть життєздатність залежить від створеного середовища для людського капіталу. Успішні підприємства

самостійно створюють необхідні умови для підготовки людського капіталу. Сьогодні підготовка людського капіталу відбувається не лише у фізичному вимірі, але і віртуальному просторі, враховуючи зростаючу актуальність онлайн-освіти, курсів, семінарів, тренінгів та ін. Все це дозволяє розвивати промисловість, яка може трансформуватися та об'єднуватися в кластери з провідними в їх сферах діяльності університетами і, таким чином, повернути собі провідну роль по залученню, формуванню та розвитку людського капіталу.

З іншого боку, підприємства можуть знизити якість людського капіталу за допомогою деструктивної діяльності, наносячи збитки навколишньому середовищу, а отже і людському капіталу. Для людського капіталу підприємства є одночасно і джерелом доходу, необхідним для життя та відтворення, та джерелом забруднення його навколишнього середовища. Тобто людський капітал формується завдяки засобам, які люди отримують від підприємств, але при цьому частина людського капіталу втрачається через забруднення води, повітря, землі та інших елементів навколишнього середовища. Тут виникає завдання оптимізації: яким чином мінімізувати вплив на навколишнє середовище, зберігши та примноживши при цьому людський капітал.

На наш погляд, людський капітал, його інтелект, креативність (креативність) є головним генератором ідей та джерелом створення вартості в основі конкурентоспроможності підприємств. Конкурентоспроможність промислових підсистем в умовах цифрової економіки є взаємозалежною (рис. 2.7). Наприклад, конкурентоспроможність креативного людського капіталу залежить як від умов, що створюються підприємствами, так і від інноваційної екосистеми, і навпаки. Необхідно запуснути розроблення платформ з можливістю спілкування новаторів, представників бізнесу, влади, інвесторів.

Сьогодні точки створення вартості лежать на стику інженерної та креативної галузей (ІТ, дизайн, цифрові технології, реклама, маркетинг) - галузей, що виробляють продукцію з найбільшою доданою вартістю (рис. 2.7).

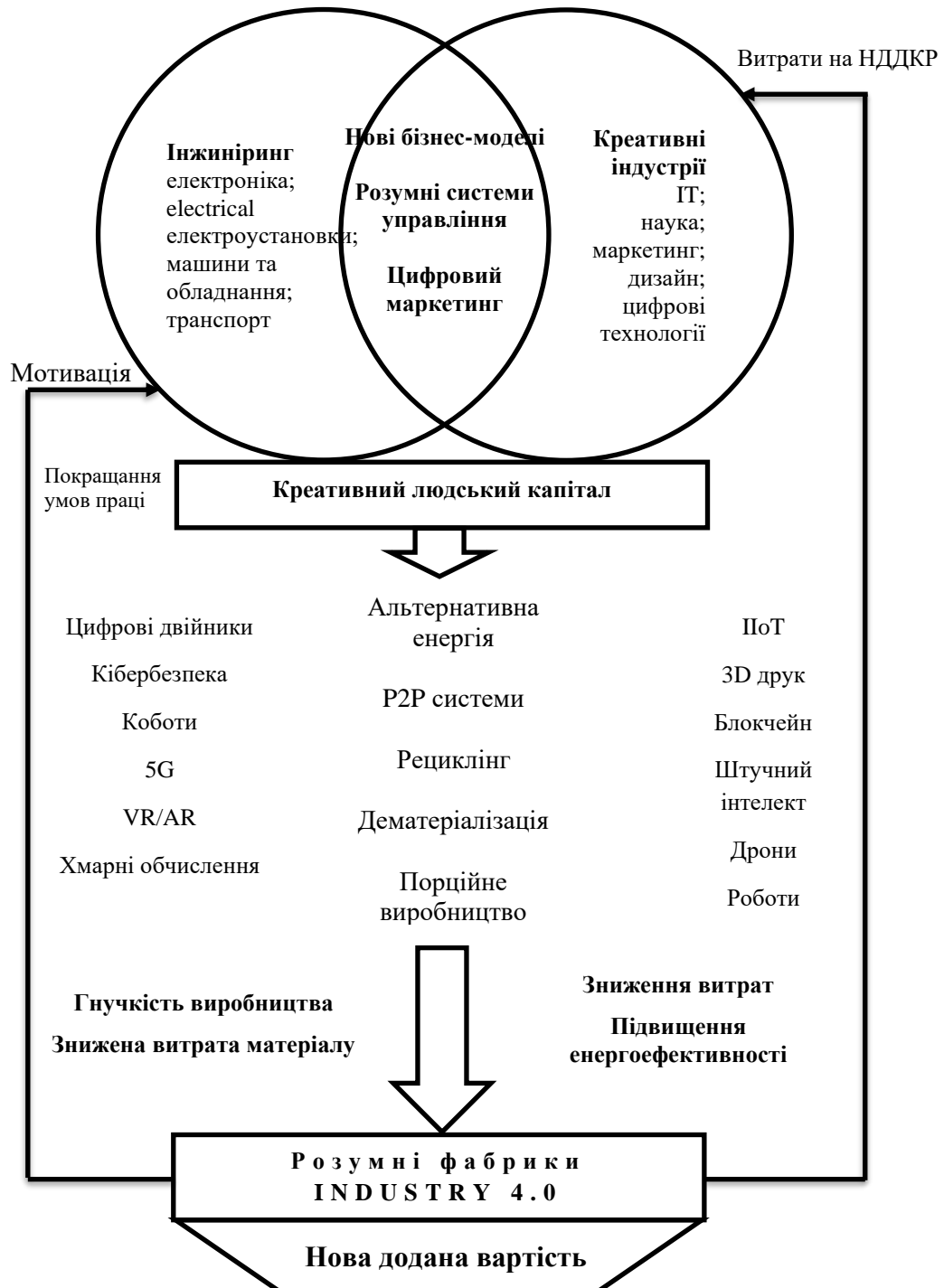


Рисунок 2.7 – Модель організаційно-економічного механізму трансформації підприємств до умов адитивної економіки



Синергія цих передових галузей може привести Україну до якісно нового витка розвитку.

Технічні та технологічні проривні інновації Industry 3.0, 4.0 та 5.0 мають стати основою для адитивізації сучасних підприємств. При цьому поєднання інжинірингу та креативних індустрій дозволить формувати та реалізовувати нові бізнес-стратегії та бізнес-моделі. При їх поєднанні з smart-системами управління, штучним інтелектом та цифровим маркетингом можна досягти значних результатів у цифровій трансформації сучасних підприємств.

На наш погляд, основними креативними індустріями, які прямо чи опосередковано сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності цифрових підприємств є інформаційні технології, наука, маркетинг, дизайн та цифрові технології (рис. 2.7).

Наявність сьогодні нових векторів розвитку, в основі яких знаходяться проривні інновації потребує перебудови (трансформації) і системи підготовки (перепідготовки) людського капіталу. В умовах сучасних промислових революцій він стає креативним або когнітивно-креативним. Саме цей капітал стає основою адитивної економіки.

#### **2.4 Система показників та критеріїв їх кількісного визначення для оцінки динаміки стану соціально-економічних та екологічних систем**

Основною особливістю розвитку соціально-економічних систем є ключова роль в ньому чинника людини. Саме людина задає вектор розвитку в таких системах, визначаючи основні цілі, яких повинна прагнути у своєму розвитку система. Людина ж виступає у ролі основного реалізатора, забезпечуючи своєю діяльністю основні засоби для досягнення поставлених соціальних та/або економічних цілей (наприклад, задоволення певних матеріальних чи духовних потреб, отримання прибутку тощо).

Будь-які соціально-економічні системи тією чи іншою мірою пов'язані з природою, яка є джерелом ресурсів, середовищем життєдіяльності, фактором самовідтворення кількісних та якісних параметрів компонентів природного середовища. Це дозволяє ширше підійти до визначення соціально-економічної системи.

*Соціально-економічна система* у широкому сенсі – сукупність людей, що функціонує як єдине ціле (включаючи відносини між ними), природних чинників, антропогенних матеріально-інформаційних активів, об'єднаних єдністю функцій, що виконуються і природно-індустріального метаболізму (матеріально-інформаційних потоків).

З урахуванням визначення розвитку систем (*необоротне, спрямоване, закономірна зміна*) та необхідних ознак, що зумовлюють процеси розвитку (*самоорганізація через випадкові, невизначені зміни*) можна сформулювати основні вектори реалізації передумов прогресивного розвитку соціально-економічних систем (рис. 2.8).

Дана конструкція у схематичній формі є змістовною основою феномена *соціально-економічного розвитку*. При, можливо, зайвої складності, що здається, вона не може бути спрощена без втрати ключових її смислових вузлів. Кожен із блоків цієї конструкції є суттєвим, тобто несе інформацію про зміст, без якого характеристика феномена розвитку як такого виявляється неповною.

Критерієм *прогресивності* розвитку будь-якої системи є підвищення ступеня впорядкованості систем, що зрештою зумовлює зниження рівня виробництва ентропії системою. Ступінь упорядкованості будь-якої із систем визначається трьома групами факторів (матеріально-енергетичних, інформаційних, синергетичних). Для соціально-економічних систем у критеріальній основі, що характеризує ступінь прогресивності розвитку, актуалізується ще один фактор – *цілепокладання*.



Рисунок 2.8 – Схема формування передумов розвитку соціально-економічних систем

У загальному вигляді *ступінь прогресивності (П)* соціально-економічної системи може бути виражений функцією від чотирьох основних груп факторів:

$$P = f(C, M, I, S), \text{ де} \quad (4.1)$$

$C$  – показник, що характеризує ступінь наближення системи до запланованої мети (групи цілей, виконуваних функцій) або – до специфіки організації самої системи (тим завданням, на які вона «заточена»);

*M* – матеріальний (квазіенергетичний) потенціал, що характеризує стан умовно матеріальних складових системи, що визначають її здатність виконувати роботу; на підприємстві цей показник у першому наближенні може бути кількісно оцінений вартістю основних та оборотних засобів виробництва, а також витратами на утримання персоналу;

*I* – інформаційна основа системи, основне призначення якої забезпечити ефективність реалізації матеріального (квазіенергетичного) потенціалу системи; на рівні підприємства показниками її оцінки може бути: фондвіддача, коефіцієнт оборотності оборотних засобів, продуктивність праці, ін.

*C* – синергетична основа, що характеризує стан зв'язків як у внутрішньосистемному, і на зовнішньосистемному рівнях; у формалізованому вигляді синергетична основа може оцінюватися кількістю зв'язків, а також витратами коштів або часу на реалізацію цих зв'язків.

Будь-яка відкрита стаціонарна система є дуже складним динамічним організмом, стан якого має постійно відтворюватися у просторі та часі. Зокрема системи як цілісні комплекси складаються: по-перше (у просторі), з матеріально-інформаційних елементів; по-друге (у часі), із процесів відтворення системи. Обидві сутнісні грані системи відповідають формулі: *ціле, більше суми частин* (у першому випадку – елементів, у другому – процесів).

Насправді характер формування системи як цілісного явища є ще більш складнішим. Триалектична природа системи зумовлює участь у процесі її формування цілий ряд матеріально-інформаційних, інформаційних та синергетичних (комунікаційних) груп факторів (цілей та функцій, синергетичних зв'язків, параметрів метаболічних потоків тощо). Кожна з них по суті теж є системою, так як до неї може бути застосована та сама формула: «ціле, більше суми частин». Таким чином, будь-яка система насправді сама

собою складається з комплексу підсистем. Їх зміст може бути охарактеризовано так:

- система *матеріально-інформаційних елементів* (підсистем), що утворюють просторове тіло системи;
- система *цілей та функцій*, що виконуються системою та її окремими елементами;
- система *процесів відтворення станів системи, що протікають у часі*, її елементів та зв'язків;
- система *еволюції* (передісторії) системи, включаючи історію систем, попередниць цієї системи;
- система *метаболических потоків* та їх перетворень (конвертацій);
- система *інформаційних систем*, що формують окремі компоненти системи, та їх систем пам'яті (тобто матеріально-інформаційних компонентів, що забезпечують накопичення, закріплення та відтворення інформації);
- система *внутрішньосистемних та зовнішньосистемних зв'язків*;
- система *обмежень* (просторових, тимчасових, ресурсних, ін.), у межах яких має існувати та розвиватися система;
- система *факторів зовнішньої середовища* (природних екосистем, соціальних систем, техногенної інфраструктури, клімату, космічних факторів, пр.);
- система *факторів зовнішнього середовища* (природних екосистем, соціальних систем, техногенної інфраструктури, клімату, космічних факторів, ін.);
- система *рушійних сил* (потреб, протиріч, мотивацій), що забезпечують спрямованість системи (і її окремих елементів) до функціонування та розвитку;
- система *механізмів*, що забезпечують стійкість стану системи та її змінність (механізми зворотного зв'язку, механізми трансформації, еволюційні механізми);

- система *організаційних принципів* функціонування системи та її самоорганізації.

Перелічені системні комплекси ще не вичерпують всього того різноманіття сутнісних граней, які формують процес відтворення стану системи. Зокрема, для соціально-економічних систем надзвичайно важливими є інші системні комплекси, в рамках яких функціонує система: система *прав та обов'язків*; система *громадських інститутів*; система *факторів соціального середовища* та ін.

Будь-яка відкрита стаціонарна система – це не тільки просторовий *об'єкт* (що складається з окремих компонентів), але й *процес*, що безперервно триває в часі (що складається з паралельних і послідовно окремих підпроцесів, тобто його підперіодів, або фаз). Тому визначення системи (як цілої, більшої суми частин), очевидно, має повною мірою враховувати не лише просторові, але й *часові* аспекти відтворення системи.

Коли говорять про те, що система формується під час взаємодії різних її елементів (частин), найчастіше передбачається, що це елементи є різними частинами простору, які здійснюють узгоджені дії у єдиному часовому континуумі. Це означає, що у кожен із моментів часу аналізованого періоду елементи одночасно здійснюють спільну діяльність (кожен – свою).

Однак, це лише частина істини, яка набагато складніша і повніша за сказане. Адже може йтися про *систему різних станів* однієї й тієї ж системи чи її елемента, фіксованих у різні моменти часу.

Таким чином, будь-який *процес відтворення стану системи* також слід розглядати як *ціле, більше суми окремих підпроцесів*, з яких він складається. Це, у 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 зміст своєї реалізації. Те ж саме стосується і результатів, отриманих у ході такого підпроцесу.

**Параметри часу** – це показники, що характеризують кількісні та якісні сторони реалізації окремих процесів (підпроцесів) відтворення системи. Серед основних з них можна назвати:

- *послідовність* (порядок чергування підпроцесів зміни стану системи);
- *тривалість* (період часу від початку до закінчення певного процесу);
- *темп* (ступінь швидкості зміни стану системи – час, протягом якого відбувається умовна одиниця змін стану системи);
- *швидкість* (кількість змін стану системи за одиницю часу);
- *рівень синхронності процесів* (ступінь одночасності перебігу процесів відносно один одного);
- *час перемикання* (період часу, який потрібний системі на перехід від одного процесу до іншого).

Для одних відтворювальних процесів однаково суттєвими є всі перераховані фактори. Для інших – лише деякі.

Крім зазначених показників може бути запропонований ще один, який пов'язує параметри часу з результатами змін стану системи – «щільність» часу.

**«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 потрібний системі на перерви в роботі, перемикання між окремими операціями, трансформації рівня її гомеостазу.

*Стратегічні* прагнення системи до підвищення рівня своєї ефективності і пов'язані з цим спроби неухильної інтенсифікації параметрів часу повинні гармонійно пов'язуватися з *тактичними* задачами щодо підтримки її *стаціонарного* стану, яке фактично «годує» систему, будучи джерелом надходження до неї *вільної енергії* (квазенергії). Реальність така, що постійно існує необхідність вибору між:

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

- ризиком та надійністю;
- «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, що схематично показано на схемі (рис. 2.9). При цьому неминуче має враховуватися третя група факторів, що обумовлюють період та швидкість зносу окремих підсистем та системи вцілому.

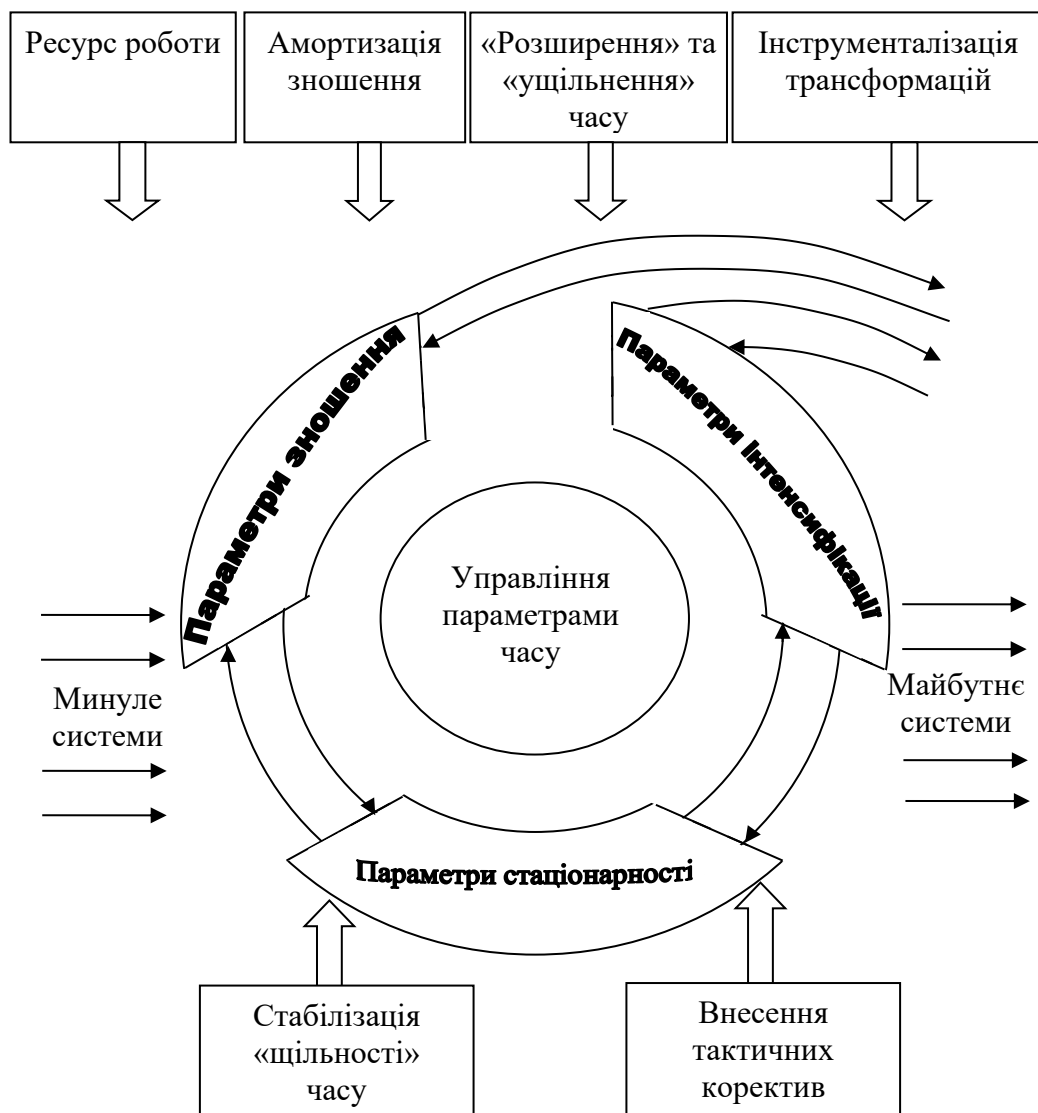


Рисунок 2.9 – Схема управління параметрами часу в рамках економічної системи



Існують значні можливості «ущільнення» часу здійснення модернізаційних трансформацій. Тут найперспективніші напрями пов'язані з максимальною *віртуалізацією* та *інструменталізацією* трансформаційних процесів. Перше пов'язане з максимальним перенесенням робіт, що пов'язані з обґрунтуванням, підготовкою і трансформацією системи, на віртуальний, тобто комп'ютерний рівень. Другий напрям передбачає максимальну уніфікацію (за «принципом трансформера») трансформаційних технологій.

Виконаний аналіз дозволяє зробити висновок, що розвиток будь-якої соціально-економічної системи є складним процесом, де постійно відбувається взаємна конвертація різних груп факторів.

Зокрема можна навести приклади ключових конвертацій в економічних системах:

- ✓ *цілі* конвертуються в *засоби*, а *засоби* – у *досягнення цілей*;
- ✓ *товар* конвертується у *гроші* (при його реалізації);
- ✓ *гроші* – у *товар* (наприклад, при придбанні необхідної сировини);
- ✓ *ціна* – в *обсяг продажів* (чим нижча ціна, тим більший обсяг товарів вдається продати);
- ✓ *обсяг продажів* – у *ціну* (збільшення обсягу продажів дозволяє знизити собівартість одиниці продукції та відпускну ціну);
- ✓ *час* – у *ціну* (чим триваліший період реалізації послуг, то дешевше він дозволяє реалізовувати послугу);
- ✓ *ціна* – у *час* (чим дешевше продається товар, тим швидше його можна продати, або: тим триваліше можна залишатися на ринку, реалізуючи свої вироби та послуги, створюючи передумови для збільшення обсягу продажів);
- ✓ *технологія* – у *товар* (чим досконаліша технологія, тим вища якість товару та/або дешевша собівартість його одиниці);
- ✓ *якість* – у *ціну/обсяг продажів* (чим вище якість товару, тим за більш високою ціною та/або більшу кількість його можна продати);

✓ *гроші* – в *інформацію* (чим вищі витрати на технологію, тим вищі шанси на її високий інформаційний рівень);

✓ *інформація* – в *людський капітал* (чим якісніша і повніша підготовка фахівця, тим вищий його професійний рівень);

✓ *людський капітал* – в *інформацію* (чим вища кваліфікація персоналу – тим досконаліші технології, які він здатний створювати та/або обслуговувати, а також більш якісніша продукція, яку він може виробляти);

✓ *інформація* – у *зв'язки* (чим досконаліший інформаційний алгоритм функціонування фірми, тим повніше та якісніше внутрішньогосподарські та зовнішньогосподарські зв'язки);

✓ *зв'язки* – в *інформацію* (чим повніше і якісніше зв'язки, тим більш узгоджена робота підсистем підприємства, і тим більшим обсягом більш ціннішої інформації про ринки вихідної сировини та збуту продукції воно має в своєму розпорядженні);

✓ *зв'язки* – у *час* (чим злагодніша робота виконавців, тим менше втрачається часу під час виготовлення продукції; чим надійніші та якісніші зовнішні зв'язки, тим швидше вирішуються питання постачання та збуту продукції);

✓ *одні види капіталу* – в *інші* (наприклад, гроші у виробничі активи та навпаки).

Таким чином, в економічних процесах постійно відбувається взаємна конвертація (перетворення) різних факторів: *грошей, матеріалів, енергії, часу, інформації, праці, зв'язків*. Це складний, багатоетапний процес, який протікає у просторі та часі постійно, поки функціонує економічна система.

Окрім показників, що характеризують зміну *якості стану* системи, ще одним важливим показником є її *стійкість* у часі. Стійкість соціально-економічного розвитку обумовлена характером процесів відтворення стану трьох базових систем: *економічної, соціальної та екологічної*. Кожен із цих процесів обумовлений власними параметрами часу: швидкістю, темпом, циклом (Хвесик та ін., 2012; Веклич, 2012).

*Економічна стійкість* передбачає стабільність економічних показників системи. Зовні це проявляється *темпами зростання показників, що не знижуються*, що відображають квазіенергетичний стан системи (дохід, прибуток) у часі: з року в рік, від покоління до покоління. Цьому перешкоджає низка обставин: фізичний і моральний знос основного капіталу, кризи перевиробництва, моральне старіння продукції, зростання диссипативних витрат у разі частого здійснення трансформацій (біфуркацій), деградація людського та соціального капіталу (що зумовлює зниження продуктивності праці, збільшення корупційних витрат, ін.).

*Соціальна стійкість* передбачає відносну стабільність та безпеку життя населення, наступність поколінь, високу якість життя, умови для існування стабільних сімей, гарантії щасливого проживання людей у будь-якому з періодів життєвого циклу, ін.

*Екологічна стійкість* передбачає можливість відтворення кількісних і якісних характеристик локальних екосистем та біосфери загалом за рахунок їх відтворювального потенціалу.

Екосистеми як гігантські реактори виробляють відновні природні ресурси і відтворюють порушену людиною якість компонентів природного середовища: атмосфери, води, ґрунту. Працюючи в такому режимі, природні системи мають певні відтворювальні характеристики: необхідний набір своїх компонентів, *несуча здатність* (тобто питома потужність або кількість роботи, яку вони здатні здійснювати в одиницю часу). Ці характеристики відображають оптимальний режим роботи «природного реактора», зокрема, необхідний період часу, за який може бути виконана одиниця роботи (вироблена одиниця природних ресурсів або очищений питомий обсяг природного компонента). Посилення екологічного навантаження на екосистеми веде до двох негативних наслідків: по-перше, забруднення, що потрапляють у природу, залишатимуться неочищеними; а по-друге, руйнуватимуться самі екосистеми.

### **3 ФОРМУВАННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПІДХОДІВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДО АДИТИВНОЇ ЕКОНОМІКИ НА ОСНОВІ ПРОРИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНСТИТУЦІЙНОЇ СОЦІОЛОГІЗАЦІЇ РІШЕНЬ**

#### **3.1 Науково-методичні підходи до оцінки ефективності переходу господарських систем до адитивних способів виробництва**

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.

Осмислення 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. В історичному контексті розвитку виробничих відносин, людство вперше цілеспрямовано ініціює зміну

в основному принципі взаємодії з природним середовищем. Цей зсув можна характеризувати як трансформацію від субтрактивних до адитивних методів виробництва.

Субтрактивні методи, що ґрунтуються на екстенсивному використанні та вилученні первинних природних ресурсів, поступаються місцем адитивним технологіям. Останні передбачають більш раціональне та ефективне використання матеріалів шляхом їх послідовного нанесення або додавання для формування кінцевого продукту, мінімізуючи відходи та знижуючи негативний вплив на екологічну систему. 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 на 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. Ці методи базуються на екстракції з природного середовища та застосуванні в виробничих процесах виключно тієї частини первинних ресурсів, яка є непосредньо необхідною. Готова продукція таким чином створюється послідовним додаванням виключно корисної частини природних субстанцій (енергії й матеріалів). Звідси метод отримав назву «адитивний» – від англійського *add* – *додавати*.

За грецьким міфом, героєві Тесею допомогла знайти вихід з Мінотаврового лабіринту нитка, яку дала йому дочка критського царя Аріадна. На основі цього міфу з'явився фразеологізм «нитка Аріадни», що означає рятівний вихід, дороговказ, керівна думка, спосіб, що допомагає вийти зі скрутного становища, вирішити важку проблему.

Тією рятівною «ниткою Аріадни», яка дозволяє людству вийти з лабіринту екологічних проблем виступає наразі адитивна економіка, побудована на адитивних технологіях.

Поняття «адитивної економіки» 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.

Як вже зазначено, 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 (див. рис. 3.1).

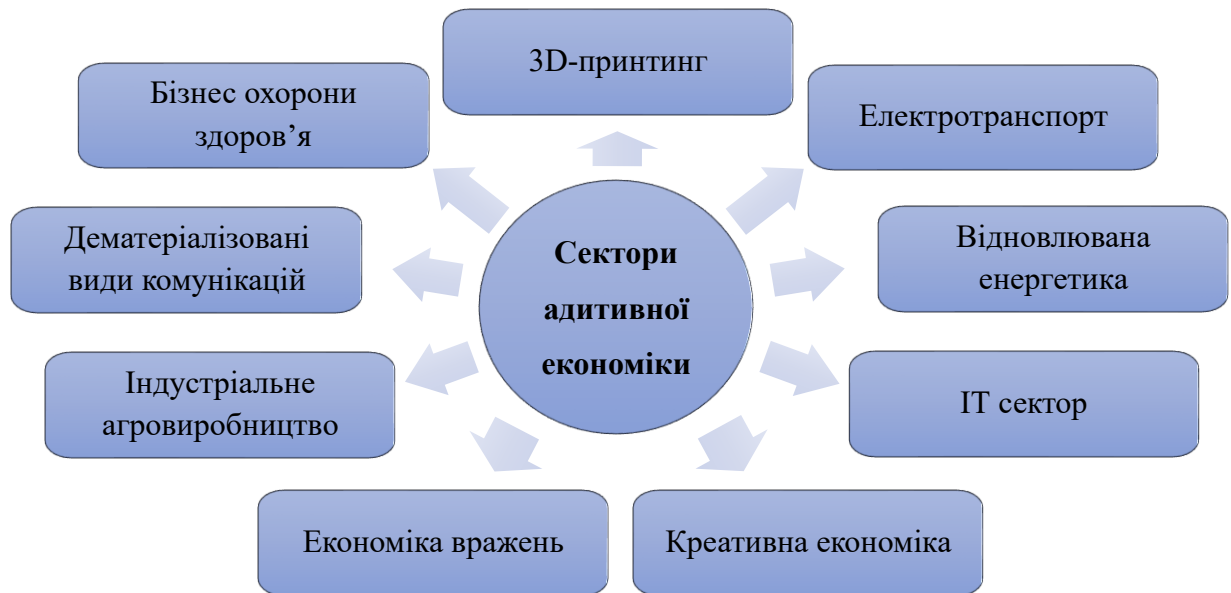


Рисунок 3.1 – Сектори економіки, які умовно можуть бути віднесені до адитивних

В наукових публікаціях розкривається зміст таких понять, як «адитивна технологія» та «адитивне виробництво» (Andreassen, 2023; Additive, 2021; Bromberger et al., 2022). 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 допомогою 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).

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.

Виявляється, впровадження засад адитивного виробництва веде до таких трансформацій, які взагалі змінюють контури функціонування людської цивілізації на планеті, й наслідки яких важко навіть уявити.

Існує об'єктивна закономірність переходу людства до адитивної економіки. Це обумовлюється факторами *необхідності, достатності і цілеспрямованості*. 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 XXI 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.

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 у традиційних її функціях. 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).

Будь-що нове ніколи не з'являється на порожньому місці. Воно має бути підготовлено необхідними передумовами. Щоб відбувся перехід до адитивної економіки необхідно сформулювати 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 груп 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 і 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.

Описані цифрові трансформації ініціюють перегляд внутрішньої структури та динаміки взаємовідносин між елементами як макро-, так і мікроекономічних систем. В академічній сфері такі процеси адаптації та зміни ідентифіковані як *реструктуризація*.

Економістами Сумського державного університету досліджено напрями трансформації господарства країни при переході до нової моделі економіки, що схематично показано на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Вектори трансформації компонентів економічних систем у контексті переходу до адитивної моделі економіки (авторська розробка)

Ключовою характеристикою процесів трансформації, що ведуть до оновлення фундаментальних принципів діяльності соціально-економічних систем, є їх біфуркаційна природа. Це передбачає, з одного боку, періодичне «перезавантаження» еволюційних траєкторій розвитку цих систем, а з іншого – відкриття простору для множинності варіантів подальшого розвитку на віртуальному рівні. Така ситуація надає унікальну можливість для корінних змін у функціонуванні систем, включно з адаптацією до передових технологій. Біфуркаційний аспект в розвитку економічних систем підкреслює необхідність впровадження постійного наукового моніторингу основних драйверів, механізмів та інструментарію, які стимулюють реструктуризаційні процеси та сприяють розробці стратегій розвитку, відповідних сучасним вимогам і кон'юнктурі ринку.

Трансформація національної економіки представляє собою комплексний процес, який виходить за рамки простої заміни технологічного підґрунтя виробничих процесів, включаючи інтеграцію альтернативних енергетичних джерел та впровадження технік 3D друку. Задля досягнення суттєвих змін, соціально-економічна структура країни вимагає комплексної перебудови, охоплюючи всі аспекти її діяльності від видобутку ресурсів до їх подальшої утилізації. Це передбачає реорганізацію не лише виробничих ланок, але й економічних відносин, соціальних інститутів, системи комунікацій та формування громадських об'єднань.

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, підвищення ефективності та оптимізацію складових виробничих циклів та логістики.

Формування циркулярної економіки веде до скорочення тривалості циклів відтворення ресурсної основи та утилізації відходів.

Аналітичний розгляд змісту, форм і особливостей різних аспектів реструктуризації, а також вивчення причинно-наслідкових зв'язків, що лежать в основі цих процесів, дозволяє обґрунтовано визначати стратегії розподілу суспільних ресурсів, забезпечувати ефективне планування економічної діяльності та цілеспрямовано розвивати людський капітал для виконання майбутніх завдань.

### **3.2 Розробка методології оцінки ефектів вірусної природи поширення проривних технологій в господарських системах**

Під час карантину, викликаного пандемією COVID-19, мало хто зосереджувався на аналізі універсальності властивостей цього вірусу. Проте, детальне дослідження цих аспектів відкриває можливості для глибшого розуміння базових принципів та механізмів, які вірус використовує для впливу на уражені системи, особливо біологічні організми. Отримані знання можуть бути використані для розробки спеціалізованого інструментарію контролю над аналогічними процесами у різноманітних системах, включаючи не тільки біологічні, але й соціально-економічні системи, що становить особливий інтерес.

У процесі еволюції *соціально-економічних систем* існують феномени, аналогічні *вірусним інфекціям* у біологічних організмах, з точки зору їх впливу на механізми функціонування та розвитку. Специфічні аспекти цього впливу включають:

- вплив на критичну компоненту системи, яка відіграє центральну роль у забезпеченні інформаційного потоку для її функціонування;

- результатом такого впливу є реорганізація метаболічних процесів, критичних для підтримки життєдіяльності системи;
- система реагує на виклик через формування захисних механізмів, спрямованих на нейтралізацію або адаптацію до деструктивного фактора;
- у випадку, коли ресурси захисних механізмів виявляються недостатніми для повного блокування впливу, система змінює свій метаболізм для адаптації, замінюючи механізми негативного зворотного зв'язку, що підтримують її стабільність, на механізми позитивного зворотного зв'язку.

Більшість фахівців у світі поділяють думку, що світ після пандемії 2020 року зазнає істотних змін. Проте, деталі цих трансформацій часто залишаються невизначеними. У нашій роботі ми намагатимемося детально описати природу майбутніх змін, підкріплюючи свої аргументи відповідними аналітичними матеріалами.

Актуальність даного дослідження обумовлена двома ключовими аспектами: об'єктом дослідження та застосованими методами. Дослідження зосереджено на аналізі динаміки ключових секторів економіки, які відіграють вирішальну роль у забезпеченні сталого розвитку соціально-економічних систем на національному рівні. Ці сектори є фундаментом для національної безпеки, зокрема енергетичної, та важливими для забезпечення стійкості регіонального розвитку.

Прогностична спрямованість дослідження надає йому високу практичну вартість. Розробка моделей майбутнього розвитку соціально-економічних систем дозволяє з значною достовірністю ідентифікувати потенційні проблемні зони в еволюційних розвиткух, оптимізувати цілепокладання та збільшити ефективність використання ресурсів для реалізації цілей.

Сучасне покоління знаходиться на порозі переходу до нової соціально-економічної формації. Основу будь-якої економічної формації становлять продуктивні сили, серцевиною яких є базовий технологічний принцип, що керує метаболізмом системи. Детальний аналіз цих трансформаційних процесів розкриває ознаки, аналогічні квазівірусним явищам.

Одним із критичних аспектів є вплив на ключовий компонент системи, який визначає основи її інформаційної структури. На цій основі складається алгоритм внутрішньо- та зовнішньосистемного метаболізму, а також стратегія розвитку системи у часі. В *біологічних системах* роль такого компонента відіграють клітинні ядра з їх генетичним кодом. В *економічних системах* аналогічну роль виконують засоби виробництва, що імплементують базовий технологічний принцип, який є інформаційним кодом даної формації.

В контексті економічної теорії інновації виконують функції аналогічні вірусам у біологічних системах, адже вони «інфікують» економічні системи, змушуючи їх адаптуватися або трансформуватися. Така впливовість інновацій обумовлена їхньою здатністю ініціювати зміни до того, як система розробить ефективні механізми адаптації або «протиотруту», що в економічному контексті може виступати у формі негативного зворотного зв'язку для нейтралізації такого впливу.

Відмінність квазівірусних явищ у економіці від біологічного вірусного впливу полягає в їхньому потенціалі для здійснення як негативного, так і позитивного впливу на систему. У біологічних організмах, оптимальний режим функціонування забезпечується через вроджений механізм гомеостазу, що не дозволяє організму ефективно функціонувати поза встановлених параметрів. Відхилення від цих параметрів може мати фатальні наслідки, вважаючись виключно негативними.

На відміну від цього, в економічній сфері, інновації та їхні квазівірусні ефекти можуть ініціювати як руйнівні, так і благодіючі зміни. Позитивний аспект полягає у тому, що інноваційні процеси можуть сприяти еволюції системи, покращуючи її адаптивні здібності та ефективність через перебудову економічного «метаболізму».

Дисемінація інновацій у межах економічних систем відбувається через два основних процеси: *трансфер* та *дифузю* інновацій. Трансфер інновацій визначається як процедура передачі інформації про інноваційні розробки через специфіковані комунікаційні мережі, що дозволяє переносити знання від

одного суб'єкта (який може бути як приватним, так і колективним) до іншого. З іншого боку, дифузія інновацій описує процес широкомасштабного розповсюдження конкретизованих знань про нові продукти або технології, які базуються на цих інноваціях, сприяючи таким чином їх інтеграції в економічний обіг.

Сучасний перехід до нової економічної парадигми передбачає глибоку трансформацію традиційного індустріального метаболізму. Ключові напрямки цієї трансформації ілюструються у візуальному матеріалі, зокрема, на рис. 3.3, де відображені найважливіші вектори змін, які спостерігаються у сфері економічних інновацій.



Рисунок 3.3 – Основні вектори трансформаційних змін у сучасному фазовому переході (розробка авторів)



У рамках сучасної економічної теорії спостерігається концептуальний зсув від традиційної технологічної парадигми, яку умовно можна класифікувати як «буру» економіку, до інноваційної моделі, характерної для цифрової або «зеленої» економіки.

«Бура» економіка характеризується використанням енергоінтенсивних технологій та машинної обробки великих об'ємів невідновлюваних природних ресурсів, залучаючи при цьому субтрактивні методи виробництва. Ці методи базуються на видаленні надлишкового матеріалу з видобутих ресурсів, що веде до розриву природних циклів. З організаційної точки зору, така модель покладається на вертикальні, людиноцентричні схеми управління, де виробничі фактори зосереджені у великих промислових комплексах, які, як правило, належать обмеженій частині суспільства. Це контрастує з принципами «зеленої» економіки, яка орієнтована на стале використання ресурсів, цифровізацію процесів та розподілене виробництво, що сприяє ефективнішій ресурсно-енергетичній економіці та зменшенню екологічного навантаження.

*Цифрова економіка* розвивається на основі технологій, які мінімізують енергоспоживання та оптимізують використання відновлюваних ресурсів через імплементацію адитивних виробничих методів. Ці методи характеризуються створенням продукції шляхом послідовного нанесення матеріалу, що сприяє точності та ефективності виробництва, а також зменшенню відходів. Кругова економіка, яка виступає основою бізнес-моделей у цифровій економіці, забезпечує перехід від традиційної до цифрової моделі, сприяючи сталому розвитку (Melnyk, 2019). З організаційної точки зору, цифрова економіка спирається на кібернетичні та обчислювальні хмарні технології, що дозволяють децентралізувати управлінські процеси та розподілити виробничі ресурси. Така децентралізація веде до створення горизонтальних мереж, ресурси яких належать значній частині населення, закладаючи фундамент для розвитку солідарної економіки, що сприяє рівномірному розподілу багатства та ресурсів.

Зі зростанням темпів зміни найважливіших показників, що визначають характер функціонування сучасних соціально-економічних систем, виникає можливість порівнювати розповсюдження технологічних інновацій з інфікуванням людей під час пандемій. Серед таких показників можна виділити: обсяги інформації, що виробляється; кількість користувачів мобільних телефонів; питома вага відновлювальної енергії; кількість інтернет-користувачів; потужності акумулювання енергії; кількість користувачів персональних комп'ютерів; кількість промислових та побутових роботів; кількість працівників, які працюють дистанційно; кількість 3D-принтерів; кількість «розумних» пристроїв, підключених до мережі; кількість онлайн-оплат.

Ці тенденції відображають контури нової, умовно названої «цифрової» економіки, яка характеризується значними змінами в структурі виробництва, споживання та економічних відносин. Візуалізація динаміки зазначених змін, наприклад, у рості кількості приватних сонячних електростанцій в Україні (рис. 3.4), демонструє інтенсивність та швидкість розвитку подібних тенденцій. З лише 20 установок три роки тому до майже 25 000 на початку 2020 року, цей приклад відображає швидке розширення технологічного прийняття, що за своєю динамікою може бути порівняне з експоненціальним зростанням числа випадків зараження COVID-19, нагадуючи про необхідність адаптації до швидко змінюваних умов нової економічної реальності.

Спостереження за динамікою придбань електромобілів населенням виявляє подібну тенденцію до швидкого зростання. Відзначено, що у 2012 році кількість електромобілів, придбаних у країні, становила всього 7 одиниць. Проте, до першого кварталу 2020 року, цей показник зріс до значних 27 тисяч одиниць. Прогнози на 2024 рік вказують на продовження цієї тенденції з очікуваним досягненням позначки в 246 тисяч електромобілів, що підкріплено даними з досліджень (Українці, 2020; Свіжа, 2019).

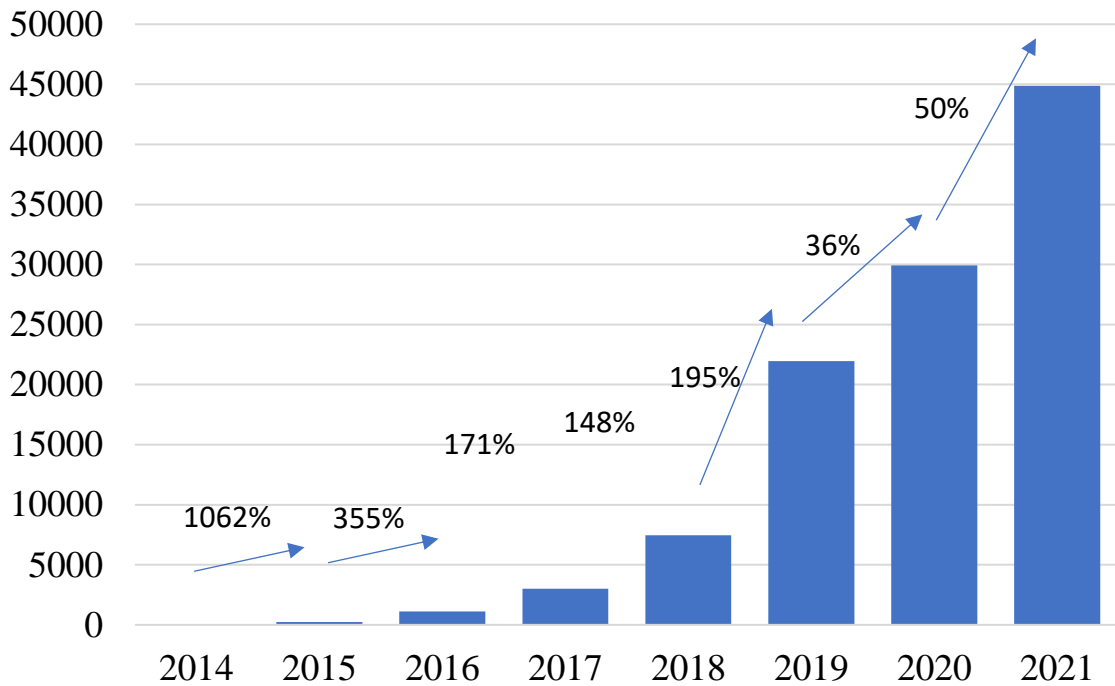


Рисунок 3.4 – Динаміка приватних сонячних електростанцій в Україні

Фазовий перехід у економічних системах характеризується як період, коли елементи старої та нової економічних формацій існують паралельно, часто вступаючи у протиріччя та конкуренцію між собою. Цей процес відбувається на фоні фундаментальних відмінностей у технологічних підходах, виробничих циклах та галузевій структурі, що стосуються обох укладів. Найбільш наочно це можна спостерігати на прикладі енергетичного сектора, де відбувається конкуренція між традиційними технологіями, що залежать від використання органічного палива, та альтернативними технологіями, що опираються на відновні джерела енергії.

Рік 2020 став значущим моментом у розвитку енергетичного сектора, коли економічні показники традиційної та альтернативної енергетики досягли певного рівня паритету. Від цього моменту ключову роль у визначенні майбутнього енергетики починають відігравати технологічні тренди, які, за прогнозами, сприятимуть подальшому розвитку альтернативних джерел енергії на противагу традиційним.

Хоча базові показники розвитку енергетики можуть варіюватися в залежності від регіону, загальний тренд демонструє універсальність: умови

для видобутку викопних енергоресурсів стають все більш складними. Зокрема, необхідність залучення до експлуатації все глибших шахт та свердловин, а також поступове зміщення районів видобутку на великі відстані, лише підкреслює зростаючі виклики, з якими зіштовхується традиційна енергетика.

Ефективність технологій традиційної енергетики поступово досягає своєї теоретичної максимальної межі, демонструючи обмежені можливості для подальшого покращення. Інновації у сфері сланцевих технологій здатні розширити обсяги добування паливних ресурсів, але це призводить лише до тимчасового зниження темпів зростання вартості енергоресурсів, не забезпечуючи тривалого зниження або стабілізації витрат на їх добування.

В контексті альтернативної енергетики, яка не залежить від використання природних вуглеводневих ресурсів, спостерігається зовсім інший тренд. Технологічні інновації в цій галузі відкривають безпрецедентні можливості для зростання ефективності виробництва. Зокрема, інформаційні технології відіграють ключову роль у формуванні технологічної бази, яка дозволяє суттєво підвищувати продуктивність енергосистем. Яскравим прикладом цього є стрімкий ріст коефіцієнта корисної дії (ККД) сонячних панелей, який за останні п'ятдесят років збільшився майже вдсятеро, переходячи з одиничних відсотків до значень, що перевищують 20%. Такий перехід наголошує на важливості зосередження уваги на розвитку та впровадженні передових технологій у сфері альтернативної енергетики, які володіють потенціалом радикального трансформування енергетичної галузі, зменшення залежності від традиційних джерел енергії та сприяння сталому розвитку.

Технологічний прогрес впливає на самі основи технологічних процесів, модифікуючи їх за допомогою інновацій, що забезпечує значне підвищення їх ефективності. Такий вплив можна проілюструвати на прикладі ключових напрямків розвитку технологій, серед яких вирізняються:

- *Радикальне покращення коефіцієнта корисної дії (ККД) технологічних систем.* За останні п'ятдесят років спостерігається імпресивне

зростання ККД практично використовуваних установок з одиниць відсотків до 20-30%, тоді як дослідні зразки досягають значень у 46%. Дослідження вказують на потенціал подальшого збільшення ККД сонячних енергетичних систем до 66-85%, що підкреслює можливості інновацій у цій сфері (ККД, 2019; Найкращі, 2019). Важливу роль у цьому процесі відіграє також удосконалення контролю якості енергоресурсів (Matsenko, 2013).

- *Зниження вартості потужності сонячних батарей*, що є частиною тенденції до мініатюризації технологій виробництва сонячної енергії. Цей процес вдало описується через аналогію із законом Мура, де за принципом, відомим як «закон Свансона» (рис. 3.5), вартість фотоелектричних елементів знижується на 20% з кожним подвоєнням виробничих потужностей. Це призводить до зниження вартості фотоелементів на 10% щорічно, або вдвічі кожні три роки, що підтверджено даними реальної практики (Naam, 2011; Закон, 2014).



Рисунок 3.5 – Динаміка зниження питомої вартості сонячного модуля відповідно до закону Свансона (Solar, 2018)

*Оптимізація роботи сонячних енергетичних установок за допомогою інноваційних конструктивних рішень спрямована на повну реалізацію їхнього*

виробничого потенціалу. Впровадження таких технічних інновацій, як системи автоматичного слідкування за сонцем та охолодження фотоелектричних панелей за допомогою зволожуючих агентів, демонструє вражаючу здатність збільшувати коефіцієнт корисної дії (ККД) на 15-19%. Такі рішення не тільки підвищують продуктивність сонячних батарей, але й сприяють ефективнішому використанню наявних ресурсів (Naam, 2011; ККД, 2019; Голованов, 2020).

*Конвергенція різноманітних технологій альтернативної енергетики* відкриває нові горизонти в оптимізації енергосистем. Інтеграція сонячних панелей, вітрових генераторів та теплових насосів в єдину систему дозволяє значно підвищити синергетичний ефект від їх спільної роботи. Така багатоаспектна система може ефективно функціонувати в різних умовах, забезпечуючи стабільне енергопостачання незалежно від часу доби або погодних умов, тим самим максимізуючи використання відновлюваних джерел енергії (Solar PV, 2020; Now, 2020).

*Ефективне акумулювання альтернативної енергії* виявляється ключовим фактором у розв'язанні проблем балансування між виробництвом та споживанням електроенергії в умовах нерівномірного її вироблення залежно від погодних умов. Проблеми з розбалансуванням енергосистем вже призвели до використання негативних цін на електроенергію, особливо в європейських країнах, як засіб підтримки стабільності. Наукові досягнення у сфері акумуляції енергії розвиваються стрімкими темпами. Високоєфективні та відносно недорогі акумулятори дозволяють зберігати електроенергію, вироблену у піку сприятливих умов, для подальшого використання в періоди пікового споживання або низької виробництва. За останні п'ять років спостерігається значне зниження витрат на зберігання електроенергії, з 580 до 160 USD/MWh, що вказує на стрімкий прогрес у цій області. Це відбувається на тлі динаміки вартості електроенергії, виробленої за різними альтернативними технологіями (Solar, 2020).

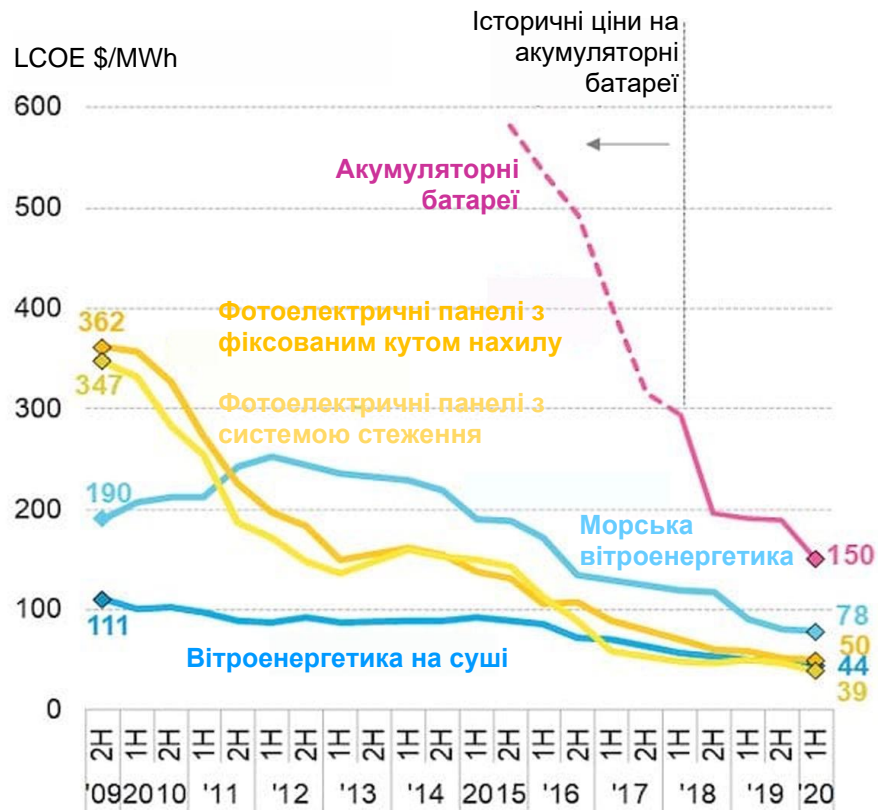


Рисунок 3.6 – Динаміка зміни питомої вартості виробництва та зберігання електроенергії

Використання схожих технологічних можливостей має значущий стимулюючий вплив на розвиток альтернативних джерел енергії. Завдяки єдиній інтеграції з генеруючими системами акумулювання енергії, потенціал підвищення їх ефективності значно зростає. Відзначено, що сумарна ємність акумуляційних потужностей з 2018 року потроїлася, що свідчить про стрімкий розвиток цієї сфери (Remarkable, 2020).

З урахуванням розвитку технологій та тенденцій, що визначені Законом Свансона (рис. 3.5), була проведена оцінка прогнозних середніх значень загальних витрат на виробництво одиниці енергії за допомогою як традиційних, так і альтернативних технологій (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Прогноз середніх значень повних витрат виробництва електроенергії, USD/MWh (авторський розрахунок)

Джерело виробництва електроенергії	Рік		
	2020	2025	2030
Традиційні технології спалювання органічного палива (з врахуванням зовнішніх екологічних витрат)	61-159	65-175	75-205
Традиційні технології спалювання органічного палива (без врахування зовнішніх екологічних витрат)	51-133	55-146	63-188
Альтернативні джерела енергії	62-146	38-91	24-56

Як видно з розрахунків, на початку 2020-х років ми спостерігаємо періоди, коли витрати двох розглянутих технологій стають приблизно однаковими. Важливо відзначити, що ці розрахунки є орієнтовними. Однак вони дозволяють зробити висновок, що еколого-економічна вигода альтернативних джерел енергії не ставиться під сумнів. Зараз питання полягає в тому, коли вони остаточно здобудуть домінуючі позиції у сфері економіки (Slav, 2020).

Навіть за умови, що прогнольні оцінки, представлені у цій роботі, є орієнтовними, вони надають можливість зробити кілька важливих висновків.

Конкурентні переваги нових технологічних принципів, які виникли завдяки сучасним промисловим революціям, є очевидними для дослідників, що глибоко вивчають цю проблематику. Головне питання полягає в тому, коли ці переваги стануть очевидними для політиків, які приймають рішення на рівні національних економік, і для представників бізнесу, які безпосередньо здійснюють економічні процеси.

Своєчасні та адекватні кроки щодо впровадження основ нових технологічних принципів є ключовим чинником, який формує передумови для здобуття конкурентних переваг на міжнародному ринку праці. Відставання від об'єктивного розвитку процесів технологічних змін може викинути країну на позиції аутсайдерів.



Вирішення зазначених питань настільки актуальне, що фактично воно є предметом національної безпеки.

У другій половині 2010-х років Україна здійснила ряд важливих адміністративних та правових заходів для впровадження основ нових технологічних засад у економічні системи. Це дозволило країні вийти на лідируючі позиції серед європейських країн у розвитку альтернативної енергетики та електротранспорту.

Проте кожен крок на цьому шляху пов'язаний з потребою системного вирішення складних організаційних та економічних проблем. Несвоєчасне вирішення цих питань може призвести до виникнення кризових явищ, які мають системний характер. В сучасний час серед найгостріших питань належать цифровізація енергетичних процесів для підвищення ефективності енергоменеджменту, перехід на аукціонну систему тарифів в електриці, розвиток інфраструктури для «зеленої» енергетики та «зеленого» транспорту, створення ефективних систем акумуляції енергії та формування горизонтальних структур в енергетиці та матеріальному виробництві. Завтра вже виникне питання формування національної системи Інтернету речей.

Справді, сьогодні суспільство вже живе в інформаційному світі та інформаційній економіці. Успіх в цьому світі залежить від здатності керувати потоками речовини, енергії та інформації за допомогою інформаційних інструментів. Світ вже переживає фазовий перехід до нової соціально-економічної формації, де продуктивні сили базуються на альтернативних джерелах енергії, адитивних методах матеріального виробництва та кіберфізичних системах. Управління цією новою реальністю нагадує керування «хмарою» даних та ресурсів. Для досягнення успіху в цьому інформаційному та технологічному середовищі, важливо бути готовим до постійних змін і інновацій. Ті, хто володіють навичками аналізу даних, цифрової технології та вміннями працювати з інформацією, матимуть перевагу у цьому новому світі.

За темпами трансформаційних процесів цей фазовий перехід нагадує явище вірусного інфікування біологічних організмів. Спільним в обох явищах і те, що предметом впливу, що зумовлює критичні трансформації системи, стає її інформаційна основа. Внаслідок цього відбувається радикальна перебудова метаболічних потоків.

В економічній системі роль квазівірусного фактора грають технологічні інновації, що докорінно змінюють базовий принцип технологічних процесів. В даний час здійснюється перехід від енергоємних процесів машинного субтрактивного впливу на природну речовину до інформаційних неенергоємних адитивних методів виробництва.

Виконаний у роботі порівняльний аналіз енергетичної основи вказаних моделей показує незаперечні переваги нової економіки. Конкурентні переваги альтернативних технологічних принципів очевидні для дослідників даної проблематики.

Своєчасний та адекватний перехід країни до нової моделі продуктивних сил та економічних відносин є питанням національної безпеки. Зазначені трансформаційні процеси не можуть бути здійснені разовим стрибком, але вимагають системного поетапного відтворення рішень проблем, що виникають. Це, у свою чергу, вимагає принципово нової моделі управління національною економікою, що поєднує централізоване коригувальне (але не командне) управління та максимальну ініціативу та самоорганізацію окремих виробничих та територіальних структур.

Успішне вирішення цього завдання залишає країну в тренді магістральних напрямів початку нової економіки, забезпечуючи передумови сталого соціально-економічного розвитку. Несвоєчасна реалізація на національному рівні трансформаційних процесів прирікає країну на процеси економічного застою та соціальної деградації.

### **3.3 Обґрунтування інструментарію забезпечення проривного фазового переходу економічних систем до господарювання на засадах індустрій 3.0, 4.0 та 5.0**

Сьогодні, коли людство зазнає вплив одночасно трьох промислових революцій і переживає нескінченні технологічні та соціально-екологічні трансформації, поняття фазового переходу перетворюється на одне з найактуальніших. Адже стає все очевиднішим, що окремі революційні зміни в технічній і соціальній сферах насправді є ланками єдиного системного фазового переходу (ФП) до нової соціально-економічної формації.

Так, аналогія з фізичними фазовими переходами може бути застосована і до соціально-економічних систем. У соціальних та економічних системах також можна спостерігати «фазові переходи», коли фізичні властивості системи (наприклад, структура економіки, технологічні зміни, політичні конфігурації) різко змінюються під впливом різних факторів, таких як інновації, зміни в урядовій політиці, соціокультурні зміни тощо. Ці фазові переходи можуть бути як позитивними (наприклад, розвиток нових технологій, які змінюють спосіб виробництва), так і негативними (наприклад, економічні кризи або соціальні конфлікти). Важливо розуміти, що такі переходи можуть бути непередбачуваними та змінювати всю структуру та функціонування системи. Тому управління та адаптація до фазових переходів стають ключовими в умовах сучасного світу, де інновації та зміни відіграють важливу роль в розвитку економіки та суспільства.

Аналогічно, характеристики спільнот, які живуть за різних соціально-економічних устроями, істотно розрізняються, так само як властивості різних фаз. Соціально-економічні устрої, такі як первіснообщинний, феодальний і індустріальний, представляють різні фази соціально-економічного розвитку. Однак сьогодні на Землі існують території, де різні спільноти людей живуть одночасно за законами різних соціально-економічних устроїв. Крім того, на одній і тій самій території, наприклад, у країні або місті, можна спостерігати

сусідство цих різних соціально-економічних устроїв, подібно до того, як в одній водоймі або посудині можуть одночасно перебувати вода і лід (Пекар, 2010).

Динамічні системи дійсно характеризуються постійним розвитком та змінами їхніх властивостей. В цьому контексті, визначення фази можна розглядати як не лише просторовий, але і часовий аспекти системи. Іншими словами, фазою системи може бути не лише її просторовий фрагмент, а також часовий відрізок історії її існування. Це відображається в деяких визначеннях фази як періоду, стадії або етапу розвитку системи або явища.

Це абсолютно правильно. Соціально-економічні формації, про які ми говорили, можуть існувати одночасно на різних територіях, а також взаємодіяти та змінювати одна одну в різні історичні періоди часу на одній і тій самій території.

Початок розділу ми розпочали з фізичних понять. Не випадково, що в останні часи спостерігається взаємодія наукового інструментарію та понятійного апарату між різними сферами знань. Сучасному людству потрібно синтезувати свої знання, що має об'єктивні передумови. Ці передумови обумовлені інтеграційним характером процесів у суспільстві. Міждисциплінарні методологічні підходи дозволяють глибше розуміти закономірності соціально-економічних систем шляхом аналогій з процесами еволюції фізичних систем.

Поняття «фазовий перехід» насправді представляє собою одну з аспектів філософської категорії «перехід кількості в якість». В контексті фазових переходів порушується лінійний характер залежності в поведінці системи, де раніше діяло правило «чим більше або менше, тим краще». Така система переходить від адаптаційних форм розвитку до біфуркаційних.

Під час таких періодів система проймає кардинальні трансформації і перебудовує свою структуру, що суттєво змінює як внутрішні, так і зовнішні зв'язки. Практично одні форми і вміст системи змінюються на інші. З фізичної точки зору це можна розглядати як катастрофу попереднього стану системи.

У компенсацію втрати попередньої якості системи спостерігається значне збільшення варіативності напрямків її розвитку. Кількість потенційних станів, які система може набути під час такого переходу, багаторазово зростає (один із багатьох).

Необхідно підкреслити важливу особливість. Під час фазових переходів існує чітка детермінованість у формуванні параметрів нового стаціонарного стану, який система має набути після фазового переходу. У цьому контексті поведінка системи будь-якого типу - фізичної, біологічної, соціальної - повністю підпорядкована конкретним фізичним закономірностям.

Основний зміст цього полягає в тому, що за межами фазових переходів всі системи існують у стаціонарному і стійкому стані. Будь-який стаціонарний стан системи підтримується за допомогою гомеостазу, який представляє собою вузький діапазон параметрів, в якому система функціонує. Гомеостаз системи є геніальним природним механізмом, оскільки параметри гомеостазу забезпечують мінімізацію виробництва ентропії системою в наявності певних умов у зовнішньому середовищі. Іншими словами, параметри гомеостазу дозволяють системі максимально відповідати характеристикам середовища під час функціонування. Водночас це забезпечує максимальну ефективність роботи системи, оскільки вона використовує мінімальну кількість вільної енергії на виконану роботу.

Після фазового переходу система змінює свої параметри, але це відбувається в межах наявного фундаментального критерію. Цей критерій можна сформулювати так: параметри системи повинні забезпечувати мінімізацію виробництва ентропії (дисипації енергії) в умовах зовнішнього середовища.

Механізм зворотних зв'язків виконує функцію адаптації або підстроювання параметрів гомеостазу до їхніх оптимальних значень для конкретних умов зовнішнього середовища. Цей процес відбувається в межах адаптаційних еволюційних механізмів, переважно через дію механізмів негативного зворотного зв'язку. Вони працюють, зберігаючи основну

структуру системи та її внутрішні та зовнішні зв'язки. Проте коли адаптаційні можливості системи в межах наявного гомеостазу вичерпуються, система вимушена здійснити стрибок і перейти на новий рівень гомеостазу. Цей новий рівень може бути як вищим, так і нижчим за той, що існував раніше. Для досягнення цієї мети вже активно задіяються механізми позитивного зворотного зв'язку.

При аналізі передумов до сучасного *фазового* переходу, слід виділити кілька ключових подій. У групі *матеріально-енергетичних* чинників вирішальну роль починають відігравати наступні аспекти:

- створення конкурентоспроможної альтернативної енергетики з масовим зберіганням енергії: цей аспект вказує на важливість розвитку альтернативних джерел енергії та технологій зберігання енергії, щоб забезпечити сталу та ефективну постачання енергії для сучасного суспільства;
- формування принципово нової виробничої основи на базі адитивних технологій і 3D-принтерів: ця подія вказує на важливість розвитку передових виробничих методів, таких як адитивні технології та 3D-друку, які можуть змінити спосіб виробництва і постачання товарів та послуг.

У групі *інформаційних* чинників нарівні з масовою комп'ютеризацією найважливішою роллю відіграють наступні аспекти: створення єдиної цифрової інфраструктури для фіксації та передавання інформації, що забезпечує комунікацію між людьми, між людьми та машинами, а також між машинами. Ця інфраструктура є основою сучасних засобів зв'язку і інформаційної обміну; формування концепції «хмари», яка представляє собою глобальну систему зберігання та обробки даних. Ця «хмара» відіграє роль своєрідного керівного центру, який надає доступ до інформації та обчислювальних ресурсів для різних цілей; використання штучного інтелекту та «розумних» кіберфізичних систем, таких як «Інтернет речей».

У групі *синергетичних* чинників, які впливають на сучасне економічне та суспільне життя, розглянуто такі ключові аспекти: тотальна мережевізація економічних систем і суспільного життя на основі інтернету: Цей аспект

включає в себе інтенсивний розвиток інтернет-технологій та їх вплив на всі аспекти життя; формування горизонтальних виробничо-споживчих структур: Ця тенденція полягає в переході від традиційних ієрархічних структур виробництва до більш децентралізованих і гнучких систем; виникнення міжконтинентальних віртуальних підприємств: це новий тип організаційних структур, які використовують віртуальні технології для співпраці та роботи через великі відстані.

Сучасний фазовий перехід відзначається глобальними процесами, що мають вирішальний вплив на суспільство і економіку. Ця явища мають декілька ключових чинників, що сприяють їх глобальному характеру: міжнародний характер масмедіа, зокрема телебачення та інтернету, створює безпрецедентну можливість для глобального поширення інформації і ідей; інтерналізація науки та освіти допомагає у зміцненні зв'язків між науковими спільнотами з різних країн і сприяє обміну знаннями та інноваціями; всесвітні екологічні проблеми, зокрема зміна клімату, вимагають глобального співробітництва та спільних зусиль для їх вирішення. У цьому контексті, концепція «економіки космонавтів», яку вперше запропонував американський економіст К. Боулдинг у 1966 році, стає дедалі актуальнішою. Вона передбачає необхідність зміни соціально-економічних відносин в напрямку солідарної економіки та максимального залучення громадян до управління територіями.

Фазові переходи, підпорядковуючись загальним фундаментальним закономірностям, проявляють свої особливості у кожній сфері, де вони відбуваються, включаючи фізичну, біологічну та суспільну сфери. Давайте докладніше розглянемо це питання.

Згідно з визначенням фазових переходів, властивості системи змінюються при неперервних змінах її зовнішніх параметрів. Однак важливо відзначити важливий аспект. У разі економічних систем вплив на їхню поведінку не обмежується лише зовнішнім середовищем; сама система також може впливати на стан зовнішніх параметрів оточення.

З нашої точки зору, ключовим фактором, який впливає на зміну параметрів зовнішнього середовища, є витрати праці, які працівники конкретної економічної системи спрямовують на виробництво товарів та послуг. Ці витрати призводять до складних процесів товарно-грошових відносин, які виникають при реалізації готової продукції, і вони постійно змінюють зовнішні умови. Ці зміни визначають поле чинників, що впливає на виникнення фазового переходу в економічній системі. Важливо враховувати, що під витратами праці необхідно враховувати не лише кількісні, але і якісні параметри трудових процесів. Це означає, що наряду з обсягом роботи важливими є також інші аспекти, такі як підвищення інформаційної ємності праці, підвищення її ефективності та посилення ступеня синергетизму.

Ці процеси виникають через зміни параметрів зовнішнього середовища, зокрема, через ставлення потенційних інвесторів та споживачів до продукції підприємства. Поступово накопичуючи ресурси завдяки праці працівників підприємства, вони можуть стати передумовами для стрибкоподібних змін статусу підприємства. Наприклад, з маленької виробничої одиниці воно може перетворитися в акціонерне товариство, а потім в трансконтинентальну корпорацію.

Зазначена динаміка економічних процесів також супроводжується мініфазовими переходами, що відбуваються на глибині цих процесів. Уявімо їх як мініатюрні фазові переходи, в яких виробничі запаси перетворюються на товарну форму готової продукції, а вже ця готова продукція трансформується в грошові потоки. Останні використовуються для залучення необхідних ресурсів, таких як сировина, матеріали, основні фонди, інформація та робоча сила.

Важливо підкреслити, що тенденція до мініфазових переходів також залежить від впливу зовнішніх факторів, таких як попит на продукцію, ціни на сировину та економічна кон'юнктура. Ці фактори можуть створювати умови, сприятливі або навпаки, для зміни мініфазових переходів на користь підприємства. Проте не можна забувати, що передумови для зміни цих



мініфазових переходів закладаються завдяки праці працівників підприємства. Їхня праця, ефективність та творчість грають важливу роль у створенні сприятливих умов для зміни та адаптації. Продуктивність та якість роботи працівників можуть визначити успіх або невдачу в мініфазових переходах, а також загальну стійкість підприємства до змін на ринку.

Вплив людського фактора у процесах фазових переходів до нових соціально-економічних формацій є вирішальним, незважаючи на свою специфіку. Роль імпульсу, який стимулює зміни параметрів зовнішнього середовища, також залежить від праці людини. Але важливість полягає в тому, що цей вплив може мати деструктивні наслідки для екосистем планети. З часом негативні наслідки деструктивних процесів праці призводять до деградації середовища. Рано чи пізно перед людськими спільнотами виникає дилема: чи провести фазовий перехід до більш ефективної та менш деструктивної моделі економічного устрою, чи залишитися на старому рівні зі збереженням примітивних методів господарювання та суспільних відносин, що може призвести до негативних наслідків, таких як зниження рівня добробуту, хвороби та депопуляція населення (Мельник, 2006; Соціально-економічні, 2010).

Отже, природне середовище функціонує як обмежуючий фактор для зростання населення та можливостей суспільства розвиватися в рамках існуючого гомеостазу економічних систем, який включає в себе продуктивні сили і суспільні відносини. Ця обставина примушує суспільство виходити на більш високий рівень розвитку, наче «штовхаючи його вгору».

Третя і Четверта промислові революції, які можуть бути розглянуті як дві фази інформаційно-мережевої революції, що наш час переживає, спрямовані на вирішення проблем кризи відтворення асиміляційного потенціалу екосистем планети. Природні очисні реактори біосфери більше не здатні впоратися з завданням відновлення змінених (забруднених і пошкоджених) параметрів природного середовища, створеними людством. Однією з небезпечних наслідків такого антропогенного впливу є надмірне

виробництво енергії і теплове забруднення. Відпрацьовану людиною надмірну енергію не вдається досить швидко розсіяти енергосистемою Землі, що призводить до перегріву і змін клімату планети (детальніше розглянуто в (Мельник, 2018б))

Розроблений науковцями СумДУ практичний інструментарій, включаючи драйвери, моделі, індикатори і детермінанти, дозволяє проводити необхідний аналіз, який є основою для обґрунтування стратегій трансформаційних рухів. Серед основних сформульованих драйверів та механізмів для управління динамікою цифрових перетворень виділяються:

- аналіз якісних і кількісних параметрів процесів, що відбуваються в економічних системах;
- прогноз тенденцій розвитку економічних систем;
- визначення напрямків пріоритетного інвестування та реінвестування;
- створення фондів для запобігання можливим економічним і соціальним проблемам;
- визначення шляхів розвитку необхідних інститутів та секторів економіки та соціальної сфери на рівнях регіонів, країн та корпорацій;
- розробка мотиваційних інструментів для підвищення конкурентоздатності соціально-економічних систем.

Проведені дослідження вказують на два ключові аспекти визначення критеріїв для обґрунтування стратегій впровадження цифрових трансформацій: «точність» і «своєчасність». Точність визначає правильність вибору просторового алгоритму, який включає в себе кількість зв'язків, тип взаємодії, структуру підпорядкування, функції елементів і інші аспекти, що визначають взаємодію складових суспільних систем з метою досягнення поставлених цілей або вирішення певних завдань. Своєчасність обумовлює формування точних в часі параметрів програм, таких як послідовність стадій, тривалість, темп операцій, швидкість процесів, рівень синхронізації, час переключення та інші, які визначають прогресування процесів реалізації відповідних трансформацій в часі.

В умовах надвисокої динаміки змін, які відбуваються у суспільстві, велика увага приділяється цінності фактору часу та важливості критеріїв своєчасності при впровадженні трансформацій. Стратегічні завдання, які можуть вважатися оптимальними з точки зору "точності" в один період часу, можуть втрачати свою актуальність поза цим періодом. У різні часові інтервали ці завдання можуть стати неповністю або частково неадекватними новим соціально-економічним умовам, які встигли змінитися відповідно до оптимального періоду.

Ураховуючи це, механізм управління зазначеними змінами повинен базуватися на динамічній моделі обґрунтування трансформаційних стратегій, де акцент робиться на принципі: «стратегія - це не просто документ, а неперервний процес». Під час постійного вдосконалення стратегії повинна здійснюватися гнучка адаптація прийнятих рішень відповідно до конкретних умов функціонування господарських систем, які постійно формуються у просторі та часі.

### **3.4 Практичні аспекти фазового переходу від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень**

Висловлюючись метафорично, можна сказати, що національна економіка країни встигла вскочити в останній вагон потягу, який слідує в майбутнє. Це майбутнє цифрової економіки, з якого розпочинається перехід на нові принципи побудови економіки, нові методи функціонування виробництва й нові технології. Щоб у цьому переконатися досить подивитися на дані таблиці 3.2.

*Сестейнізація (sustainization) енергетики.* Українська енергетика зробила величезний стрибок до застосування альтернативних джерел отримання енергії. І хоча через війну була втрачена значна частка виробничих потужностей альтернативної енергетики (по ВЕС – майже 90%, по СЕС –

майже половина), під час гострого дефіциту електроенергії ВДЕ зробили свій відчутний внесок у забезпечення країни енергією. За два роки війни альтернативна енергетика продовжує нарощувати свої потужності. Важливим чинником є значний розвиток приватних сонячних електростанцій, кількість яких вже наблизилася до 60 тис., а їх потужність – до 1,7 ГВт. Сьогодні енергоустановки домогосподарств виробляють п'яту частину альтернативної енергії країни (Проект, 2022). Вітчизняному розвитку «зеленої» енергетики сприяє швидкий технологічний прогрес, про що переконливо свідчать цифри і факти.

Таблиця 3.2 – Динаміка окремих чинників України на шляху до цифрової економіки за останні 10 років (за 2023 р. – оціночні дані)

Показник	Рік	
	2013	2023
Питома вага відновлюваної електроенергії (без гідро), %	1	12
Кількість приватних СЕС, шт.	20	60 000
Потужність приватних СЕС, МВт	0,1	1700
Кількість електрокарів, шт.	50	77000
Кількість фізичних осіб-підприємців в сфері ІТ, тис. осіб	2	250
Кількість фрілансерів, тис. осіб	11	900
Бюджети замовлень на фріланс, млн грн	14	600
Частка ІТ-сектора у ВВП України, %	0,74	6
Експорт комп'ютерних послуг ІТ в Україні, млн USD	1300	7000
Кількість інтернет-користувачів, тис. осіб	2500	5200
Кількість локальних проєктів Інтернету речей, шт.	0	100

*Джерело: розроблено автором за даними публікацій: Даниленко, 2023; Даниленко та ін., 2023; Домашні, 2023; Домогосподарства, 2022; Дячкіна, 2023; Жарикова, 2023; Подоляк, 2023; Проект, 2022.*

Якщо у 2018 році вартість 1 Вт сонячної панелі в Україні становила 0,60 дол, то на 2022 рік – 0,28 дол. Відповідно, сонячна панель на 300 Вт обійдеться вже не в 180 доларів, а всього лише у 84 долари (Подоляк, 2021). Як бачимо, відбулося подвійне скорочення менше між за чотири роки.

До речі, існування приватної «зеленої» енергетики (яка постраждала від війни менше, ніж промислова) значною мірою послабило енергетичні проблеми, які виникли в перші місяці війни, а також під час енергетичної кризи через руйнування окупантами енергетичної інфраструктури взимку 2022-2023 років. В деяких місцях приватні СЕС певний час були єдиним джерелом електроенергії для багатьох сімей. Це відбулося, в тому числі, й завдяки кваліфікації домовласників, які змогли автономізувати режим споживання енергії.

**Зберігання енергії.** Технічний прогрес створює передумови для наступу ще по одному напрямку у сфері зберігання енергії. Це відповідає одному з ключових світових трендів в галузі виробництва й споживання енергії. За даними інформаційного агентства Bloomberg, витрати на зберігання одиниці енергії зменшилися з 600 USD/МВт-год у 2015 році до 150 USD/МВт-год у 2020 році (Cost, 2020).

Згідно з прогнозом, до 2040 року потужності акумуляційних систем у світі мають збільшитися в 122 рази (Vaschenko, 2020). Процес масового впровадження акумуляційних систем стартував на початку 2020-х років. У 2020 році до ладу були введені або збільшили свої потужності п'ять крупних промислових акумуляційних станцій в Австралії, США, Канаді та Китаї (Vaschenko, 2020).

3 травня 2021 почала діяти перша промислова акумуляційна система в Україні. На кінець 2023 року планувалося довести в Україні потужність систем акумулювання енергії до 1500 МВт (Системи, 2020). Практично це відповідає десятій частині потужності теплових електростанцій країни.

Розвиток акумуляційних систем відкриває нові перспективи для розв'язання болючої проблеми балансування процесів виробництва й споживання енергії. Одночасно, розкриваються значні можливості суттєвого підвищення ефективності відповідних процесів.

Сьогодні необхідність гальмування виробництва енергії в періоди падіння попиту на неї змушує обладнання енергетичних підприємств значний час працювати в режимах, в яких собівартість виробництва енергії може зростати в рази (Проект, 2022).

Масове впровадження систем зберігання енергії докорінно змінює алгоритм формування вартості енергії й ефективності відповідних процесів. Замість подвійних втрат (через недоотримання енергії в періоди низького попиту на неї й різкого підвищення собівартості у такий час її виробництва) розвиток ефективного акумулювання енергії дасть можливість мати подвійну вигоду (накопичення надлишкової енергії й мінімально можливу собівартість її виробництва).

Принципово змінюється й картина стимулів на виробництво й споживання енергії домогосподарствами. Вартість акумуляційних систем для приватних СЕС впала з 2015 року на 30%. У поєднанні зі скороченням вдвічі вартості обладнання для генерування сонячної енергії та збільшенням тарифів на неї в мережі це створює стимули для власників СЕС не продавати (у тому числі за «зеленими» тарифами) отримувану енергію, а максимально задовольняти свої власні потреби за рахунок отримання дешевої енергії.

Схожу зацікавленість у встановленні на дахах власних СЕС починають виявляти й промислові підприємства. Арифметика тут проста: замість витрат на електроенергію за ціною 3,6 грн/кВт-год і більше можна користуватися власною електроенергією, що обходиться менше гривні за кВт-годину (Подоляк, 2021).

**Водневізація економіки.** «Зелена» реструктуризація енергетики відкриває нові горизонти для екологізації й інших секторів національної економіки. Це поліпшує перспективи інтеграції України в ЄС.

Актуальність кроків України у зазначеному переході до нової моделі економіки підсилюється в зв'язку з прийнятими рішеннями ЄС щодо зниження

викидів парникових газів на 55% до 2030 р. (у порівнянні з рівнем 1990 р.) і перехід на повну кліматичну нейтральність до 2050 року (Що таке, 2021). Радою ЄС це було визначено як один із стратегічних пріоритетів ЄС і у червні 2022 року набуло обрисів програми «Зелений» курс (Green Deal) з цільовими показниками та конкретними завданнями. Одним із ключових механізмів, представлених у програмі, є Carbon Border Adjustment Mechanism (СВАМ). Цей механізм передбачає впровадження економічних регуляторів (тарифів, податків, обмежень) на імпортовані до ЄС товари, виробництво яких пов'язане з викидами вуглецю. Рада ЄС прийняла рішення про прогресивне посилення правил СВАМ протягом 10 років – з 2026 р по 2035 р. Напад Росії на Україну лише підсилив актуальність зазначеного питання й проблему заміщення карбонового палива «зеленими» джерелами отримання енергії, що знайшло втілення в перегляді зазначеної програми й прийнятті програми RePowerEU. Статус кандидата на вступ до ЄС відкриває можливості для інтеграції України в процеси сестейнізації (sustainization) економіки Європи (Проект, 2022).

Одним із ключових напрямів «зеленої» трансформації економіки ЄС є заміна традиційних енергоносіїв воднем. Використання водню доцільно лише у випадку його отримання за допомогою відновлюваних джерел енергії (такий водень називається «зеленим»). Якщо виробництво водню відбуватиметься за рахунок використання органічного палива, то карбонове забруднення не зменшиться, а зросте.

Країни ЄС зможуть задовольнити за рахунок виробництва власного «зеленого» водню лише половину своїх потреб. Україна має суттєвий потенціал його виробництва та експорту. До 2032 року Україна може виробляти орієнтовно до 1,7 млн т водню, що потребуватиме до 15 ГВт потужності електролізерів. Конкурентоспроможність українських ВДЕ може забезпечити порівняно невисоку вартість виробництва «зеленої» енергії. Для експорту водню до Європи потенційно може бути модернізована наявна газова інфраструктура (Проект, 2022).

Втім, використання водневого потенціалу України не обмежується прямим експортом цього енергоносія. Перспективними напрямками є варіанти використання його всередині країни. Зокрема, розглядається розвиток «зеленої» металургії на основі «зеленого» водню, а також відповідна модернізація інших секторів економіки (наприклад, формування «зелених» виробництв аміаку та добрив).

**Електрифікація транспорту.** Цей напрям «зеленої» перебудови економіки країни є надзвичайно важливим у загальному комплексі трансформаційних процесів. Він збільшує ступінь безпеки та свободи пересування окремих громадян, а також здійснення діяльності економічними суб'єктами.

За темпами зростання кількості електромобілів Україна входить до ТОП-10 країн світу і ТОП-5 Європи (Галицький, 2022). За прогнозами фахівців кількість електромобілів на дорогах України до 2024 року може збільшитися до 100 тисяч. Стрімкому розвитку «зеленого» транспорту в Україні сприяла правова основа. З 1 січня 2018 було скасоване ввізне мито та акцизний податок на імпорт електрокарів, а в кінці 2018 Верховна Рада продовжила дію пільгового режиму.

Додатковою пільгою можна вважати відсутність податку на дороги, який включається в вартість пального, а також суттєво нижчі питомі витрати проїзду на одиницю шляху.

Одночасно надзвичайно швидко йшов розвиток мережі зарядок в Україні. Лише за рік з 2020 року до початку 2022 року кількість зарядних станцій збільшилася в 3,6 рази: з 900 до 3244. При цьому кількість терміналів досягла майже 8000. За кількістю електрокарів на один термінал (4) Україна є лідером серед європейських країн. За цим показником країна йде в ногу з Нідерландами (4) і значно випереджає Польщу (7). Близько третини електрзарядок є швидкісними (В Україні, 2021).



Подібний розвиток електротранспорту та відповідної інфраструктури в Україні значною мірою сприяли зменшенню можливих наслідків від російської агресії. Позитивну роль відіграв також фактор відносної разосередженості по території країни як самих електромобілів, так і електрозаправок.

***Зміна організаційної структури виробництва.*** Промисловість стоїть на порозі значних структурних змін, що обумовлено переходом від традиційних великомасштабних виробничих форм (наприклад, великих регіональних енергостанцій, промислових гігантів, об'єктів для переробки та збагачення) до децентралізованих мереж, складених з тисяч, а іноді й мільйонів малих виробничих одиниць, таких як ІТ-компанії, міні-енергетичні установки, та підприємства, що застосовують 3D-друк. Ця трансформація передбачає, що такі одиниці можуть стати повноцінною продуктивною силою лише за умови їх інтеграції в єдині мережеві структури.

Адитивна економіка, адитивне виробництво та альтернативна енергетика вимагають глибокої перебудови комунікаційної (синергетичної) бази, що є ключовим для їхньої ефективної реалізації. Без цих структурних перетворень адитивне виробництво та альтернативна енергетика не зможуть розгорнутися у своєму повному потенціалі.

***Реструктуризація економічних відносин.*** Розвиток адитивних технологій призводить до глибокої реструктуризації економічних відносин, маркуючи перехід до нових форм взаємодії між суб'єктами економіки. Цей процес характеризується формуванням горизонтальних, або розподілених, виробничих мереж, що зумовлює розширення кола власників засобів виробництва. Зокрема, це стосується таких засобів, як установки альтернативної енергетики, 3D-принтери, та персональні комп'ютери, що інтегруються з ними. Така демократизація виробництва веде до масової соціалізації в економіці, коли власність на засоби виробництва стає доступною значній частині населення, що в корені змінює традиційні економічні відносини.

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.

*Зміна соціальної структури суспільства.* Сказане вище обумовлює значні зміни соціальної структури суспільства. Зокрема, наведені вище цифри збільшення кількості приватних електростанцій в Україні наочно висвітлюють іще один важливий факт: з'являється значний прошарок населення (середній клас), здатний брати участь у інвестуванні розвитку різних видів діяльності, зокрема, пов'язаних із «зеленим» переходом, тобто екологізацією економіки країни.

До кінця 2023 року загальна потужність приватних сонячних електростанцій в Україні сягнула позначки в 1700 МВт. Враховуючи, що вартість реалізації 1 МВт сонячної енергії становить приблизно 1 мільйон євро, можна констатувати, що вклад громадян України у розвиток сонячної енергетики склав близько 1,7 мільярда євро. Окрім того, українці демонструють значну активність у підтримці «зеленого» переходу, зокрема в аспекті електрифікації транспорту, що відображається у кількості приватних електромобілів, яка на початку 2023 року наближалася до 77 тисяч.

Щодо технологій 3D-друку, вони знаходять широке застосування в Україні, що підтверджується активним ринком пропозицій обладнання для 3D-принтингу. Українські компанії не лише активно впроваджують технології 3D-друку, але й розробляють власне обладнання для нього, використовуючи його навіть у виробництві військових засобів у складних умовах (Куницький, 2023; Мусієнко, 2023).

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. У сутності, фрілансер може бути розглянутий як мікропідприємство, де індивід виступає в ролі цілісної соціально-економічної системи, оперуючи на рівні особистісної ініціативи та, за певних обставин, залучаючи до своєї діяльності членів родини.

Варто виділити істотний аспект, який вимагає особливої уваги. Переважна частина фрілансерів асоціюється зі сферою креативних професій, таких як інформаційні технології, графічний дизайн, копірайтинг, створення ілюстрацій, маркетингові стратегії та інші. Особливість цих професій полягає у необхідності неперервного професійного розвитку, що передбачає самостійне здобуття нових знань та вдосконалення наявних навичок. Цей процес самоосвіти та самореалізації стає ключовим елементом сталого розвитку суспільства, оскільки він сприяє постійному оновленню знань та адаптації до змінних умов зовнішнього середовища. Ця мета визначена п'ятою промисловою революцією (Industry 5.0), що ініційована ЄС.

Динаміка зростання чисельності фрілансерів є імпульсивною. Станом на початок 2023 року, частка фрілансерів серед загальної кількості зайнятого населення України становила приблизно 10%. Прогнози вказують на потенційне подвоєння цього показника до 20% у найближчі кілька років, що підкреслює значний потенціал для розвитку фрілансу як форми зайнятості (Зюзін, 2023).

**Самоорганізація суспільства.** Одним із яскравих проявів спроможності горизонтальних соціальних структур є самоорганізація українського суспільства. Здатність суспільства до самоорганізації й реалізації горизонтальних організаційних структур стали ефективним інструментом в забезпеченні безпеки соціально-економічних систем в умовах війни. Коли ситуація змінюється щомоментно, й колосальну ціну набувають мінімальні

параметри простору й часу, лише рівень конкретних виконавців, включаючи керівників відповідного рівня, володіє всією повнотою інформації для прийняття адекватних рішень. Це стосується як справ на фронтах, де ведуться бойові дії, так і діяльності окремих ланок господарських систем.

До сказаного слід додати, що для реалізації прийнятих рішень тим таки ж виконавцям і їх керівникам на місцях доводиться відшукувати нестандартні засоби й нестандартні ресурси в ситуаціях, коли звичайні активи або відсутні, або не працюють в нових умовах, що склалися.

Саме здатністю українського суспільства до самоорганізації та активним функціонуванням горизонтальних організаційних структур значною мірою обумовлені військові успіхи країни в перші місяці війни, а також функціональна стійкість її життєзабезпечувальних господарських систем. Кожен виконував свою роботу. Десятки тисяч виконавців на місцях, включаючи керівний склад, самостійно забезпечували й забезпечують функціонування складних технічних і соціальних систем в неймовірно важких нестандартних умовах війни. Верхні ж рівні українського керівництва, не відволікаючись на конкретику місцевої роботи, змогли сконцентрувати свою увагу на вирішенні стратегічних завдань і питаннях зовнішньої політики.

Значною мірою підсилюється процес самофінансування суспільством різних заходів: підтримки армії, допомоги постраждалим, відбудови зруйнованих об'єктів, ін. Не випадково, що Україна посіла друге місце в світовому рейтингу за рівнем добродійності.

Немає сумніву, що на відносні успіхи, які досягла економіка України в умовах війни певним чином вплинули й зазначені зрушення назустріч новій економічній моделі. Зокрема, протягом 2023 року економіка країни демонструвала достатню стійкість. Зростання ВВП країни на кінець року оцінюється близько 5% після падіння у попередньому році на 29%. Інфляція знижувалася швидше, ніж очікувалося (7,1% у вересні 2023 р. у порівнянні з 26,6% у 2022 році). Внутрішні запозичення перевищили план і за 9 місяців досягли 11 мільярдів доларів. Це дало можливість акумулювати максимальні

ресурси на сектор безпеки та оборони, а також створити умови для розвитку вітчизняного ОПК (Дячкіна, 2023). Україна продовжує поглиблення реформ у взаємодії з Єврокомісією, Світовим банком, країнами-членами G7 та іншими міжнародними організаціями.

Незважаючи на важкі випробування український бізнес продовжує розвиватися. За час війни було зареєстровано понад 32 тисячі компаній, а припинили свою роботу й стали неактивними близько 6 тисяч бізнесів.

## ВИСНОВКИ

Акселерація трансформаційних процесів накладає імператив високої цінності на фактор часу. Постійно зростаюча швидкість появи інноваційних технологічних розробок сприяє неперервному інноваційному відтворенню у різноманітних сферах суспільної діяльності, що включає розробку новітніх управлінських інструментів для управління процесами трансформації. Методи та підходи, що демонстрували високу ефективність і актуальність вчора, сьогодні втрачають свою дієвість, завтра почнуть уповільнювати процеси трансформації та стануть перепорою для подальшого розвитку в найближчому майбутньому. Це можна конкретизувати на прикладі динаміки застосування економічних інструментів, таких як «зелені» тарифи, ефективність яких змінюється у відповідності до етапів розвитку альтернативної енергетики.

Просування до нової економіки шляхом зазначених перетворень дає шанс опинитися серед провідних країн світу за рівнем технічного й соціального прогресу, але прирікає на необхідність невпинного вирішення нових складних проблем. Втім, якщо це не здійснити, країна буде відкинута на периферію суспільного розвитку планети.

Одним з ключових напрямків структурної переорієнтації є реформування основоположних принципів взаємодії промислового сектора з природними екосистемами та біосферою Землі. Вперше за всю історію свідомої продуктивної активності, людство ініціює корінну зміну в парадигмі своєї взаємодії з природним середовищем. Цей процес можна охарактеризувати як перехід від субтрактивних методологій до адитивних підходів у виробництві. Субтрактивні методи характеризуються екстенсивним використанням природних ресурсів, внаслідок чого значна їх частина перетворюється на відходи після переробки. Натомість, адитивні технології базуються на мінімалізації вилучення з природи, використовуючи лише необхідну кількість первинних ресурсів у виробничих процесах, що демонструється, зокрема, у технологіях 3D друку.

Трансформація в напрямку адитивного виробництва сприяє створенню інтегрованої системи адитивної економіки, яка включає унікальні економічні відносини, комунікаційні мережі та взаємодії між виробниками та споживачами. Для розгортання адитивної економіки вирішальними є наступні фактори: інтеграція мережевих взаємодій в організаційну структуру, цифрова трансформація виробничих, логістичних, зберігальних та споживчих процесів, впровадження кібернетичних систем в управління виробництвом та соціальної сфері, стимулювання креативності та інноваційного розвитку людського капіталу, а також синергія між когнітивними здібностями людини та можливостями штучного інтелекту.

Адитивна економіка (АЕ) має потенціал радикально трансформувати фундаментальні аспекти людської цивілізації, від технологічної інфраструктури до парадигм споживання. Дослідження, проведені в цій галузі, дозволили визначити сутність АЕ та провести аналіз ключових елементів, що формують її структуру.

Водночас важливо відмітити, що адитивна економіка наразі є на початковому етапі свого входження в поле зору суспільного розвитку. Більшість її аспектів залишається поза активним дослідницьким інтересом учених та фахівців. Кожен прорив у технологічному розвитку та суспільних інноваціях приближає нас до формування нової соціоекономічної системи, відкриваючи перед людством нові перспективи. Перед науковою спільнотою стоїть завдання випереджального аналізу та прогнозування наслідків науково-технічного прогресу, з метою акцентування на його потенційних позитивах та мінімізації можливих ризиків.

Адитивна економіка як соціально-економічна формація ґрунтується на широкому впровадженні адитивних методів виробництва, таких як 3D-друк, спрямованих на значне зниження обсягів споживання первинних природних ресурсів і на дематеріалізацію виробничих процесів.

Фазовий перехід до адитивної економіки представляє собою комплексний системний процес, ключовими елементами трансформації якого

є: інтеграція адитивних технологій у виробничі процеси, створення мережевої структури економіки, злиття та зменшення розмірів продукції, повсюдне впровадження інформаційних технологій, розробка та використання «розумних» матеріалів, автоматизація та інтелектуалізація виробничих процесів, сприяння колективним формам споживання, а також перехід до циркулярної моделі використання ресурсів.

У ході аналізу формування адитивної економіки авторами виявлено як позитивні, так і потенційно негативні наслідки. Позитивні аспекти включають значне зниження енергоспоживання продукції, перехід до менш матеріалоємних виробничих процесів, посилення соціальної кооперації, сестейнізація економічних систем, застосування більш розумних технологій та матеріалів, а також можливість індивідуалізованого моніторингу стану здоров'я. З іншого боку, потенційні ризики охоплюють зростання інформаційної вразливості виробничих систем, загрозу втрати контролю над кіберфізичними системами, збільшення стандартизації особистостей, а також підвищення рівня психологічного стресу серед населення.

Розвиток економіки нового покоління ставить перед людством пріоритетну задачу трансформації самої людини, яка у вигляді людського капіталу повинна виконувати подвійну роль: бути не тільки виконавцем процесів розвитку та підтримки виробничих систем, але й споживачем продукції, до виробництва якої вона причетна. У процесі цього фазового переходу очікується глибоке переосмислення та переформатування основних аспектів людської ідентичності, відомих як біологічні, трудові та соціальні складові (біо-праце-соціо). У контексті нової інформаційно-мережевої економіки акцент зміщується від біологічних та трудових аспектів до соціальних, підкреслюючи значення особистісного розвитку людини як кінцевої мети та ключового стимулу (драйвера) для прогресу суспільства.

Людський капітал відіграє ключову роль у процесах відтворення різноманітних форм капіталу та забезпечення функціонування економічних систем. Детальний аналіз виявляє триалектичну структуру процесів, що



лежать в основі розвитку людського капіталу, виокремлюючи три фундаментальні аспекти:

- виробничий процес, який заснований на комплексній взаємодії та відтворенні матеріальних, інформаційних та синергетичних факторів, що спільно сприяють створенню вартості;

- процес споживання, що сприяє розвитку і відтворенню багатогранної природи людини, яка включає біологічні, соціальні (особистісні) та економічні (трудові) аспекти;

- виробничо-споживна трансакція, яку можна розглядати як унікальну тріаду, де виробнича сфера, будучи сама тріадою, відображає переважно матеріально-енергетичний аспект (через виробництво товарів), споживна сфера акцентує на інформаційному аспекті (формулюючи попит та вимоги до виробництва), а інтерфейсна сфера (маркетинг, торгівля) реалізує синергетичний аспект, інтегруючи виробничі та споживчі компоненти в єдиний процес.

У контексті сучасного переходу людства до нової соціально-економічної формації, значення людського капіталу набуває особливої актуальності. Виявляється, що ключовим драйвером успіху економічних систем є не стільки наявність матеріальних ресурсів, як природні багатства, засоби виробництва чи фінансові активи, скільки кваліфікація, навички та інноваційний потенціал людського капіталу. Акцент зміщується на необхідність глибокого осмислення та розробки стратегій розвитку людського капіталу, адаптованих до вимог і викликів сучасних промислових революцій (Industries 3.0, 4.0, 5.0), які формують фундамент майбутньої цифрової економіки.

У контексті поточних промислових революцій та цифрових перетворень, бізнес-структури стикаються з неперервними змінами в економічному середовищі. Це вимагає від організацій впровадження ефективних методів управління, здатних адаптуватися до нових умов та мінімізувати потенційні негативні наслідки цих змін. Ключовим аспектом у цьому процесі є впровадження концепції антикрихкості, яка передбачає

розвиток властивостей систем, завдяки яким вони не просто виживають в умовах криз, але й зміцнюються, використовуючи виклики як можливість для вдосконалення.

Антикрихкість як якість системи означає її здатність не тільки ефективно протистояти зовнішнім шокам та стресам, але й використовувати ці виклики як каталізатор для покращення внутрішніх процесів, інноваційного розвитку та посилення своєї адаптивності. Таким чином, антикрихкість не лише допомагає підприємствам утримуватися на плаву під час непередбачених подій, а й сприяє їх стратегічному розвитку, дозволяючи витягувати вигоду з ситуацій, що здавалися б негативними.

Для посилення антикрихкості економічних систем, організації повинні дотримуватися ряду ключових принципів, які сприятимуть їх здатності не просто вистояти перед зовнішніми викликами, але й зміцнюватися в процесі їх подолання. Ці принципи включають: застосування інновацій – впровадження нових технологій та ідей, які можуть підвищити ефективність та продуктивність; толерантність до змін – гнучкість та відкритість до адаптації у відповідь на змінні умови зовнішнього середовища; усунення крихких складових – ідентифікація та модифікація елементів системи, які є вразливими до зовнішніх шоків; самоуправління колективу – сприяння самоорганізації та саморегуляції в колективі, що забезпечує вищу реактивність та адаптивність; мінімізація надмірного ризику – ретельне управління ризиками з метою уникнення потенційно катастрофічних наслідків; формування достатнього запасу ресурсів – створення резервів, що можуть бути мобілізовані у критичний момент; орієнтація на стратегічні цілі – чітке визначення довгострокових цілей та приділення уваги їх досягненню; активізація нелінійного мислення – заохочення креативного та стратегічного мислення, здатного виявити нестандартні рішення та можливості.

Підвищення антикрихкості в економічних системах є стратегією, яка дозволяє організаціям не лише адаптуватися до мінливих умов, але й

отримувати вигоду від них, використовуючи зовнішні зміни як каталізатор для внутрішнього розвитку та зміцнення.

Сучасні економічні системи стикаються з величезною неефективністю, яка частково обумовлена недоліками в інформаційних та синергетичних аспектах технічних та організаційних систем. Великий енергетичний потенціал, накопичений людством, часто залишається невикористаним або неефективно витрачається через низьку продуктивність технічних систем, недосконалість інформаційних алгоритмів та великі трансакційні витрати. Проте, сучасна інформаційна та мережева революція надає унікальну можливість для коеволюції людства з природою, дозволяючи подолати ресурсне «прокляття» та уникнути екологічної катастрофи.

Розуміння закономірностей, що лежать в основі функціонування та розвитку економічних систем, є критично важливим для розробки методології ефективного управління. Таке розуміння відкриває шляхи до значного збільшення продуктивності бізнес-процесів та створює умови для переходу до інформаційного суспільства, що базується на принципах сталого розвитку. Цифрова трансформація та адаптація до адитивних моделей виробництва можуть слугувати основою для реалізації цих цілей, сприяючи оптимізації ресурсного споживання та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 10 Principles to live an antifragile life. Philosophy. URL: <https://fs.blog/an-antifragile-way-of-life> (дата звернення: 03.06.2021).
2. Additive manufacturing – a definition: what is additive manufacturing? // SPI Lasers. Retrieved from <http://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/additive-manufacturing-a-definition>
3. Balbo, N. Fertility Theory. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition. 2015. P. 19–27. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.34045-4>
4. 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.
5. Boulding, K. E. The economics of the coming Spaceship Earth. Classics in environmental studies. An overview of classic texts in environmental studies / ed. by N. Nelisse, J. Van Den Straaten and L. Klinkers. Amsterdam, the Netherlands, 1966. P. 218-228.
6. Convergence meaning. Your Dictionary. Retrieved from <https://www.yourdictionary.com/convergence>
7. Dedicat C. Circular economy: what it mean, how to get there // World Economic Forum. 2016. Retrieved from <http://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-importance-of-a-circular-economy>
8. EU Market for 3DP Demonstration Equipment and Services. Preliminary Report. Retrieved from <https://3dppan.eu/sites/default/files/2021-06/EU%20Market%20for%203DP%20Demonstration%20Services%20-%20Preliminary%20Report%20June2021.pdf>
9. EU Project: Factory-in-a-day // Factory-in-a-day. Retrieved from <http://www.factory-in-a-day.eu>
10. Factory-in-a-day // Ros-industrial. 29.10.2013. Retrieved from <http://rosindustrial.org/news/2013/10/17/factory-in-a-day>

11. Gaget L. (2021). The State of 3D Printing in 2021. Report. Retrieved from Sculpteo <https://www.sculpteo.com>

12. Gershenfeld N., Gershenfeld A. Cutcher-Gershenfeld J. Designing reality: How to survive and thrive in the third digital revolution // Science. 20.11.2017. Retrieved from <http://designingreality.org/>

13. Gieseck A., Rujin S. The impact of the recent spike in uncertainty on economic activity in the euro area. ECB Economic Bulletin, Issue 6/2020. URL: [https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/focus/2020/html/ecb.ebbox202006\\_04~e36366efeb.en.html](https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/focus/2020/html/ecb.ebbox202006_04~e36366efeb.en.html) (дата звернення: 20.05.2021).

14. Kranz G., Jones M., Posey B. Technological convergence. TechTarget. 05.08.2021. Retrieved from <https://searchconvergedinfrastructure.techtarget.com/definition/convergence>

15. Maddikunta, P. K. R., Pham, Q.-V., B, P., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2021). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. Journal of Industrial Information Integration, 100257. <https://doi.org/10.1016/J.JII.2021.100257>

16. Melnyk, L., Derykolenko, O., Kubatko, O., Matsenko, O. Business Models of Reproduction Cycles for Digital Economy. Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Kherson: CEUR-WS, 2019. Vol. 2. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74617>

17. Melnyk, L., Matsenko, O., Dehtyarova, I., Derykolenko, O. The formation of the digital society: social and humanitarian aspects. Digital economy and digital society / ed. by T. Nestorenko & M. Wierzbik-Strońska. Katowice: Katowice School of Technology, 2019. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74570>

18. Mincer, J. Investment in human capital and personal income distribution. Journal of Political Economy. 1958. Vol. 66, No. 4. P. 281–302.

19. Miniaturization. Meaning in the Cambridge English Dictionary. Retrieved from <https://dictionary.cambridge.org/ru/словарь/английский/miniaturization>

20. Quanjin, 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
21. Rada, M. (2018). Industry 5.0 definition. Michael Rada. Retrieved from <https://michael-rada.medium.com/industry-5-0-definition-6a2f-9922dc48>
22. Reddy, S. (2021). Smart materials for 4D printing: A review on developments, challenges and applications. DOI:10.1007/978-981-16-4222-7\_1
23. Rifkin, J. (2013). *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, The Economy, and The World*. St. Martin's Griffin Publisher.
24. 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.
25. 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.
26. Robot Sales Rise Again': World Robotics 2021 / International Federation of Robotics Reports. Retrieved from <https://www.automation.com/en-us/articles/october-2021/robot-sales-rise-again-world-robotics-2021>
27. Rossi, B. (2018). What will Industry 5.0 mean for manufacturing? Raconteur. Retrieved from <https://www.raconteur.net/manufacturing/manufacturing-gets-personal-industry-5-0>
28. Rossi, B. What will Industry 5.0 mean for manufacturing? Raconteur. URL: <https://www.raconteur.net/technology/manufacturing-gets-personal-industry-5-0>
29. Schultz, T. W. Investment in human capital. *The American Economic Review*. 1961. Vol. 51. No. 1. P. 1–17.
30. Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, Committed to Improving the State of the World.

31. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum, Committed to Improving the State of the World, 2017. 208 p.
32. Schwab, K., Davis, N. Shaping the Fourth Industrial Revolution. Cologny, Switzerland: World Economic Forum, Committed to Improving the State of the World, 2018. 320 p.
33. Shahan, Z. (2020). Renewable energy = 22.2% of US Electricity in 1st Half of 2020 (Charts). CleanTechnica. Retrieved from <https://cleantechnica.com/2020/09/12/renewable-energy-22-2-of-us-electricity-in-1st-half-of-2020-charts>
34. Skinner, C. (2018). Digital Human: The Fourth Revolution of Humanity Includes Everyone. Marshall Cavendish International (Asia) Pte Ltd.
35. Taleb N. N. (2012). Antifragile: Things that gain from disorder. Random House.
36. Taleb N. N. Antifragile: the black swan: The impact of the highly improbable. New York: Random House Publishing, 2010. 444 p.
37. Taleb N. N. Antifragile: Things that gain from disorder. New York: Random House, 2012. 544 p.
38. Thurow, L. C. Investment in Human Capital. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1970. 145 p.
39. UV mapping (2019) // Вікіпедія. Retrieved from [https://uk.wikipedia.org/wiki/UV\\_mapping](https://uk.wikipedia.org/wiki/UV_mapping)
40. What is Additive Manufacturing? // Additive Manufacturing / AM Basics / Retrieved from <http://additivemanufacturing.com/basics>
41. Агамирзян И. Третья промышленная революция: начало // Slon. 25.10.2013. Retrieved from <https://republic.ru/biz/1009644>
42. Гараедаги Д. Системное мышление: как управлять хаосом и сложными системами: Платформа для моделирования архитектуры бизнеса. Минск: Гревцов Букс, 2010. 480 с.
43. Кларк, Дж. Б. Распределение богатства. Москва: «Гелиос АРВ», 2000. 368 с.

44. Майнцер К. Сложносистемное мышление: материя, разум, человечество. Новый синтез. Москва: Книжный дом «Либроком», 2009. 464 с.
45. Маркс, К. Капитал. Критика политической экономии. Москва: «Политиздат», 1983. Т. 1. 737 с.
46. Маршалл, А. Принципы экономической науки. Москва: «Эксмо», 1993. 832 с.
47. Мельник В. Л. Формування сучасних маркетингових стратегій в умовах пандемії коронавірусу. Сучасні промислові революції та удосконалення механізмів сестейнового соціально-економічного розвитку: монографія / за ред. Л.Г. Мельника, О.М. Маценка. Суми: Університетська книга, 2021. С. 325-334.
48. Мельник Л.Г. «Зелена» економіка (досвід ЄС і практика України у світлі III і IV промислових революцій): підручник. Суми: ВТД «Університетська книга», 2018. 463 с.
49. Мельник Л.Г. Проривні технології у світлі соціально-економічних революцій: досвід ЄС та світу. Механізм регулювання економіки. 2019. №3. С. 97-110. DOI: <https://doi.org/10.21272/mer.2019.85.09>
50. Мельник Л.Г. Сучасні тренди розвитку соціально-економічних систем. Механізм регулювання економіки. 2020. №1. С. 9-27. DOI: <https://doi.org/10.21272/mer.2020.87.00>
51. Мельник Л.Г. та ін. Розроблення фундаментальних основ відтворювального механізму соціально-економічного розвитку в ході третьої промислової революції: звіт про науково-дослідну роботу. – 2020. – СумДУ. – 217 с.
52. Мельник Л.Г. та ін. Розроблення фундаментальних основ відтворювального механізму соціально-економічного розвитку в ході третьої промислової революції: звіт про науково-дослідну роботу. – 2018. – СумДУ. – 89 с.
53. Мельник Л. Г., Маценко О. М. Інноваційний досвід підприємств у сфері енергозбереження: енергетика, будівництво, транспорт,



агровиробництво. *Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера*: монографія / під заг. редакцією О. М. Теліженка та М. І. Сотника. Суми: видавничо-виробниче підприємство «Мрія-1», 2018. С. 106–140. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/77293>

54. Мельник, Л. Г. «Машина времени» Н. Н. Неплюева (Социально-экономический анализ): монографія. Сумы: Университетская книга, 2018б. 368 с.

55. Мельник, Л. Г., Маценко, О. М., Завдов'єва, Ю. М. Конкурентні переваги машинобудівних підприємств в умовах цифрової трансформації. Сучасний менеджмент економічних систем в координатах парадигми сталого розвитку: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції, 18 вересня 2019 р. Одеса: ОНПУ, 2019. С. 43-47. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/75236>

56. Мельник, Л. Г., Маценко, О. М., Кириленко, М. В. Креативний людський капітал як фактор формування виробничого потенціалу. Економічний розвиток держави та її соціальна стабільність: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 15 травня 2019 р. Полтава: ФОП Пусан А. Ф., 2019. С. 110-112. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74567>

57. Пальчинская Л. Как программное обеспечение Google научилось само писать программное обеспечение // AIN.UA. 19.10.2017. Retrieved from <https://ain.ua/2017/10/19/po-v-google-pishet-po>

58. Підприємництво, торгівля та біржова діяльність [Текст]: підручник / за заг. ред. д.е.н., проф. І. М. Сотник, д.е.н., проф. Л. М. Таранюка. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2018. – 572 с.

59. Пригожин И. От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках. Москва: Наука, 1985. 328 с.

60. Проривні технології в економіці і бізнесі (досвід ЄС та практика України у світлі III, IV і V промислових революцій): навчальний посібник / за

ред. Л. Г. Мельника та Б. Л. Ковальова. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 180 с.

61. Райзберг, Б. А., Лозовский, Л. Ш., Стародубцева, Е. Б. Современный экономический словарь. Москва: ИНФРА-М, 2010. 12 с.

62. Словарь современной экономической теории Макмиллана; пер. с англ. Д. У. Пирса. Москва: ИНФРА-М., 2003. 608 с.

63. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов. Антология экономической мысли. Москва: МП «ЭКОНОВ», «КЛЮЧ», 1993. С. 79–396 с.

64. Талєб Н. Н. Антикрихкість: про (не)вразливе у реальному житті. Київ: Наш Формат, 2021. 400 с.

65. Шумпетер, Й. Теорія економічного розвитку. Київ: Києво-Могилянська академія, 2011. 244 с.

66. Экономическая энциклопедия / гл. ред. Л. И. Абалкин. Москва: Экономика, 1999. 1055 с.

67. Solar electricity costs vs Regular electricity costs, Solar Cell Central [http://solarcellcentral.com/cost\\_page.html](http://solarcellcentral.com/cost_page.html) (accessed on 15.05.2020)

68. Projected costs of generating electricity. OECD. International energy Agency, Nuclear Energy Agency. Paris. France, 2015. – 198 p.

69. Украинцы покупают всё больше электромобилей [https://auto.24tv.ua/ru/ukraincy\\_pokupajut\\_vse\\_bolshe\\_jelektromobilej\\_n19263](https://auto.24tv.ua/ru/ukraincy_pokupajut_vse_bolshe_jelektromobilej_n19263) (дата обращения 23.05.2020)

70. Свежая статистика: количество электромобилей в Украине перевалило за отметку 12 000 штук <https://autogeek.com.ua/svezhaja-statistika-kolichestvo-jelektromobilej-v-ukraine-perevalilo-za-otmetku-12-000-shtuk/>

71. КПД солнечных батарей. Формула расчёта. Лучшие показатели. Рекорды. GreenTechTrade. 18.06.2019 / <https://greentechtrade.com.ua/ru/kpd-solnechnyh-batarej-raschet/> (дата обращения 20.05.2020).

72. Самые эффективные солнечные панели: обзор 2020 года. 23.12.2019 <https://altshop.in.ua/blog/samye-effektivnye-solnechnye-paneli---obzor-2020-goda> (дата обращения 20.05.2020).

73. Naam R. Smaller, Cheaper, Faster: Does Moore's Law Apply to Solar Cells? Scientific American Blog Network. 16.03.2011 / <https://blog.supplysideliberale.com/post/31249994581/smaller-cheaper-faster-does-moores-law-apply> (accessed on 25.05.2020).

74. Голованов Г. Учёные научили солнечные панели «потеть», что подняло их КПД на 15-19% <https://hightech.plus/2020/05/13/uchenie-nauchili-solnechnie-paneli-potet-hto-podnyalo-ih-kpd-na-15-19> (дата обращения 20.05.2020).

75. Закон Свансона. Archives. Бум развития солнечной энергетики. Priroda.su. 12.06.2014. / <http://www.priroda.su/item/3816> (дата обращения 20.05.2020).

76. Solar PV and wind turbine systems connection to the grid. Energy saving trust. <https://energysavingtrust.org.uk/sites/default/files/reports/Getting%20the%20most%20out%20of%20your%20solar%20PV%20or%20wind%20turbine%20system.pdf> (accessed on 20.05.2020).

77. How to combine wind turbine and solar panels wiring? Solyndra / <https://www.solyndra.com/how-to-combine-wind-turbine-and-solar-panels-wiring/> (accessed on 20.05.2020).

78. Hanly S. MIT Study Says Using Retired EV Batteries For Grid-Scale Energy Storage Could Be Profitable. Clean Technica. 23.05.2020 / <https://cleantechnica.com/2020/05/23/mit-study-says-using-retired-ev-batteries-for-grid-scale-energy-storage-could-be-profitable/>

79. Slav, I. (2020). IEA: The Renewable Energy Boom Will Restart In 2021 | OilPrice.com. Latest Energy News. Retrieved from <https://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/IEA-The-Renewable-Energy-Boom-Will-Restart-In-2021.html> (accessed on 25.05.2020).

80. Vertakova, Y., & Plotnikov, V. (2017). Problems of sustainable development worldwide and public policies for green economy. *Economic Annals-XXI*, 166(7–8), 4–10. <https://doi.org/10.21003/ea.V166-01>.

81. Southworth, P., & Malnick, E. (2020). Wind farms paid record £.9.3m to switch off their turbines. *The Telegraph*. Retrieved from <https://www.telegraph.co.uk/news/2020/05/23/wind-farms-paid-record-93m-switch-turbines/>

82. Melnyk, L., Derykolenko, O., Kubatko, O., & Matsenko, O. (2019). Business Models of Reproduction Cycles for Digital Economy. In V. Ermolayev, F. Mallet, V. Yakovyna, V. Kharchenko, V. Kobets, A. Kornilowicz, H. Kravtsov, M. Nikitchenko, S. Semerikov, & A. Spivakovsky (Eds.), *ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer: Vol. II* (pp. 269–276). CEUR. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74617?locale=en>

83. Matsenko, O. & Ovcharenko, D. (2013). The quality of energy resources controlling as a part of effective enterprise management. *Economic Annals-XXI*, 9–10(1), 75–78.

84. Additive manufacturing – a definition: what is additive manufacturing? Available at: <http://www.spilasers.com/application-additive-manufacturing/additive-manufacturing-a-definition/> (accessed on 20.10.2021).

85. Andreassen E. Additive manufacturing (AM) – Materials and material properties. Available at: <https://www.sintef.no/en/expertise/sintef-industry/materials-and-nanotechnology/additive-manufacturing-am-materials-and-material-properties/> (accessed on 20.05.2023).

86. Bromberger J., Ilg J., Miranda A.M. The mainstreaming of additive manufacturing. 15.03.2022. Available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-mainstreaming-of-additive-manufacturing> (accessed on 15.05.2023).

87. Cost for onshore wind, solar and battery storage dipped: BNEF. 29.04.2020. Available at: <https://greentechlead.com/renewable-energy/cost-for->

onshore-wind-solar-and-battery-storage-dipped-bnef-35985 (accessed on 10.09.2020).

88. Vashchenko K. TOP 5 energy storage projects of 2020. 2020. Available at: <https://getmarket.com.ua/en/news/top-5-energy-storage-projects-of-2020> (accessed on 02.10.2020).

89. V Ukraini vpershe porakhuvaly kilkist zaryadnykh stantsii dlia elektromobiliv: chotyry mashyny na odnu zapravku [In Ukraine, the number of charging stations for electric cars was counted for the first time: four cars per gas station]. 17.11.2021. Available at: <https://autogeek.com.ua/zarydni-stancii/> (accessed on 17.05.2022).

90. Halytskyi A. Z prytsilom na maibutnie: yaki elektromobili naichastishe kupuiut ukrainsi [With an eye on the future: which electric cars are most often bought by Ukrainians]. 24.01.2022. Available at: <https://economics.segodnya.ua/ua/economics/avto/s-pricelom-na-budushchee-kakie-elektromobili-chashche-vsego-pokupayut-ukraincy-1598026.html> (accessed on 17.05.2022).

91. Danylenko Yu. IT v ekonomitsi Ukrainy: yak zminiualasia yoho chastka, vplyv ta trendy rynku za roky nezalezhnosti [IT in the economy of Ukraine: how its share, influence and market trends changed during the years of independence]. 24.08.2023. Available at: <https://speka.media/it-v-ekonomici-ukrayini-yak-minyalasya-iogo-castka-vplyv-ta-trendi-ryнку-za-roki-nezalezhnosti-plrw0p> (accessed on 15.10.2023).

92. Danylenko Yu., Myronovych V. Skilky ukrainsiv ne maiut dostupu do internetu i koly my podolaiemo tsyfrovyy rozryv [How many Ukrainians do not have access to the Internet and when will we overcome the digital divide]. 10.07.2023. Available at: <https://speka.media/skilki-ukrayinciv-dosi-ne-mayut-dostupu-do-internetu-i-shho-robiti-z-cifrovim-rozrivom-plg4x9> (accessed on 15.10.2023).

93. Domashni soniachni elektrostantsii v 2021 rotsi [Home solar power plants in 2021]. 14.09.2022. Available at: <https://avenston.com/articles/private-solar-market-2021/> (accessed on 10.10.2023).

94. Domohospodarstva narostyly potuzhnist pryvatnykh SES u 2022 rotsi na 78% [Households increased the capacity of private SPPs in 2022 by 78%]. 25.11.2022. Available at: <https://ua-energy.org/uk/posts/domohospodarstva-narostyly-potuzhnist-pryvatnykh-ses-u-2022-rotsi-na-78> (accessed on 11.10.2023).

95. Diachkina A. Zrostantia ekonomiky Ukrainy u 2023 rotsi pryskorytsia maizhe do 5% – Marchenko [The growth of Ukraine's economy will accelerate to almost 5% in 2023 - Marchenko] 13.10.2023. Available at: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/10/13/705435/> (accessed on 10.11.2023).

96. Zharykova A. Eksport IT-posluh z Ukrainy tsohorich skorochuietsia [Export of IT services from Ukraine is decreasing this year]. 31.07.2023. Available at: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/07/31/702742/> (accessed on 15.11.2023).

97. Ziuzin V. 250 000 ukraintyv staly frylanseramy z pochatkom viiny [250,000 Ukrainians became freelancers at the beginning of the war]. 03.11.2023. Available at: <https://mmr.ua/show/250-000-ukrayinciv-stali-frilanserami-z-pochatkom-vijni> (accessed on 12.11.2023).

98. Kunytskyi O. Armiia drukariv: yak Ukraina zastosovuie 3D-tekhnologii u viini [Army of printers: how Ukraine uses 3D technologies in war]. 23.10.2023. Available at: <https://www.dw.com/uk/armia-drukariv-ak-ukraina-zastosovue-3dtehnologii-u-vijni/a-67165996> (accessed on 11.11.2023).

99. Melnyk L. H. Adytyvna ekonomika (Ekonomika peretvoren): Dosvid YeS shchodo ekonomichnykh peretvoren v khodi Industries 3.0, 4.0, 5.0: monohrafiia [Additive economy (Economics of transformations): EU experience of economic transformations (Industries 3.0, 4.0, 5.0): monograph]. Sumy: Universytetska knyha, 2023. 208 c.

100. Musiienko O. Koly tekhnolohiia 3D-druku stane masovoiu [When 3D printing technology becomes mass]. 15.03.2023. Available at: <https://www.imena.ua/blog/when-will-3d-printing-become-mainstream/> (accessed on 15.11.2023).

101. Podoliak A. «Zeleni» vzhe ne ti: chomu vyrobnykiv chystoi elektroenerhii uzhe ne tak tsikavyt yii prodazh [“Greens” are no longer the same: why producers of clean electricity are no longer so interested in its sale]. 22.11.2021. Available at: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/11/22/679785/> (accessed on 10.10.2023).

102. Proekt Planu vidnovlennia Ukrainy. Materialy robochoi hrupy «Enerhetychna bezpeka». Natsionalna rada z vidnovlennia Ukrainy vid naslidkiv viiny [Project of the Recovery Plan of Ukraine. Materials of the “Energy Security” working group. The National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War]. July, 2022. 164 c. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf> (accessed on 10.11.2023).

103. Savchuk B. Biznes vo vremena voini – otkrivaetsya bolshe del, chem zakrivaetsya [Business during the war – more things are opened than closed]. 12.05.2023. Available at: <https://vikna.tv/ru/dlia-tebe/biznes-vo-vremya-vojni-v-kakom-sostoyanii-on-sejchas-nahoditsya/> (accessed on 12.10.2023).

104. Systemy nakopychennia enerhii – svitova praktyka shchodo balansuvannia enerhosystemy ta rishennia dlia Ukrainy [Energy storage systems - world practice in balancing the energy system and solutions for Ukraine]. 2020. Available at: <https://www.sae.gov.ua/uk/news/3289> (accessed on 05.10.2023).

105. TOP-10 perspektivnie biznes idei vo vremena voini i posle voini [TOP 10 promising business ideas during the war and after the war]. 14.01.2023. Available at: <https://inventure.com.ua/analytics/articles/top-10-perspektivnyh-biznes-idej-vo-vremya-i-posle-vojni> (accessed on 12.10.2023).

106. Shcherbyna A. Rynok talantiv: yakoiu bude chastka IT u VVP Ukrainy [Talent market: what will be the share of IT in Ukraine's GDP]. 31.08.2022. Available at: <https://mind.ua/openmind/20246322-rinok-talantiv-yakoyu-bude-chastka-it-u-vvp-ukrayini> (accessed on 15.10.2023).

107. Shcho take Yevropeiskyi zelenyi kurs [What is the European Green Deal]. 26.04.2021. Available at: <https://ecoaction.org.ua/eu-green-deal.html> (accessed on 15.11.2023).

## ДОДАТКИ



Шаблон за версією 02  
Затверджено наказом ректора СумДУ  
№ 0817-І від 05.12.2022 р.



### АКТ

**впровадження (використання) результатів науково-дослідної роботи (етапу НДР) / дисертаційної роботи у навчальний процес № 0121U109557, тема «Фундаментальні основи фазового переходу до адитивної економіки: від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень», етап «Формування механізму забезпечення фазового переходу до адитивної економіки на основі від проривних технологій та інституційної соціологізації рішень».**

(номер держреєстрації НДР, назва теми, етапу; назва теми дисертації)

яка виконана в період з 01 січня 2022 р. по 31 грудня 2022 р.

розроблено концепцію організаційно-економічного механізму й інструментарій формування адитивної економіки на основі реорганізації соціально-економічних інститутів. Зокрема, встановлено, що smart-система управління процесами відтворення в умовах адитивного виробництва дозволяє значно підвищити стійкість економічних систем та знизити енергоємність продукції. Крім того, перехід до даної системи управління дозволить задовольнити більше потреб економічних агентів за менших витрат ресурсів, ніж на основі адитивного принципу. Обґрунтовано перехід від великих виробничих форм (підприємств, об'єднань, виробничих комплексів та ін.) до мережі горизонтальних розподілених у просторі виробничих одиниць невеликої потужності, які обумовлюють перехід до кіберфізичних систем, що забезпечують якісний прогрес і підвищення ефективності в рамках Industry 4.0. Досліджено також передумови переходу від концентрованих у просторі до виробництв, сконцентрованих у часі, однією із форм яких є віртуальні підприємства. Проаналізовано умови реалізації людського капіталу при цифрових трансформаціях, одним із результатів чого є збільшення ролі креативного фактору та формування децентралізованої системи зайнятості, однією із форм якої є фрілансерство.

Керівник теми/Здобувач наукового ступеня (доктора філософії/доктора наук) Мельник Леонід Григорович (прізвище, ім'я та по батькові)

Комісія в складі:

Голова комісії: голова ради з якості інституту/факультету

Олексій ЗАХАРКІН  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Члени комісії<sup>2)</sup>: гарант освітньої програми Старший викладач  
(посада)

Олександра КУБАТКО  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Старший викладач  
(посада)

Ольга ЛУКАШ  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Старший викладач  
(посада)

Юрій ДЕРЕВ'ЯНКО  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Встановила, що результати науково-дослідної роботи використовуються в навчальному процесі за освітньою програмою «Економіка та бізнес-інновації»

освітнього ступеня магістр спеціальності Економіка  
(бакалавр, магістр, доктор філософії) (назва спеціальності)

шляхом реалізації наступного<sup>3)</sup>:

- 1) Результати НДР частково впроваджені у навчальний, зокрема при викладанні дисциплін «Економіка розвитку», «Сучасні тренди в бізнесі: досвід ЄС» та «Соціальна та солідарна економіка». В рамках НДР видано навчальні посібники «Сучасні тренди економічного розвитку: кращі практики ЄС для сестейного розвитку» (дисципліна «Сучасні тренди в бізнесі: досвід ЄС»), «Соціальна та солідарна економіка» Розділ 5. «Побудова соціальної та

- солідарної економіки через партнерство і співробітництво» (дисципліна «Соціальна та солідарна економіка») та «Економіка розвитку: Європейський досвід упровадження досягнень Industries 3.0, 4.0 та 5.0» (дисципліна «Економіка розвитку»), що дасть змогу поглибити науково-методичні основи зазначених дисциплін та підвищити якість підготовки фахівців з економічних спеціальностей.
- 2) За напрямом НДР студенткою магістратури Чорною Я.В. було підготовлено наукову роботу "Economic and Social Benefits of Implementation of the Smart City Concept", яка в II турі Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт, спеціальність «Економіка» була нагороджена дипломом II ступеня.
- 3) На основі результатів НДР підготовлено 2 кваліфікаційні роботи магістра зі спеціальності 051 Економіка (освітня програма 8.051.00.11 «Економіка та бізнес-інновації»): Чорна Я. В. «Розвиток транспортного підприємництва при реалізації концепції «розумного міста»; Скрипка Є. О. «Економіка підприємств України в умовах цифрових трансформацій та післявоєнної відбудови».

“13” грудня 2022 р.

Голова комісії: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олексій ЗАХАРКІН  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Члени комісії: \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олександра КУБАТКО  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ольга ЛУКАШ  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Юрій ДЕРЕВ'ЯНКО  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Примітки:**

- 1) Акт затверджується проректором відповідно до напрямку діяльності у якому впроваджені результати НДР.
- 2) До складу комісії окрім гаранта освітньої програми можуть входити завідувач кафедри, якщо він не є гарантом освітньої програми, а також члени робочої проєктної групи освітньої програми з числа науково-педагогічних працівників.
- 3) Зазначати із переліку можливих результатів: оновлення змісту дисципліни (зазначити назву) за темами (вказати теми); використання методів навчання, заснованих на дослідженнях; розробки електронних засобів навчання (вказати, яких саме); видання підручника / навчального посібника / комплекта лекцій; виконання курсових робіт, проєктів, кваліфікаційних робіт здобувачами освітнього ступеня бакалавр / магістр, які залучені до виконання НДР. Цей перелік не є вичерпним.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректорка \_\_\_\_\_

(посада)

з науково-педагогічної роботи

Інна ШКОЛЬНИК

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

4 грудня 2023 р.



АКТ

**впровадження (використання) результатів науково-дослідної роботи (етапу НДР) / дисертаційної роботи у навчальний процес НДР № 0121U109557 «Фундаментальні основи фазового переходу до адитивної економіки: від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень». Етап №3 «Формування науково-методичних підходів оцінки ефективності фазового переходу до адитивної економіки на основі проривних технологій та інституційної соціологізації рішень»**  
(номер держреєстрації НДР, назва теми, етапу)

яка виконана в період з 01.01.2023 р. по 31.12.2023 р.

розроблено науково-методичні підходи оцінки ефективності фазового переходу до адитивних способів виробництва, які базуються на новому принципі взаємовідносин виробничого комплексу з природою, зокрема:

(назва результату НДР/дисертаційної роботи)

- 1) встановлено, що адитивний спосіб виробництва значно зменшує кількість вилучення із довілля природної речовини та зменшенні кількості відходів. Господарські системи, що працюють на нових принципах адитивної (цифрової) відрізняються більш високою стійкістю та антикрихкістю. Запропоновано до методики включити визначення пропорції часток ресурсів, що корисно використовуються, і отриманих відходів, що інтерпретується в роботі як коефіцієнт корисної дії функціонування систем життєзабезпечення суспільства;
- 2) обґрунтовано інструментарій забезпечення проривного фазового переходу економічних систем до господарювання на засадах індустрій 3.0, 4.0 та 5.0. Розглянуто і обґрунтовано триєдиний механізм забезпечення передумов реалізації фазового переходу, який включає три групи факторів: матеріальних, інформаційних і синергетичних;
- 3) розроблено практичну методологію оцінки життєздатності та потенціалу криптовалютних і блокчейн-проектів на основі оцінки окремих компонентів проекту та синтезу цих оцінок.

Керівник теми д.е.н., професор, завідувачка кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування Мельник Леонід Григорович  
(прізвище, ім'я та по батькові)

Комісія в складі:

Голова комісії: голова ради з якості інституту, заступник директора з методичної роботи, старший викладач кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування к.е.н., доц. Юрій ДЕРЕВ'ЯНКО  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Члени комісії<sup>2)</sup>: гарант освітньої програми «Економіка і бізнес» освітнього ступеня бакалавр спеціальності 051 Економіка, професор кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування, д.е.н., проф. Ірина СОТНИК

член робочої проектної групи освітньо-наукової програми «Економіка» освітнього ступеня бакалавр спеціальності 051 Економіка, доцент кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування, д.е.н., проф. Олександр КУБАТКО  
завідувачка кафедри економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування, д.е.н., проф. Олександра КАРІНЦЕВА

Встановила, що результати науково-дослідної роботи використовуються в навчальному процесі за освітніми програмами:

- 1) Економіка і бізнес  
(назва програми)  
освітнього ступеня бакалавр спеціальності 051 Економіка  
(бакалавр, магістр, доктор філософії) (назва спеціальності)
- 2) Економіка  
(назва програми)  
освітнього ступеня доктор філософії спеціальності 051 Економіка  
(бакалавр, магістр, доктор філософії) (назва спеціальності)
- 3) Підприємництво, торгівля та логістика  
(назва програми)  
освітнього ступеня магістр спеціальності 076 Підприємництво та торгівля  
(бакалавр, магістр, доктор філософії) (назва спеціальності)


шляхом реалізації наступного<sup>3)</sup>:

1. Одержані результати досліджень використані при оновленні змістів дисциплін:
  - «Інформаційна економіка» в частині оновлення змісту теми 6 «Економічний зміст інформаційних компонентів виробничої системи»;
  - «Сучасні тренди в бізнесі: досвід СС» в частині оновлення змісту теми 2 «Промислова революція та їх вплив на бізнес» та теми 4 «Цифрова трансформація бізнесу та цифрові бізнес-моделі»;
  - «Сучасні тренди економічного розвитку» в частині оновлення змісту теми 5 «Цифрова трансформація економічного розвитку» та теми 9 «Управління «підривними» технологічними змінами».

що дасть змогу поглибити науково-методичні основи окремих дисциплін та підвищити якість підготовки фахівців з економічних спеціальностей.
2. За напрямом теми НДР студентом магістратури Мандрикою В.А. підготовлено наукову роботу «Критерії оцінки перспективності інвестування проектів у криптоіндустрію», яка в II турі Міжнародного конкурсу студентських наукових робіт, секції «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність» була нагороджена дипломом I ступеня:
3. За напрямом теми НДР захищені 2 магістерські роботи (Мандрика В. А. «Розробка методології оцінювання криптовалютних проектів для венчурних фондів та приватних бізнесів» та Ткаченко О.М. «Цифровізація бізнес-процесів: світові тренди й можливості для українських компаній»).

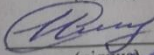
“4” грудня 2023 р.

Голова комісії:

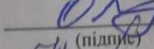
  
(підпис)

Юрій ДЕРЕВ'ЯНКО  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

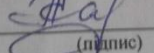
Члени комісії:

  
(підпис)

Ірина СОТНИК  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

  
(підпис)

Олександр КУБАТКО  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

  
(підпис)

Олександра КАРІНЦЕВА  
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Примітки:**

- 1) Акт затверджується проректором відповідно до напрямку діяльності у якому впроваджені результати НДР.
- 2) До складу комісії окрім гаранта освітньої програми можуть входити завідувач кафедри, якщо він не є гарантом освітньої програми, а також члени робочої проєктної групи освітньої програми з числа науково-педагогічних працівників.
- 3) Зазначати із переліку можливих результатів: оновлення змісту дисципліни (зазначити назву) за темами (вказати теми); використання методів навчання, заснованих на дослідженнях; розробки електронних засобів навчання (вказати, яких саме); видання підручника / навчального посібника / конспекта лекцій; виконання курсових робіт, проєктів, кваліфікаційних робіт здобувачами освітнього ступеня бакалавр / магістр, які залучені до виконання НДР. Цей перелік не є вичерпним.

## АКТ

**про впровадження результатів науково-дослідної роботи  
«Фундаментальні основи фазового переходу до адитивної економіки: від  
проривних технологій до інституційної соціологізації рішень»,  
№ державної реєстрації 0121U109557**

Результати науково-дослідної роботи колективу авторів під керівництвом д.е.н., професора Мельника Л.Г. на тему «Фундаментальні основи фазового переходу до адитивної економіки: від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень» (№ державної реєстрації 0121U109557), яка виконується в Сумському державному університеті, були використані у господарській діяльності ПП «Завод ПЕМ», а саме на основі наукового обґрунтування ефективності переходу господарських систем до адитивних способів виробництва та визначення пропорції часток ресурсів, що корисно використовуються, і отриманих відходів при 3D-друці, у виробничий процес було впроваджено 3D-принтер.

Заступник директора ПП «Завод ПЕМ»



Д.Г. Краснянський