

КОНЦЕПЦІЯ СТАЛОЇ ЦИФРОВОЇ БІЗНЕС-МОДЕЛІ У ВИРОБНИЧІЙ СФЕРІ

Коблянська Інна Ігорівна

кандидат економічних наук, доцент,

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0002-7844-9786

i.koblianska@biem.sumdu.edu.ua

Для досягнення цілей сталого розвитку важливим є забезпечити якомога ширшу реалізацію практик циркулярної економіки (ЦЕ) у бізнесі. Сучасні цифрові технології мають значний потенціал сприяти цьому та забезпечити ефективну реалізацію циркулярних стратегій, трансформуючи наявні бізнес-моделі, що вимагає досліджень щодо характеру та змісту таких трансформацій. Метою даного дослідження є розробка узагальненої концепції бізнес-моделі підприємства виробничої сфери, яка базується на використанні, переважно, цифрових технологій для реалізації основних принципів ЦЕ та досягнення цілей сталого розвитку. Методологія дослідження побудована на ідентифікації найбільш релевантних публікацій з теми, що інтегрує циркулярні бізнес-моделі та цифрові технології, з бази даних Scopus з 2015 та їх якісному аналізі, що передбачав визначення конкретних форм трансформації бізнес-процесів, основних стадій життєвого циклу для реалізації практик ЦЕ, основних цифрових інструментів, що забезпечують трансформацію. За результатами проведеного дослідження розроблено узагальнену концепцію сталої цифрової бізнес-моделі (СБЦМ) підприємства виробничої сфери, що базується на поєднанні класичних елементів бізнес-моделі (створення, доставка, захоплення цінності) з фазами життєвого циклу та реалізацією принципів циркулярної економіки через цифрові інструменти. Продemonстровано, що цифрові інструменти в моделі СБЦМ використовуються на всіх стадіях виробничо-споживчого циклу з метою: збільшення прозорості та ефективності процесів; створення інформаційної, сервісної та ресурсної цінності; забезпечення сталої синергії дій всіх стейкхолдерів. Концепція сталої цифрової бізнес-моделі виступає своєрідною системною рамкою, яка дозволяє одночасно використати цифрові рішення для закриття матеріальних циклів і створення нових моделей взаємодії з користувачами, трансформувати бізнес-процеси та забезпечити досягнення цілей сталого розвитку. Дана концепція може бути адаптована до різних секторів економіки і слугувати основою для розробки і втілення конкретних прикладних бізнес-рішень.

Ключові слова: цифрова трансформація, промисловість, сталий розвиток, циркулярна економіка, інновації.

DOI: <https://doi.org/10.32782/bsnau.2025.3.1>

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Зелений тиждень ЄС, що відбувся на початку червня 2025, пройшов під гаслом «Циркулярні рішення для конкурентоспроможної Європи», ставлячи в центр дискусії питання політичної, інституційної, соціально-економічної підтримки процесів імплементації рішень, що відповідають принципам циркулярної економіки (ЦЕ) як важливого інструменту посилення конкурентоспроможності. Особливий акцент в ході конференції, як свідчать наявні матеріали у публічному доступі, зроблено на необхідності зміни підходу до ведення бізнесу через переосмислення можливостей використання ресурсів [1]. Зміна політичного ландшафту, на користь введення нових, більш жорстких правил та вимог щодо ідентифікації, моніторингу та контролю побічних ресурсів та відходів у найближчому майбутньому, є додатковим поштовхом для трансформації існуючих бізнес-моделей відповідно до принципів ЦЕ.

Сучасні технології володіють значним потенціалом сприяти досягненню цілей сталого розвитку і ЦЕ зокрема. Поєднання цифрових інструментів і циркулярних стратегій, як свідчить практика провідних компа-

ній, призводить до формування нових бізнес-моделей. Визначення концептуальних засад таких бізнес-моделей дасть змогу системно та обґрунтовано формувати конкретні прикладні рішення для бізнесу, що гарантуватимуть конкурентоспроможність у середньо- та довгостроковій перспективі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За даними пошукової системи Google Scholar, за запитом «Циркулярні цифрові бізнес-моделі» (українською), лише з 2021 року, було знайдено понад 140 публікацій. Це свідчить про значний інтерес до цієї теми серед вітчизняних науковців. Детальний аналіз найбільш релевантних публікацій (за назвою та змістом анотацій) продемонстрував, що науковці зосереджують увагу на можливостях окремих цифрових технологій трансформувати традиційні бізнес-моделі. Зокрема, Черняєва А. [2] акцентує увагу на потенціалі цифрових платформ, Дикой Р. [3] розглядає окремі цифрові рішення, що можуть забезпечити формування «цифрово-зеленої моделі» ведення бізнесу. Маслак О. та Вороновська М. [4] встановили, що окремі цифрові технології змінюють методологію механізму тактичного планування при реалізації циркулярної

бізнес-моделі, втім, не ідентифікували конкретних змін у методах планування. Кифяк В. та Олійник О. пропонують нові типи бізнес-моделей в аграрному секторі, що побудовані на інтеграції цифрових технологій та принципів ЦЕ [5], але не виокремлюють конкретних технологічних рішень, що забезпечують такі трансформації.

Наукові дослідження закордонних вчених, наприклад, Крістофферсена Е. та ін. [6], Елгхаїш Ф. та ін. [7], Гарсія-Муїнья Ф. та ін. [8], Пракаш Дж. та Амбедкар К. [9] вирізняються більшою конкретністю, виокремленням основних цифрових інструментів, що мають потенціал сприяти реалізації циркулярних рішень на різних стадіях виробничого циклу в різних галузях економіки. Разом із тим, наявні дослідження характеризуються застосуванням різних теоретичних рамок для аналізу циркулярної та цифрової трансформації бізнес-моделей, різними підходами до класифікації рішень та інструментів. Відсутність єдиного уніфікованого бачення змісту концепції цифрової циркулярної бізнес-моделі створює перешкоди на шляху розробки практичних рішень з її імплементації.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розробка узагальненої концепції бізнес-моделі підприємства виробничої сфери, яка базується на використанні, переважно, цифрових технологій для реалізації основних принципів ЦЕ та досягнення цілей сталого розвитку.

Методи дослідження. Методологія даного дослідження базується на якісному аналізі наукової літератури з бази даних Scopus, що відповідають таким ключовим словам: circular economy, circular business model, Industry 4.0, digitalization, platform economy, resource efficiency, sustainability, recycling та опубліковані з початку 2015 р. Найбільш релевантні джерела для аналізу були визначені за сортуванням публікацій через оцінку релевантності за відповідністю ключовим словам та цитованістю. Такий підхід дозволив виокремити основну колекцію літератури з 25 джерел [6–9; 11; 14–33]. Якісний аналіз публікацій був здійснений з метою визначення конкретних форм трансформації бізнес-процесів; основних стадій життєвого циклу, де практики ЦЕ можуть бути реалізовані з використанням цифрових технологій; цифрових інструментів, що можуть бути застосовані.

Результати дослідження. В основі авторського підходу – поєднання концепції цінності відповідно до бізнес-моделі Остервальда і Піньє [10], підходу мислення життєвим циклом (LCT, Life Cycle Thinking), основних принципів та практик ЦЕ. Нижче наведено пояснення теоретичної основи дослідження.

У сучасній економіці досягнення прибутку вже не розглядається як основна (найголовніша) мета бізнесу, скоріше, мова йде про створення цінності, що може мати соціальну, екологічну та економічну природу. На цьому побудована ідея бізнес-моделі Остервальда і Піньє [10], що характеризує спосіб, в який компанія створює (creates), доставляє (delivers) та захоплює (captures) цінність. Отже, елементи комерційно-виробничого процесу можна структурувати як функції, які забезпечують створення, доставку та захоплення цінно-

сті. Такий підхід був застосований у попередніх дослідженнях для виділення основних стратегій бізнес-моделі, заснованої на принципах ЦЕ [9], та формулювання циркулярної бізнес-моделі [8; 11].

Головна ідея ЦЕ полягає у зміні традиційної лінійної моделі «виробництво-споживання-розміщення» (take-make-dispose) на замкнену систему, в якій ресурси використовуються так довго, наскільки це можливо. Це вимагає врахування при прийнятті рішень всіх стадій руху ресурсу – від моменту добування сировини до розміщення відходів та подальших операцій з ними. З цих позицій, концепція ЦЕ тісно пов'язана з концепцією мислення життєвим циклом. Використовуючи останню, можна ідентифікувати основні стадії (точки) впливу промислового об'єкта (продукту, організації) на довкілля, соціум, економіку та можливості мінімізації негативного впливу у довгостроковій перспективі [12], реалізуючи основні принципи ЦЕ [13]: усунення відходів та викидів; циркуляція продуктів та матеріалів; відновлення (регенерація) природного середовища.

Типові активності ЦЕ описуються моделлю ReSOLVE (Regenerate, Share, Optimize, Cycle, Virtualize, Exchange): регенерація, спільне використання, оптимізація, циркуляція, віртуалізація, обмін [14], що може бути розширена через редизайн, тобто дизайн для циркулярності, за якого продукти розробляються таким чином, щоб забезпечити легке розбирання та повторне використання компонентів [15].

Через структурування основних фаз життєвого циклу за функціями створення/ доставки / захоплення цінності, інтеграцію технологій та виокремлення основних цифрових інструментів за цими фазами, було ідентифіковано зміни у бізнес-процесах та результати цих змін з точки зору реалізації принципів та практик ЦЕ (Табл. 1).

Коментуючи дані табл. 1, слід підкреслити, що вчені, переважно, концентруються на таких стадіях як дизайн, постачання, виробництво, розміщення відходів та повторне використання. Поза увагою, з точки зору вивчення потенціалу цифрових рішень для реалізації практик ЦЕ, залишається стадія пакування. У даному контексті, доцільно підкреслити, що цифрові технології здатні суттєво зменшити негативний вплив галузі на довкілля. Сенсори, технології радіочастотної ідентифікації (RFID) та обміну даними (NFS) дозволяють відслідковувати місце розташування матеріалу, стан упакованого об'єкту, QR коди – забезпечувати інтерактивну взаємодію зі споживачем, технології «активного» та «інтелектуального» пакування – підтримувати належну якість продукту залежно від умов середовища та надавати інформацію про стан продукту. Ринок так званого «розумного» пакування вже у 2025 р. оцінюється у понад 52 млрд. дол. США та зростатиме й надалі [34].

Отже, технології пронизують усі етапи життєвого циклу та забезпечують реалізацію всіх функцій щодо генерування та використання цінності в бізнес-процесах, включно з адміністративно-управлінськими. Останні виділені в окремий блок, адже управління знаннями (та обізнаність персоналу щодо ЦЕ), прийняття рішень, оцінка екологічного впливу – все це генерує непряму,

**Трансформація бізнес-моделі промислового підприємства
внаслідок застосування цифрових технологій та потенціал реалізації принципів ЦЕ**
(курсивом виділена авторська пропозиція)

Стадії життєвого циклу продукту	Зміни у бізнес-процесах через використання технологій	Технології	Реалізація принципів та практик ЦЕ	Джерело
1	2	3	4	5
Створення цінності				
Добування сировини	Взаємодія з партнерами; Контрольований процес; <i>Віртуалізація процесів для прогнозування та прийняття рішень</i>	AI, ML, DL, IoT, S, CC, MS, <i>DP, DT, DMP, LCA</i>	Усунення відходів та викидів; Циркуляція; Спільне використання; Обмін (IS); <i>Відновлення природного середовища; Регенерація; Оптимізація</i>	[6]
Дизайн	Поширення даних з контрагентами; Оптимізація процесу дизайну; Зміни у процесах тестування; Партисипативний дизайн	BC, IoT, AM, AI, DT, BDA, LCA, RM, DMP, MM, DP, GIS	Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Редизайн; Еко-дизайн; Оптимізація; Циркуляція продуктів та матеріалів; Регенерація	[7; 9; 11; 16–21]
Постачання	Співпраця та прозорість в ланцюзі постачань; «Розумна» логістика; <i>Розбудова реверсних потоків; Відповідальність виробника</i>	IoT, BC, S, DP, BDA, 3DP, ART, LMSc, LCA, AI, ML, DL, MS, CC, GIS, DMP, MDp, Opt, PA, DT, <i>DPP</i>	Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Циркуляція; Регенерація; Оптимізація; Обмін (IS); <i>Редизайн; Спільне використання</i>	[6; 7; 11; 15; 16; 20; 22; 23–25]
Виробництво	Продуктово-сервісні системи; Соціальне виробництво; Інформування та залучення клієнта до процесу; Оптимізація процесів та потужностей, виробничої інфраструктури	IoT, BC, BDA, DP, CC, AM, PA, FM, RP, IoT, M2M, SM, MDT, MM, DT, DMP, AI	Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Циркуляція; Оптимізація; Спільне використання; Віртуалізація; Регенерація; Редизайн	[9; 15; 16; 18–20; 22; 23; 26]
Доставка цінності				
Пакування	<i>Нові можливості інформування та залучення споживача через цифрові технології; Контроль, моніторинг та облік пакування, у т.ч. відходів</i>	<i>S, IoT, BC, гейміфікація, SM, KMS, DP, DMP</i>	<i>Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Циркуляція; Оптимізація; Регенерація; Редизайн; Обмін; Зміна споживацької поведінки</i>	<i>Авторська пропозиція</i>
Дистрибуція	Нові ринки, канали та форми комунікації; Спільне творення цінності: промоція екологічної свідомості та поінформованості споживача; Залучення споживачів; <i>Оптимізація мережі, транспортних потоків</i>	IoT, BC, BDA, DP, SM, <i>Opt, LCA, DPP</i>	Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Циркуляція; Спільне використання; Віртуалізація; Промоція еко-дружніх товарів; <i>Усунення відходів та викидів</i>	[16; 18; 22; 23; 25; 27]
Використання та обслуговування	Моніторинг та оптимізація параметрів використання; Оптимізація планування обслуговування та ремонту; Взаємодія зі споживачем; <i>Навчання клієнта оптимальному використанню</i>	IoT, BC, S, AI, DL, DP, CPS, ICTKN, BDA, ARob, VR, AM, MI, CC, AAut, MDT, SM, M2M, TRS, гейміфікація, MM, DT, DMP, <i>KMS, DPP</i>	Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Циркуляція; Спільне використання; Обмін; Оптимізація; <i>Редизайн</i>	[7; 9; 15–17; 20; 22]
Захоплення цінності				
Розміщення відходів, відновлення	Співуправління та координація заходів публічних та приватних органів; Інформоване розміщення відходів; Моніторинг, облік, контроль, аналіз потоків ресурсів та інфраструктури	BC, IoT, TRS, MDT, ART, LMSc, BDA, гейміфікація, S, MS, AI, ML, DP, CC,	Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Відновлення природного середовища; Циркуляція; Регенерація; Обмін (у т.ч. IS); Спільне використання; Оптимізація; Редизайн; Соціальні зміни у напрямку ЦЕ	[6; 15; 17–19; 22; 28–30]
Повторне використання, рециклінг	Спільний рециклінг; Співуправління та координація заходів публічних та приватних органів; Інформоване розміщення ресурсів; Моніторинг, облік, контроль, аналіз потоків ресурсів та інфраструктури	BC, IoT, MI, SM, TRS, 3DP, MDT, BDA, гейміфікація, S, MS, AI, ML, DP, CC	Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Відновлення природного середовища; Циркуляція; Регенерація; Обмін (у т.ч. IS); Спільне використання; Оптимізація; Редизайн; Соціальні зміни у напрямку ЦЕ	[6; 15–19; 22; 28–30]

1	2	3	4	5
Управління фінансовими потоками	Планування та оптимізація цінової політики; Нові інструменти винагородження споживача; Плата за використання	BC, T, CM, IoT, BDA, SUD, PUD	Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Спільне використання	[9; 22]
Адміністративно-управлінські процеси				
Підтримка прийняття рішень на різних етапах	Дані в режимі реального часу; Комунікація та обмін даними; Автоматизація процесу прийняття рішень;	S, BC, IoT, AI, MS, ITS, Db, RW, Opt, LCA, ML, ANN, MM, KMS	Соціальні та організаційні трансформації для ЦЕ; Економічні переваги ЦЕ	[7; 11; 14; 18; 28; 31; 32; 33]
	<i>Багатофакторна оптимізація; Участь стейкхолдерів; Стратегування для ЦЕ</i>		<i>Усунення відходів та викидів; Циркуляція продуктів та матеріалів; Відновлення природного середовища;</i>	

*3DP – 3D друк, AI – штучний інтелект, AM – адитивне виробництво, ANN – штучні нейронні мережі, ARob – автономні роботи, ART – передові технології рециклінгу, AAut – адаптивна автоматизація, BC – блокчейн, BDA – аналітика великих даних, CM – хмарне виробництво, CPS – кібер-фізичні системи, Db – бази даних, DL – глибоке навчання, DMP – цифровий паспорт матеріалу, DP – цифрові платформи, DPP – цифровий паспорт продукту, DT – цифрові близнюки, FM – гнучкі машини, GIS – геоінформаційні системи, ICTKN – Мережа ІКТ знань, IoT – промисловий Інтернет речей, IoT – Інтернет речей, IS – індустріальний симбіоз, ITS – системи інформаційних технологій, KMS – системи управління знаннями, LCA – оцінка життєвого циклу, LMSc – науки про життя та матеріали (цифровізація), M2M – машинно-машинна взаємодія, MDb – бази даних матеріалів, MDT – технології модулярного дизайну, MI – мобільний інтернет, ML – машинне навчання, MM – системи та методи моделювання, MS – системи моніторингу, PA – засоби оптимізації, PA – предиктивна аналітика, PUD – база даних про використання продуктів, RM – роботизоване виробництво, RP – швидке прототипування, RW – віддалена робота, S – сенсори, SM – соціальні медіа, SUD – база даних про використання послуг, T – токени, TRS – системи відслідковування та повернення, VR – віртуальна реальність.

але критично важливу цінність. Цифрові технології, як можна бачити з потенціалу їх імплементації, не тільки підтримують, а формують «логіку» циркулярності бізнес-процесів через їх оптимізацію, координацію, аналіз та зворотний зв'язок, виступаючи інфраструктурою реалізації практик ЦЕ.

Через можливості більшого залучення та взаємодії зі стейкхолдерами на різних стадіях життєвого циклу, що забезпечуються цифровими технологіями, створення цінності більше не зосереджується виключно у виробництві. Цінність для споживача створюється також через дизайн, інформування та навчання, заміну виробленого продукту послугою (сервітизацію), обслуговування, рециклінг – це лежить в основі змісту пропонованої концепції. Така цінність (інформаційна, сервісна та ресурсна) створюється через визнання того, що дані виступають новою формою активу, що може бути джерелом цінності (а отже, вартості) не меншої, ніж матеріальні потоки. Відбувається зміна й фінансової логіки: винагородження споживача через токени, плата за використання – це нові способи «захоплення цінності», вже не через товар, а через доступ, платформу, сервіс або дані.

У більшості проаналізованих публікацій автори використовують термін «циркулярна» для позначення назви нової бізнес-моделі [6–9; 11; 15; 23; 33]. Разом із тим, можливості долучення стейкхолдерів на всіх стадіях життєвого циклу та генерування як екологічних, так і соціальних (через підвищення обізнаності, навчання, інформування) та економічних переваг, дозволяють ширше трактувати значення пропонованої концепції бізнес-моделі, що виходить за межі лише досягнення цілей ЦЕ. З цих позицій, більш доцільним є використання терміну «стала цифрова бізнес-модель».

Концепція сталої цифрової бізнес-моделі (СЦБМ) інтегрує класичні елементи бізнес-моделі (створення,

доставка, захоплення цінності) з фазами життєвого циклу продукту в логіці Life Cycle Thinking та цифровими інструментами на кожній з цих стадій, для підтримки принципів сталого розвитку, зокрема циркулярності, відповідального споживання та ресурсної ефективності. Цифрові інструменти використовуються на всіх стадіях виробничо-споживчого циклу з метою: збільшення прозорості та ефективності процесів; створення інформаційної, сервісної та ресурсної цінності; забезпечення сталої синергії дій всіх стейкхолдерів.

Висновки. У даному дослідженні розроблено узагальнену концепцію сталої цифрової бізнес-моделі підприємства виробничої сфери, що базується на поєднанні класичних елементів бізнес-моделі (створення, доставка, захоплення цінності) з фазами життєвого циклу продукту (Life Cycle Thinking) та реалізацією принципів циркулярної економіки через цифрові інструменти. Інтеграція цифрових технологій на кожному етапі життєвого циклу дозволяє формувати нову логіку сталого створення і монетизації цінності, що охоплює не лише на продукт, але й дані, сервіс, спільне використання та ресурсну ефективність.

Концепція СБЦМ, хоча й акцентує увагу на виробничій сфері, може бути адаптована та імplementована у різних секторах економіки, виступаючи методологічною та практичною основою для сталих інновацій у виробництві, споживанні та управлінні ресурсами. Дослідження перспектив імплементації запропонованої концепції у різних сферах може становити предмет подальших наукових розвідок у цій сфері.

Подяки. Дослідження виконане в рамках НДР Реструктуризація національної економіки в напрямі цифрових трансформацій для сталого розвитку (№0122U001232).

Список використаної літератури:

1. European Union. *EU Green Week 2025: Circular Solutions for a Competitive EU*. 2025. URL: https://green-week.event.europa.eu/index_en (дата звернення: 15.06.2025).
2. Черняєва А. Використання новітніх цифрових інструментів та технологій ведення бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2024. № 60. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-89>.
3. Дикой Р. О. Цифрова трансформація економіки та бізнесу в умовах переходу до зеленої економіки. *European Scientific Journal of Economic and Financial Innovation*. 2025. № 2 (16). С. 82–92. DOI: <https://doi.org/10.32750/2025-0208>.
4. Маслак О.О., Вороновська М.М. Моделювання стану тактичного планування в системі циркулярних бізнес-моделей підприємств. *Економічний простір*. 2025. № 198. С. 201–208. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.198.201-208>.
5. Кифяк В.І., Олійник О.Б. Інтеграція принципів циркулярної економіки в сталий розвиток бізнес-моделей аграрного сектору в умовах цифровізації. *Економічний простір*. 2025. № 197. С. 38–45. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.197.38-45>.
6. Kristoffersen E., Blomsma F., Mikalef P., Li J. The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*. 2020. № 120. P. 241–261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>.
7. Elghaish F., Matarneh S. T., Edwards D. J., Pour Rahimian F., El-Gohary H., Ejohwomu O. Applications of Industry 4.0 digital technologies towards a construction circular economy: Gap analysis and conceptual framework. *Construction Innovation*. 2022. Vol. 22. № 3. P. 647–670. DOI: <https://doi.org/10.1108/CI-03-2022-0062>.
8. Garcia-Muiña F. E., González-Sánchez R., Ferrari A. M., Settembre-Blundo D. The paradigms of Industry 4.0 and circular economy as enabling drivers for the competitiveness of businesses and territories: The case of an Italian ceramic tiles manufacturing company. *Social Sciences*. 2018. Vol. 7. № 12. P. 255–285. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci7120255>.
9. Prakash G., Ambedkar K. Digitalization of manufacturing for implanting value, configuring circularity and achieving sustainability. *Journal of Advances in Management Research*. 2023. Vol. 20. № 1. P. 116–139. DOI: <https://doi.org/10.1108/JAMR-01-2022-0010>.
10. Osterwalder A., Pigneur Y. Aligning profit and purpose through business model innovation. *Responsible Management Practices for the 21st Century* / G. Palazzo, M. Wentland. Pearson International Editors, Paris, 2011. P. 61–75.
11. Garcia-Muiña F. E., González-Sánchez R., Ferrari A. M., Settembre-Blundo D. Identifying the equilibrium point between sustainability goals and circular economy practices in an Industry 4.0 manufacturing context using eco-design. *Social Sciences*. 2019. Vol. 8. № 8. P. 241–262. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci8080241>.
12. Коблянська І. Еволюція методології оцінювання життєвого циклу: Світовий та вітчизняний контексти. *Економіка та суспільство*. 2022. № 42. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-27>.
13. Ellen MacArthur Foundation. (2025). *Circular economy principles*. 2025. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-principles> (дата звернення: 01.06.2025).
14. Silva T. H. H. D., Sehnem S. (2024). Industry 4.0 technologies as a motivator for the circular economy in foodtechs: A stakeholder perspective. *Sustainable Development*. 2024. Vol. 32. № 5. P. 4633–4648. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.2921>.
15. Ramakrishna S., Ngowi A., Jager H. D., Awuzie B. O. Emerging industrial revolution: Symbiosis of Industry 4.0 and circular economy: The role of universities. *Science, Technology and Society*. 2020. Vol. 25. № 3. P. 505–525. DOI: <https://doi.org/10.1177/0971721820912918>.
16. Ingemarsdotter E., Jamsin E., Kortuem G., Balkenende R. Circular strategies enabled by the Internet of Things – A framework and analysis of current practice. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. № 20. P. 5689–5725. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11205689>.
17. Bressanelli G., Adrodegari F., Perona M., Sacconi N. Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. № 3. P. 639–659. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030639>.
18. Massaro M., Secinaro S., Dal Mas F., Brescia V., Calandra D. Industry 4.0 and circular economy: An exploratory analysis of academic and practitioners' perspectives. *Business Strategy and the Environment*. 2021. Vol. 30. № 2. P. 1213–1231. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.2680>.
19. Sun X., Wang X. Modeling and analyzing the impact of the Internet of Things-based Industry 4.0 on circular economy practices for sustainable development: Evidence from the food processing industry of China. *Frontiers in Psychology*. 2022. № 13. P. 866361–866373. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.866361>.
20. Talla A., McIlwaine S. Industry 4.0 and the circular economy: Using design-stage digital technology to reduce construction waste. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2024. Vol. 13. № 1. P. 179–198. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2022-0050>.
21. Nagatomo D. Research on education for sustainable development with design-based research by employing Industry 4.0 technologies for the issue of single-use plastic waste in Taiwan. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. № 22. P. 9832–9851. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16229832>.
22. Esmaeilian B., Sarkis J., Lewis K., Behdad S. Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020. № 163. P. 105064–105078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105064>.
23. Charnley F., Knecht F., Muenkel H., Pletosu D., Rickard V., Sambonet C., Schneider M., Zhang C. Can digital technologies increase consumer acceptance of circular business models? The case of second hand fashion. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. № 8. P. 4589–4609. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084589>.

24. Ali M. U., Khan I., Khan H. Leveraging Industry 4.0 technologies and industrial symbiosis: Advancing circular economy practices in BRICS economies. *Journal of Environmental Management*. 2025. № 383. P. 125471–125481. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125471>.
25. Krstić M., Agnusdei G. P., Miglietta P. P., Tadić S. Logistics 4.0 toward circular economy in the agri-food sector. *Sustainable Futures*. 2022. № 4. P. 100097–100107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2022.100097>.
26. Reuter M. A. Digitalizing the circular economy: Circular economy engineering defined by the metallurgical Internet of Things. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2016. Vol. 47. № 6. P. 319–3220. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11663-016-0735-5>.
27. Kalogiannidis S., Kalfas D., Chatzitheodoridis F., Kotsas S. The impact of digitalization in supporting the performance of circular economy: A case study of Greece. *Journal of Risk and Financial Management*. 2022. Vol. 15. № 8. P. 349–366. DOI: <https://doi.org/10.3390/jrfm15080349>.
28. Voukaki I., Papamichael I., Economou F., Loizia P., Klontza E., Lekkas D. F., Naddeo V., Zorpas A. A. Factors affecting social attitude and behavior for the transition towards a circular economy. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2023. № 36. P. 101276–101286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101276>.
29. Zohourfazeli H., Sabaghpourfard A., Chaabane A., Jabbarzadeh A. Optimization-based model of a circular supply chain for coffee waste. *Supply Chain Analytics*. 2025. № 10. P. 100126–100144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100126>.
30. Sánchez-García E., Martínez-Falcó J., Marco-Lajara B., Manresa-Marhuenda E. Revolutionizing the circular economy through new technologies: A new era of sustainable progress. *Environmental Technology & Innovation*. 2024. № 33. P. 103509–103531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103509>.
31. Colla V., Pietrosanti C., Malfa E., Peters K. Environment 4.0: How digitalization and machine learning can improve the environmental footprint of the steel production processes. *Matériaux & Techniques*. 2020. Vol. 108. № 5–6. P. 507–517. DOI: <https://doi.org/10.1051/mattech/2021007>.
32. Oláh J., Novotná A., Sarihasan I., Erdei E., Popp J. Examination of the relationship between sustainable Industry 4.0 and business performance. *Journal of Competitiveness*. 2023. Vol. 14. № 4. P. 25–43. DOI: <https://doi.org/10.7441/joc.2022.04.02>.
33. Norouzi M., Châfer M., Cabeza L. F., Jiménez L., Boer D. Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *Journal of Building Engineering*. 2021. № 44. P. 102704–102721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102704>.
34. Revolutionizing packaging with smart sensors and intelligent packaging. *SICK Sensor Connection*, 2025. URL: <https://sickconnect.com/revolutionizing-packaging-with-smart-sensors-and-intelligent-packaging/> (дата звернення: 20.05.2025).

References:

1. European Union. (2025). *EU Green Week 2025: Circular Solutions for a Competitive EU*. Available at: https://green-week.event.europa.eu/index_en (accessed 15 June 2025).
2. Cherniaieva A. (2024) Vykorystannja novitnikh cyfrovykh instrumentiv ta tekhnologij vedennja biznesu [The use of advanced digital tools and business technologies]. *Ekonomika ta suspilstvo*, no. 60. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-60-89>.
3. Dykoi R. O. (2025) Cyfrova transformacija ekonomiky ta biznesu v umovakh perekhodu do zelenoji ekonomiky [Digital transformation of the economy and business in the transition to a green economy]. *European Scientific Journal of Economic and Financial Innovation*, no. 2., vol. 16, pp. 82–92. DOI: <https://doi.org/10.32750/2025-0208>.
4. Maslak O., Voronovska M., Malyk M. (2025) Modeljuvannja stanu taktychnogho planuvannja v systemi cyrkuljarnykh biznes-modelej pidprijemstv [Modeling the condition of tactical planning in the system of circular business models of enterprises]. *Ekonomichnyi prostir*, no. 198, pp. 201–208. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.198.201-208>.
5. Kyfyak V., Oliynyk O. (2025). Integhracija pryncypiv cyrkuljarnoji ekonomiky v stalij rozvytok biznes-modelej aghrarnogho sektoru v umovakh cyfrovizaciji [Integration of the principles of the circular economy in the sustainable development of business models of the agricultural sector in the conditions of digitalization]. *Ekonomichnyi prostir*, no. 197, pp. 38–45. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.197.38-45>.
6. Kristoffersen E., Blomsma F., Mikalef P., Li J. (2020) The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, no. 120, pp. 241–261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.07.044>.
7. Elghaish F., Matarneh S. T., Edwards D. J., Pour Rahimian F., El-Gohary H., Ejohwomu O. (2022) Applications of Industry 4.0 digital technologies towards a construction circular economy: Gap analysis and conceptual framework. *Construction Innovation*, vol. 22, no. 3, pp. 647–670. DOI: <https://doi.org/10.1108/CI-03-2022-0062>.
8. Garcia-Muiña F. E., González-Sánchez R., Ferrari A. M., Settembre-Blundo D. (2018) The paradigms of Industry 4.0 and circular economy as enabling drivers for the competitiveness of businesses and territories: The case of an Italian ceramic tiles manufacturing company. *Social Sciences*, vol. 7, no. 12, pp. 255–285. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci7120255>.
9. Prakash G., Ambedkar K. (2023) Digitalization of manufacturing for implanting value, configuring circularity and achieving sustainability. *Journal of Advances in Management Research (JAMR)*, vol. 20, no. 1, pp. 116–139. DOI: <https://doi.org/10.1108/JAMR-01-2022-0010>.
10. Osterwalder A., Pigneur Y. (2010) *Aligning profit and purpose through business model innovation*. In Palazzo G., Wentland M. (Eds.) *Responsible Management Practices for the 21st Century*. Paris: Pearson International Editors, pp. 61–75.

11. Garcia-Muiña F. E., González-Sánchez R., Ferrari A. M., Settembre-Blundo D. (2019) Identifying the equilibrium point between sustainability goals and circular economy practices in an Industry 4.0 manufacturing context using eco-design. *Social Sciences*, vol. 8, no. 8, pp. 241–262. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci8080241>.
12. Koblianska I. (2022) Evolucija metodologiji ocinjuvannja zhyttjevogho cyklu: svitovyj ta vitchyznjanyj konteksty [Evolution of life cycle assessment methodology: world and domestic perspective]. *Economy and Society*, no. 42. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-27>.
13. Ellen MacArthur Foundation. (2025). *Circular economy principles*. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-principles> (accessed 1 June 2025).
14. Silva T. H. H. D., Sehnem S. (2024) Industry 4.0 technologies as a motivator for the circular economy in foodtechs: A stakeholder perspective. *Sustainable Development*, vol. 32, no. 5, pp. 4633–4648. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.2921>.
15. Ramakrishna S., Ngowi A., Jager H. D., Awuzie B. O. (2020) Emerging industrial revolution: Symbiosis of Industry 4.0 and circular economy: The role of universities. *Science, Technology and Society*, vol. 25, no. 3, pp. 505–525. DOI: <https://doi.org/10.1177/0971721820912918>.
16. Ingemarsdotter E., Jamsin E., Kortuem G., Balkenende R. (2019) Circular strategies enabled by the Internet of Things – A framework and analysis of current practice. *Sustainability*, vol. 11, no. 20, pp. 5689–5725. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11205689>.
17. Bressanelli G., Adrodegari F., Perona M., Sacconi N. (2018) Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability*, vol. 10, no. 3, pp. 639–659. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030639>.
18. Massaro M., Secinaro S., Dal Mas F., Brescia V., Calandra D. (2021) Industry 4.0 and circular economy: An exploratory analysis of academic and practitioners' perspectives. *Business Strategy and the Environment*, vol. 30, no. 2, pp. 1213–1231. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.2680>.
19. Sun X., Wang X. (2022) Modeling and analyzing the impact of the Internet of Things-based Industry 4.0 on circular economy practices for sustainable development: Evidence from the food processing industry of China. *Frontiers in Psychology*, no. 13, pp. 866361–866373. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.866361>.
20. Talla A., McIlwaine S. (2024) Industry 4.0 and the circular economy: Using design-stage digital technology to reduce construction waste. *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 13, no. 1, pp. 179–198. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2022-0050>.
21. Nagatomo D. (2024) Research on education for sustainable development with design-based research by employing Industry 4.0 technologies for the issue of single-use plastic waste in Taiwan. *Sustainability*, vol. 16, no. 22, pp. 9832–9851. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16229832>.
22. Esmaeilian B., Sarkis J., Lewis K., Behdad S. (2020) Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resources, Conservation and Recycling*, no. 163, pp. 105064–105078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105064>.
23. Charnley F., Knecht F., Muenkel H., Pletosu D., Rickard V., Sambonet C., Schneider M., Zhang C. (2022) Can digital technologies increase consumer acceptance of circular business models? The case of second hand fashion. *Sustainability*, vol. 14, no. 8, pp. 4589–4609. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084589>.
24. Ali M. U., Khan I., Khan H. (2025) Leveraging Industry 4.0 technologies and industrial symbiosis: Advancing circular economy practices in BRICS economies. *Journal of Environmental Management*, no. 383, pp. 125471–125481. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125471>.
25. Krstić M., Agnusdei G. P., Miglietta P. P., Tadić S. (2022) Logistics 4.0 toward circular economy in the agri-food sector. *Sustainable Futures*, no. 4, pp. 100097–100107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2022.100097>.
26. Reuter M. A. (2016) Digitalizing the circular economy: Circular economy engineering defined by the metallurgical Internet of Things. *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 47, no. 6, pp. 3194–3220. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11663-016-0735-5>.
27. Kalogiannidis S., Kalfas D., Chatzitheodoridis F., Kontsas S. (2022) The impact of digitalization in supporting the performance of circular economy: A case study of Greece. *Journal of Risk and Financial Management*, vol. 15, no. 8, pp. 349–366. DOI: <https://doi.org/10.3390/jrfm15080349>.
28. Voukka I., Papanichael I., Economou F., Loizia P., Klontza E., Lekkas D. F., Naddeo V., Zorpas A. A. (2023). Factors affecting social attitude and behavior for the transition towards a circular economy. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, no. 36, pp. 101276–101286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101276>.
29. Zohourfazel H., Sabaghpourfard A., Chaabane A., Jabbarzadeh A. (2025) Optimization-based model of a circular supply chain for coffee waste. *Supply Chain Analytics*, no. 10, pp. 100126–100144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100126>.
30. Sánchez-García E., Martínez-Falcó J., Marco-Lajara B., Manresa-Marhuenda E. (2024) Revolutionizing the circular economy through new technologies: A new era of sustainable progress. *Environmental Technology & Innovation*, no. 33, pp. 103509–103531. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103509>.
31. Colla V., Pietrosanti C., Malfa E., Peters K. (2020) Environment 4.0: How digitalization and machine learning can improve the environmental footprint of the steel production processes. *Matériaux & Techniques*, vol. 108, no. 5–6, pp. 507–517. DOI: <https://doi.org/10.1051/mattech/2021007>.
32. Oláh J., Novotná A., Sarihasan I., Erdei E., Popp J. (2023) Examination of the relationship between sustainable Industry 4.0 and business performance. *Journal of Competitiveness*, vol. 14, no. 4, pp. 25–43. DOI: <https://doi.org/10.7441/joc.2022.04.02>.

33. Norouzi M., Chàfer M., Cabeza L. F., Jiménez L., Boer D. (2021) Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. *Journal of Building Engineering*, no. 44, pp. 102704–102721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102704>.
34. SICK Sensor Connection. (2025) Revolutionizing packaging with smart sensors and intelligent packaging. *SICK Sensor Connection*. Available at: <https://sickconnect.com/revolutionizing-packaging-with-smart-sensors-and-intelligent-packaging/> (accessed 20 May 2015).

Inna Koblianska, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Sumy State University

CONCEPT OF A SUSTAINABLE DIGITAL BUSINESS MODEL FOR THE MANUFACTURING SECTOR

Achieving sustainable development goals requires the broad implementation of circular economy (CE) practices in business. Modern digital technologies have significant potential to support this process by enabling the effective implementation of circular strategies through the transformation of existing business models. This, in turn, necessitates research into the nature and content of such transformations. The purpose of this study is to develop a generalised concept of a business model for a manufacturing enterprise, based primarily on the use of digital technologies to apply the core principles of the circular economy and contribute to sustainable development goals. The research methodology involves identifying the most relevant publications from the Scopus database (since 2015) that integrate circular business models and digital technologies, followed by a qualitative analysis. This analysis focused on identifying specific forms of business process transformation, key life cycle stages for implementing CE practices, and the main digital tools enabling such transformation. Based on the findings, a generalised concept of a Sustainable Digital Business Model (SDBM) for a manufacturing enterprise was developed. It integrates the classical elements of a business model (value creation, delivery, and capture) with life cycle phases and the application of circular economy principles through digital tools. The study demonstrates that digital tools within the SDBM framework are applied at all stages of the production–consumption cycle to increase process transparency and efficiency, generate informational, service, and resource value, and ensure sustainable synergy among all stakeholders. The concept of an SDBM functions as a systemic framework that facilitates the simultaneous use of digital solutions to close material loops, foster new forms of user interaction, transform business processes, and advance sustainable development goals. This concept can be adapted across various sectors of the economy and serve as a foundation for the development and implementation of practical business solutions.

Key words: digital transformation, industry, sustainable development, circular economy, innovation.

Дата надходження до редакції: 08.07.2025 р.