

Черній І. І.

аспірант,

Тернопільський національний технічний університет

імені Івана Пулюя

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8272-7358>

АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ ЦИФРОВИХ ПЕРЕМІН НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ

У статті представлено агентно-орієнтовану модель формування синергії між цифровою трансформацією територіальних громад і розвитком підприємницького середовища в умовах різних сценаріїв цифрових перемін. Запропоновано чотири сценарії – базовий, покращеної цифровізації громад, цифрового стимулювання підприємництва та комбінований сценарій синергії. Обґрунтовано, що в умовах воєнного стану та післявоєнного відновлення України саме цифрова трансформація бізнес-процесів стає ключовим чинником стійкості території, інноваційності та соціально-економічного зростання. Наукова новизна дослідження полягає у побудові агентно-орієнтованої моделі, яка враховує взаємодію агентів різного рівня – бізнес-структур і органів місцевого самоврядування. Застосування моделювання у середовищі NetLogo дозволило визначити динаміку індексу синергії, що забезпечує відповідно покращення обміну інформацією між громадами та малим і середнім бізнесом, підвищення швидкості прийняття рішень органами місцевого самоврядування і стимулювання підприємницької активності та інновацій через доступ до цифрових сервісів. Проаналізовано, що кожен із запропонованих сценаріїв синергії демонструє різний рівень впливу на інтеграційні показники взаємодії територіальної громади та бізнесу. Доведено, що впровадження цифрових екосистем і агентно-орієнтованих рішень забезпечує ефект мультиплікативного прискорення місцевого розвитку, зменшує транзакційні витрати та формує довгострокову інституційну синергію між громадою, бізнесом і владою. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування тенденцій цифрової трансформації на місцевому рівні, формування рекомендацій для цифрових стратегій територіальних громад, а також оцінювання ефективності політики підтримки підприємництва в умовах цифровізації.

Ключові слова: територіальна громада, малий і середній бізнес, влада, цифровізація, підприємництво, агентно-орієнтоване моделювання, індекс синергії, сценарій, модернізація.

Ihor Chernii

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

AGENT-ORIENTED SIMULATION OF DIGITAL CHANGE SCENARIOS AT THE LOCAL LEVEL

The article presents an agent-oriented model of synergy formation between the digital transformation of territorial communities and the development of the business environment under different scenarios of digital change. Four scenarios are proposed – the basic one, improved digitalization of communities, digital stimulation of entrepreneurship and a combined synergy scenario. It is substantiated that in the conditions of martial law and post-war reconstruction of Ukraine, it is the digital transformation of management and business processes that becomes a key factor in local sustainability, innovation and socio-economic growth. The scientific novelty of the study lies in the construction of an agent-oriented model that takes into account the interaction of agents at different levels – local governments and business structures. The use of modeling in the NetLogo environment made it possible to determine the dynamics of the synergy index, which ensures, respectively, improved information exchange between communities and enterprises, increased decision-making speed by local governments and stimulation of entrepreneurial activity and innovation through access to digital services. It is analyzed that each of the proposed synergy scenarios demonstrates a different level of impact on the integration indicators of interaction between the territorial community and business. It is proven that the implementation of digital ecosystems and agent-oriented solutions provides the effect of multiplicative acceleration of local development, reduces transaction costs and forms long-term institutional synergy between the authorities, business and community. The results obtained can be used to predict digital transformation trends at the local level, formulate recommendations for digital strategies of communities, and assess the effectiveness of entrepreneurship support policies in the context of digitalization.

Keywords: territorial community, small and medium-sized businesses, power, digitalization, entrepreneurship, agent-oriented modeling, synergy index, scenario, modernization.

Постановка проблеми та її актуальність. Сучасні трансформаційні процеси в Україні, спричинені повномасштабним вторгненням, стрімкою цифровізацією та особливостями господарювання на рівні місцевої економіки, актуалізують необхідність дослідження взаємодії між територіальною громадою, владою та бізнесом. Внаслідок недостатньої інформаційної бази, обмеженої цифрової зрілості процесів управління та відсутності єдиних алгоритмів інтеграції даних, – традиційна система взаємодії втрачає свою ефективність. У цьому контексті виникає потреба у формуванні нового типу синергії, яка враховувала б аналітичні дані, інноваційні інструменти керування та інституційну спроможність територіальних громад. Відтак, для оцінювання потенціалу синергії між рівнем цифрової готовності територіальних громад та активністю бізнесу доцільно застосувати агентно-орієнтовану модель у середовищі NetLogo. Вона дозволяє відтворити динаміку цифрового розвитку та підприємницької активності в умовах різних сценаріїв цифрової трансформації, а також оцінити рівень формування стійкої соціально-економічної синергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема цифровізації та смарт-розвитку територіальних громад широко розкрита як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. Серед них найбільш відомими є: І. Булеєв, Л. Гончаренко, Т. Камінська, В. Геєць, О. Власюк, а також сучасні дослідники цифрової зрілості бізнесу й інституційної взаємодії – F. Moura та J. de Abreu e Silva [1]; N. Re, A. Ghezzi, R. Balocco і A. Rangone [2]; G. Vial [3]; TN. Hindi та A. Frenkel [5]; N. Sultana та E. Turkina [7]; H. Wang та B. Li [8] та ін. У працях науковців цифровізація розглядається як пріоритетний фактор модернізації економічних систем, підвищення ефективності управління та формування конкурентоспроможних територіальних громад.

Однак, попри значну кількість напрацювань, недостатньо вивченими залишаються питання інтеграції цифрових процесів між громадами, бізнесом і владою, а також механізми моделювання синергійного ефекту цих взаємозв'язків. Тому, наукове дослідження є вкрай актуальним, оскільки спрямоване на розробку агентно-орієнтованих моделей взаємодії територіальних громад і бізнесу.

Метою статті є кількісна оцінка потенціалу синергії між рівнем цифрової готовності територіальних громад і цифровою зрілістю бізнесу для формування нових інноваційних моделей місцевого розвитку.

Виклад основного матеріалу дослідження. Агентно-орієнтоване моделювання (Agent-Based Modeling) дає змогу змодельовати складні соціально-економічні процеси, враховуючи поведінку окре-

мих агентів (громад, підприємств, органів влади) та їх взаємодію в цифровому середовищі. Такий підхід дозволяє відобразити не лише агреговані статистичні тенденції, а й індивідуальні моделі поведінки суб'єктів, адаптивну динаміку їхніх рішень і нелінійні ефекти, що виникають унаслідок зворотних зв'язків у системі «громада – бізнес». Метою побудови агентно-орієнтованої моделі у середовищі NetLogo є кількісна оцінка потенціалу синергії між рівнем цифрової готовності територіальних громад і цифровою зрілістю бізнесу, а також продемонструвати взаємодію двох типів агентів у динаміці.

Агентами в даній моделі виступають територіальні громади як соціально-економічні одиниці з ресурсами та потребами, а також бізнес-структури – агенти, що реагують на економічні сигнали і шукають взаємовигідні взаємодії.

Сценарії розвитку моделі формуються як альтернативні уявлення можливих варіантів взаємодії агентів – громад, підприємств – з урахуванням різного рівня цифрової готовності, політик стимулювання бізнесу та інвестицій у цифрову інфраструктуру. Кожен сценарій відображає певну комбінацію факторів впливу, а саме їхнє порівняння дозволяє визначити за яких умов досягається найвищий рівень цифрової взаємодії.

Для оцінювання взаємодії територіальних громад і бізнесу розроблено чотири сценарії:

1) Базовий сценарій розвитку – передбачає збереження поточного рівня цифрової готовності громади та цифрової зрілості малого та середнього бізнесу.

2) Сценарій покращеної цифровізації громад – підвищення цифрових навичок, розширення доступу до онлайн-послуг.

3) Сценарій цифрового стимулювання підприємництва – зростання cooperation-rate за рахунок реалізації місцевих бізнес-ініціатив, грантових програм та партнерських проєктів.

4) Комбінований сценарій синергії – одночасне підвищення цифрової готовності громад і активізації бізнесу, що дозволяє оцінити ефекти взаємного посилення.

У середовищі NetLogo для моделювання передбачено такі основні параметри (Табл. 1).

Ключовим інтегральним показником у моделі є індекс синергії (synergy-index), який виступає агрегованим показником ефективності цифрової взаємодії, що формується під впливом інтенсивності поширення інновацій, ступеня залучення громади, активності бізнесу в цифрових процесах.

Початкове значення Індексу синергії в моделі дорівнює 0, оскільки на старті процесу взаємодії громади та бізнесу синергія ще не сформована, а взаємодія між суб'єктами перебуває на початковому етапі розвитку. Таким чином, усі позитивні ефекти від циф-

Загальні параметри моделювання

Параметр	Опис
community-digital-level	Початковий рівень цифрової готовності громади (0–100)
business-digital-maturity	Початковий рівень цифрової готовності підприємства (0–5)
cooperation-rate	Коефіцієнт співпраці громади та бізнесу (0–1)
innovation-impact	Вплив інновацій бізнесу на розвиток громади (0–1)
innovation-diffusion	Швидкість поширення інновацій між агентами (0–1)
external-support	Рівень зовнішньої підтримки (державні або донорські програми), що підсилюють cooperation-rate
synergy-index	Інтегральний показник синергії цифровізації
ticks	Симуляційний час (умовно 1 tick = 1 рік)

Джерело: сформовано автором

ровізації, співпраці, впливу інновацій, їх поширення та зовнішньої підтримки починають накопичуватися у процесі моделювання. Такий підхід дозволяє оцінити динаміку приросту індексу протягом певного періоду та порівнювати ефективність різних сценаріїв розвитку взаємодії між громадою та бізнесом.

Приріст індексу синергії визначається як зважена сума ключових чинників, що впливають на взаємодію суб'єктів місцевого розвитку:

$$\Delta SI_t = \frac{(CD * 0.002 + BM * 0.05 + CR * 0.8 + I * 0.6 + ID * 0.4 + ES * 0.5)}{100} \quad (3.1)$$

де CD – рівень цифровізації громади;

BM – цифрова зрілість бізнесу;

CR – рівень співпраці;

I – вплив інновацій на розвиток громади;

ID – швидкість поширення інновацій;

ES – зовнішня підтримка (державна або міжнародна).

Подальший розвиток синергії формується через накопичення ефектів взаємодії та цифровізації:

$$\Delta SI_t = f(CD, BM, CR, I, ID, ES) \quad (3.2)$$

Значення коефіцієнтів у формулі 3.1. визначені на основі теоретичних положень і логіки взаємозв'язків між агентами (Табл. 2).

Сумарне співвідношення коефіцієнтів у формулі індексу синергії вибрано з урахуванням відносного впливу кожного чинника на загальну ефективність взаємодії громади та бізнесу. Таке співвідношення коефіцієнтів забезпечує адекватну пропорційність впливів, нормалізує показники до порівнянних масштабів і дозволяє моделі відтворювати реалістичну динаміку накопичення синергії в громадах різного типу. Найбільшу вагу має cooperation-rate, оскільки він безпосередньо формує синергійний ефект; меншу, але суттєву – business-digital-maturity, innovation-impact, innovation-diffusion, а найменшу – community-digital-level, external-support.

Для проведення симуляцій у середовищі NetLogo 6.4.0 застосовано систему слайдерів для налашту-

вання параметрів моделі відповідно до сценарію розвитку: для параметра community-digital-level встановлено діапазон від 0 до 100 із кроком 0,1; business-digital-maturity задається у межах від 0 до 5 із кроком 0,01; інші параметри – cooperation-rate, innovation-impact, innovation-diffusion та external-support – мають інтервал зміни від 0 до 1 з кроком 0,01. Таке налаштування забезпечує високу чутливість моделі та дає змогу аналізувати динаміку індексу синергії у межах п'ятирічного періоду.

Концептуальна структура базового сценарію. У даному сценарії виокремлено два основних типи агентів – громади та бізнес (Табл. 3).

Для кожного типу громад Тернопільської області визначено параметри базового сценарію взаємодії (Табл. 4).

Параметри базуються на емпіричних даних і відображають реальні умови цифрової взаємодії:

1. **Коефіцієнт співпраці громади та бізнесу** (cooperation-rate (0–1)) відображає інтенсивність взаємодії громади та бізнесу (0 → практично немає співпраці; 1 → дуже високий рівень співпраці). Для Тернопільської міської громади враховано міжнародні партнерства та грантові ініціативи, співпрацю з муніципалітетами Швеції та Бельгії, гранти на відкриття та розвиток бізнесу, програму «Власна справа», мікрогранти від програми «єРобота», міжнародні програми та проекти, меморандум з Global Communities. Обране значення cooperation-rate = 0.3 відповідає помірному рівню взаємодії, коли є проекти і гранти, але охоплення не повне.

2. **Показник впливу інновацій бізнесу на розвиток громади** (innovation-impact – (0–1) характеризує вплив інновацій бізнесу на розвиток громади. Оцінка цього показника залежить від кількості та якості інноваційних ініціатив, що реалізуються в громаді. Тернопільська громада бере участь у програмах Innovation Challenge, Green Innovation Challenge; діє EcoHub; формується стартап-екосистема. Враховуючи наявні дані, можна оцінити вплив інновацій бізнесу на розвиток громади на рівні 0,6, що свідчить про високий рівень впливу інновацій.

Таблиця 2

Обґрунтування вибору коефіцієнта (множника) у формулі індексу синергії

Показник	Коефіцієнт	Логіка вибору / обґрунтування
(CD) community-digital-level $\times 0,002$	0,002	Цифровий рівень громади є фоновим фактором – створює середовище для розвитку синергії, але не має прямого короткострокового ефекту, тому коефіцієнт мінімальний. Множник 0,002 виконує функцію нормалізації шкали, перетворюючи значення (0–100) до рівня, співмірного з іншими чинниками (0–1). Такий коефіцієнт відображає фоновий, опосередкований характер впливу громади: цифрова інфраструктура створює необхідні умови для синергії, проте не є безпосереднім драйвером її зростання без активної участі бізнесу та партнерських зв'язків [1–2]
(BM) business-digital-maturity $\times 0,05$	0,05	Рівень цифрової зрілості бізнесу має більший вплив, адже бізнес є драйвером інновацій та співпраці. Вагу 0,05 обрано помірно, щоб відобразити поступовий, але стабільний внесок бізнесу. Дослідження підтверджує зв'язок між цифровою зрілістю бізнесу, стратегією цифрової трансформації та організаційними компетенціями, а також, що бізнес-цифровізація має значущий вплив на результати трансформації [3–5]
(CR) cooperation-rate $\times 0,8$	0,8	Рівень співпраці має найвищу вагу, оскільки саме через взаємодію громади і бізнесу реалізується ефект синергії. Цей параметр відображає «інтеграційний» вплив. Високий рівень співпраці між бізнесом і громадою значно підвищує ефективність інноваційних процесів [6–7]
(II) innovation-impact $\times 0,6$	0,6	Інноваційна активність створює мультиплікативний ефект у довгостроковій перспективі. Значення 0,6 вказує на високу, але не максимальну важливість [8–9]
(ID) innovation-diffusion $\times 0,4$	0,4	Швидкість поширення інновацій має середню вагу, оскільки залежить від інфраструктури та людського капіталу [9]
(ES) external-support $\times 0,5$	0,5	Зовнішня підтримка (державна, донорська, інвестиційна) може істотно посилювати розвиток цифровізації, особливо у громадах із низькою стартовою базою. Звіт OECD про цифрову трансформацію SMEs підтверджує значення зовнішньої підтримки. Тому вагу встановлено на рівні 0,5 [10]

Джерело: сформовано автором

Таблиця 3

Основні агенти в моделюванні

Агенти	Міські громади	Селищні громади	Сільські громади
Громада (Community)	Тернопільська громада	Великобірківська громада	Трибухівська громада
Бізнес (Enterprise)	ПрАТ «Тернопільський молокозавод»	ТОВ «Бондіюлі і Павезі»	ТОВ «Гадз-Агро»

Джерело: сформовано автором

Таблиця 4

Параметри базового сценарію взаємодії територіальних громад і бізнесу

Параметр	Міська громада	Селищна громада	Сільська громада
Загальний індекс цифрової трансформації (community-digital-level)	70,91	48,08	43,67
Цифрова готовність (business digital-maturity)	3,85	3,50	3,20
Коефіцієнт співпраці громади та бізнесу (cooperation-rate)	0,30	0,25	0,20
Показник впливу інновацій бізнесу на розвиток громади (innovation-impact)	0,60	0,45	0,35
Показник швидкості поширення інновацій (innovation-diffusion)	0,10	0,08	0,06
Показник зовнішньої підтримки (external-support)	0,15	0,10	0,08

Джерело: сформовано автором

3. *Показник швидкості поширення інновацій* (innovation-diffusion – (0–1) показує як швидко нові цифрові рішення від бізнесу та громади розповсюджуються серед агентів. Показник innovation-diffusion = 0,1, що свідчить про повільне поширення інновацій.

4. Показник зовнішньої підтримки (external-support – (0–1) відображає рівень допомоги від державних програм, донорських організацій, грантів, що можуть підсилити співпрацю та цифровізацію. Для Тернопільської громади external-support = 0,15, що відповідає початковому рівню зовнішньої підтримки, який використовується у базовому сценарії.

Враховуючи нижчий рівень цифрової трансформації та обмежені можливості залучення інвестицій у селищних і сільських громадах, для Великобківської та Трибухівської громад параметри моделі скориговано.

Результати моделювання базового сценарію свідчать, що у міських громадах формування синергії має стабільний, поступальний характер із помірними коливаннями темпів зростання індексу (у межах 0,2–1,7%/міс.). Початковий період (0–6 міс.) відображає активізацію інформаційних потоків та впровадження базових цифрових сервісів у діяльність місцевого бізнесу. У подальшому (6–24 міс.) динаміка синергії демонструє ефект накопичення – темпи приросту зменшуються, але зберігається сталий тренд зростання. На 3–4 році спостерігається фаза зрілої взаємодії, коли основні цифрові рішення інтегровані в систему управління громадою, а синергія зумовлюється інноваційними проектами, інвестиційною активністю та залученням зовнішніх ресурсів. На завершальному етапі (4–5 років) індекс синергії зростає повільніше, що свідчить про наближення до межі ефективності поточної моделі цифрової співпраці. Подальше посилення синергії вимагає переходу до смарт-управління, упровадження аналітичних платформ, цифрових екосистем, розвитку підприємництва у сфері ІТ і креативних індустрій.

Для селищних громад характерна помірна синергія цифровізації, що формується за рахунок гнучкості місцевого бізнесу та наявності базової цифрової інфраструктури. На початковому етапі (0–6 міс.) спостерігається стрімке зростання індексу синергії (до 100%), що свідчить про активне включення місцевих суб'єктів у цифрову взаємодію. У подальшому (6–24 міс.) відбувається стабілізація зростання (4–10%/міс.), яка пов'язана з переходом від етапу освоєння до системного використання цифрових технологій. На етапі 2–4 років спостерігається поступове зниження темпів приросту індексу синергії до 2–3%, що свідчить про досягнення відносної рівноваги в системі взаємодії. Подальший розвиток вимагає інституційної підтримки, розвитку публічно-приватних партнерств і підвищення цифрових компетенцій населення.

У сільських громадах синергія має поступовий, інерційний характер. На початковому етапі спостерігається різке зростання індексу, зумовлене ефектом «першого цифрового прориву», коли навіть мінімальне впровадження цифрових рішень забезпечує відчутний результат. Надалі темпи сповільнюються через обмежену інфраструктуру та нижчу цифрову зрілість бізнесу. Для стабільної взаємодії громади та бізнесу в сільських умовах необхідний триваліший період (2–3 роки), підвищення цифрової грамотності та зовнішня підтримка.

Загальна закономірність базового сценарію полягає в тому, що рівень початкового цифрового розвитку визначає швидкість стартового приросту індексу синергії. Міські громади демонструють стабільне поступове зростання, тоді як селищні й сільські – швидке стартове зростання з подальшим уповільненням. Оптимізація цифрових стратегій має враховувати тип громади, фазу розвитку та потенціал зовнішньої підтримки (Рис. 1).

Концептуальна структура сценарію покращеної цифровізації громад. Реалізація сценарію покращеної цифровізації громад базується на посиленні цифрової компетентності населення, розвитку цифрової інфраструктури та вдосконаленні системи електронного урядування. Сценарій передбачає перехід від базового рівня цифровізації до інтегрованої цифрової екосистеми, у якій підвищується ефективність комунікацій, прозорість управлінських процесів і рівень залучення бізнесу й громадськості до прийняття рішень.

Так, для міської громади підвищення community-digital-level до рівня 85–90 відображає активне впровадження ініціатив цифрової трансформації («Дія», «Smart City», ін.). Незначне підвищення business-digital-level до 80 пояснюється тим, що підприємницький сектор поступово адаптується до нових вимог цифрового середовища громади – перехід на електронний документообіг, використання CRM-систем, онлайн-продажі та інтеграцію з цифровими сервісами місцевого самоврядування. Зростання cooperation-rate до 0,5–0,55 відображає активізацію взаємодії між владою, бізнесом і громадськістю завдяки впровадженню електронних платформ комунікації. Посилення innovation-impact (до 0,75) і innovation-diffusion (до 0,25–0,3) зумовлене створенням сприятливого середовища для розвитку інноваційних ініціатив: цифрових хабів, коворкінг-центрів, бізнес-інкубаторів, а також розвитком відкритих даних і систем електронної аналітики.

Для селищних та сільських громад Тернопільської області застосовано аналогічну логіку моделювання, що й для міської громади. Відмінності полягають у початкових параметрах рівня цифрової готовності, інтенсивності підприємницької активності та масштабах зовнішньої підтримки (Табл. 5).

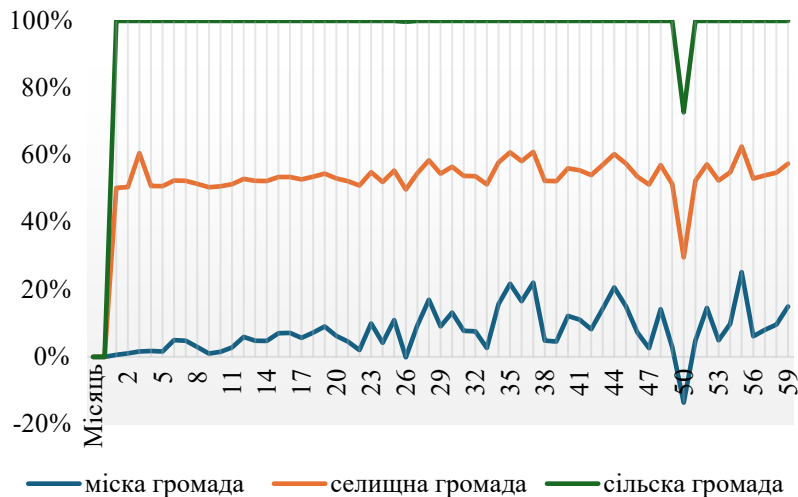


Рис. 1. Порівняння приросту індексу синергії у процесі взаємодії різних типів громад та бізнесу (базовий сценарій, 5 років), %

Джерело: сформовано автором

Таблиця 5

Параметри сценарію покращеної цифровізації громад за різними типами громад

Параметр	Тип громади		
	Міська	Селищна	Сільська
Загальний індекс цифрової трансформації (community-digital-level)	85	65–70	60–65
Цифрова готовність (business digital-maturity)	4,0 / 5 → 80	3,8 / 5 → 76	3,6 / 5 → 72
Коефіцієнт співпраці громади та бізнесу (cooperation-rate)	0,50	0,40–0,45	0,35–0,40
Показник впливу інновацій бізнесу на розвиток громади (innovation-impact)	0,75	0,60	0,50–0,55
Показник швидкості поширення інновацій (innovation-diffusion)	0,25	0,18–0,20	0,15–0,18
Показник зовнішньої підтримки (external-support)	0,30	0,20–0,25	0,18–0,20

Джерело: сформовано автором

За сценарієм покращеної цифровізації індекс синергії між міською громадою та бізнесом зріс з 1,47% до 88,2% за 59 місяців, що свідчить про високу ефективність цифрових трансформаційних заходів та сталий розвиток співпраці.

Сценарій показав значно вищі результати, ніж базовий: індекс синергії зріс у 2,4 рази швидше і досягнув 88,2% проти ~36–40% у базовому варіанті. Найбільші темпи зростання зафіксовано у перші 6–12 місяців, що підтверджує ефект швидкого реагування системи на цифрові інвестиції. Після 24 місяця спостерігається стабілізація – система переходить у режим підтримки досягнутих результатів. Підвищення цифрової зрілості та розбудова ефективних каналів взаємодії зумовили стійкість системи до спаду ефективності. Досягнення показника 88,2% наприкінці періоду свідчить про наближення до межі синергетичного потенціалу міської громади – подальше зростання можливе лише через інноваційні прориви або зовнішні стимули.

Загалом результати моделювання підтверджують, що інвестиції у цифрову інфраструктуру, дані та компетенції забезпечують прискорене зростан-

ня синергії та зниження залежності від зовнішніх факторів.

Основні тенденції за даним сценарієм: швидкий стартовий ефект («цифровий прорив») у перші 6 місяців; уповільнення темпів приросту після 24 місяців через досягнення зрілості системи взаємодії; високий рівень стабільності розвитку після третього року демонструє, що селищна громада здатна самостійно підтримувати цифрові процеси без постійної зовнішньої підтримки; підсумковий рівень 72,81% відображає сформовану, але ще потенційно вдосконалювану екосистему партнерства.

Результати моделювання сценарію покращеної цифровізації селищної громади засвідчили зростання ефективності взаємодії громади та бізнесу: індекс синергії зріс до 72,81%, що на 22,8 п.п. більше, ніж у базовому сценарії. Покращення цифрової готовності бізнесу та розвиток цифрової інфраструктури громади призвели до стійкого зростання синергетичних ефектів, особливо у фазі зрілості (після 36-го міс.). Це доводить, що інтеграція цифрових інструментів управління, інноваційної активності бізнесу та партнерських платформ є ключовим чинником місцевого розвитку в селищних громадах.

Покращення цифровізації у сільських громадах суттєво прискорює формування синергії між громадою та бізнесом. На початковому етапі (0–6 міс.) фіксується найвищий темп приросту (до 100%), зумовлений запуском базових цифрових сервісів, активізацією інформаційного обміну та швидкою реакцією бізнесу. У середньостроковій перспективі (6–24 міс.) темпи приросту поступово знижуються (до 4%), що відображає перехід системи до стадії стабілізації. На етапі системного розвитку (24–48 міс.) цифровізація інтегрується у всі основні сфери взаємодії громади та бізнесу, а приріст знижується до 2–3%/міс. У завершальній фазі (48–60 міс.) індекс синергії перевищує 60%, а подальше зростання має інерційний характер.

Таким чином, усі типи громад характеризуються подібною динамікою: найвищі темпи приросту на початку – до 100% у перший місяць; у фазі інтенсивного розвитку (7–12 міс.) приріст поступово зменшується до 8,33%; на фазі стабілізації (13–24 міс.) темпи знижуються до 4–4,17%, що свідчить про вихід на зрілу стадію синергії; у фазі зрілості (25–36 міс.) приріст залишається невисоким (2,78–4%), демонструючи консолідацію цифрових процесів та формування довгострокових стратегій; на фазі підтримки та оптимізації (37–59 міс.) приріст стабільно низький (1,69–2,7%), що відображає підтримку досягнутого рівня синергії (Рис. 2).

Отже, покращена цифровізація забезпечує швидше зростання синергії між громадами та бізнесом, зменшуючи при цьому диспропорції, активізує інновації та сприяє стабільному зростанню індексу синергії. Це підтверджує ефективність стратегій, спрямованих на підвищення цифрової готовності та кооперації.

Концептуальна структура сценарію цифрового стимулювання підприємництва. Сценарій передбачає активізацію інноваційної діяльності бізнесу та створен-

ня сприятливого цифрового середовища для розвитку підприємницьких ініціатив. Основна увага зосереджується на посиленні цифрової зрілості підприємств, їх здатності впроваджувати інноваційні рішення та розширювати форми взаємодії з місцевими громадами.

Для міської громади підвищення business-digital-level до 95–96 відображає глибоку інтеграцію цифрових технологій у бізнес-процеси – автоматизацію операцій, розвиток електронної комерції, використання систем аналітики даних та хмарних сервісів. Це також є наслідком зростання кількості ІТ-компаній, стартапів і малого бізнесу, який користується програмами підтримки національного та міжнародного рівнів (Startup Ukraine, EU4Business, програми ЄБРР та ін.). Показники innovation-impact (до 0,8) та innovation-diffusion (до 0,35–0,4) демонструють посилення ролі бізнесу як рушійної сили цифрової трансформації громади. Зростає частка підприємств, що впроваджують нові технології, продукти або управлінські рішення, сприяючи поширенню інновацій у місцевій економіці. Паралельне підвищення cooperation-rate до 0,6 пояснюється розвитком публічно-приватного партнерства, участю бізнесу у спільних інвестиційних, освітніх і соціальних ініціативах громади. Така взаємодія забезпечує не лише обмін ресурсами, а й підвищення довіри та формування спільної відповідальності за розвиток території. Зростання external-support зумовлене активним залученням грантових коштів, державних програм стимулювання підприємництва, кредитних ліній та міжнародної технічної допомоги.

Для селищних та сільських громад Тернопільської області застосовано аналогічну логіку моделювання, що й для міської громади (Табл. 6).

Отримані параметри підтверджують, що цифрове стимулювання підприємництва є дієвим механізмом

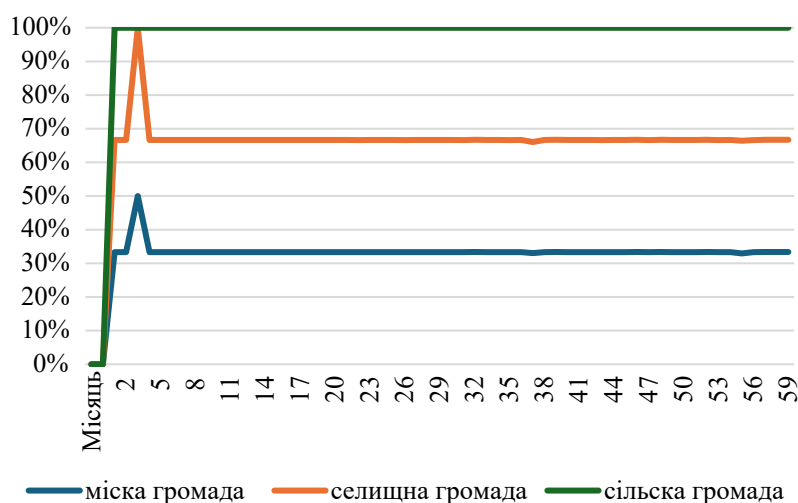


Рис. 2. Порівняння приросту індексу синергії у процесі взаємодії різних типів громад та бізнесу (базовий сценарій, 5 років), %

Джерело: сформовано автором

розвитку місцевих економік. Таким чином, забезпечується поступове вирівнювання цифрового потенціалу усіх типів громад, що створює базу для сталого розвитку регіонів.

Концептуальна структура комбінованого сценарію. Комбінований сценарій синергії передбачає одночасне посилення цифрової готовності громад та активізацію підприємницької діяльності. Такий підхід формує ефект інституційної синергії, коли цифрова інфраструктура громади створює умови для розвитку бізнесу, а бізнес, у свою чергу, генерує інноваційні рішення, що підвищують ефективність управління громадою.

Для міської громади підвищення community-digital-level до 85–90 та business-digital-level до 96, разом із зростанням cooperation-rate (до 0,6) і innovation-impact (до 0,8), забезпечує максимізацію індексу синергії. Така взаємодія відображає стратегічну узгодженість дій влади, бізнесу і громади та формує підґрунтя для сталого соціально-економічного зростання.

Для селищної та сільської громад Тернопільської області застосовано аналогічні припущення та логіку сценарного підходу, що й для міської громади (Табл. 7).

Порівняльний аналіз сценаріїв – базового, покращеної цифровізації громад, стимулювання підприємництва та комбінованого сценарію синергії – засвідчив різний рівень впливу кожного з них на показники інтеграційної взаємодії між територіальними громадами та бізнесом. У сценарії покращеної цифровізації громад основні зрушення відбуваються за рахунок підвищення цифрової компетентності населення, розвитку е-сервісів та розширення доступу до інфраструктури

цифрових технологій. Сценарій стимулювання підприємництва демонструє значно вищий рівень інноваційної динаміки завдяки активізації ділової активності, розвитку стартап-екосистем, цифрових платформ і публічно-приватних партнерств. Найвищий показник синергії спостерігається за комбінованого сценарію, який передбачає одночасне зростання цифрової готовності громади та інноваційного потенціалу бізнесу. Саме поєднання цифрових компетенцій, технологічної спроможності та коопераційної взаємодії забезпечує формування стійкого партнерства «влада – бізнес – громада».

Висновки. Проведене дослідження показує, що формування синергії між цифровою трансформацією територіальних громад і розвитком бізнесу є пріоритетним каталізатором сталого місцевого розвитку. Порівняльний аналіз розвитку синергії у міських, селищних та сільських громадах засвідчив, що динаміка взаємодії значною мірою залежить від рівня цифрового розвитку, інтенсивності кооперації бізнесу з владою та наявності інноваційної активності. Міські громади, завдяки розвиненій інфраструктурі та високій участі бізнесу у спільних ініціативах, досягають зрілого рівня цифрової взаємодії вже на 3–4 році моделювання. Селищні громади демонструють швидке початкове накопичення синергії протягом перших 1–2 років, однак для підтримки сталого розвитку та інтеграції інновацій потребують додаткових стимулів та зовнішньої підтримки. Сільські громади, через обмежену цифрову інфраструктуру, спостерігають експрес-розвиток індексу синергії на початковому етапі, після чого приріст значно сповільнюється. У такому контексті підприєм-

Таблиця 6

Параметри сценарію цифрового стимулювання підприємництва за типами громад

Параметр	Тип громади		
	Міська	Селищна	Сільська
Загальний індекс цифрової трансформації (community-digital-level)	75	55–60	50–55
Цифрова готовність (business digital-maturity)	4,8 / 5 → 96	4,5 / 5 → 90	4,2 / 5 → 84
Коефіцієнт співпраці громади та бізнесу (cooperation-rate)	0,55–0,65	0,50–0,55	0,45–0,50
Показник впливу інновацій бізнесу на розвиток громади (innovation-impact)	0,70–0,80	0,65–0,75	0,60–0,70
Показник швидкості поширення інновацій (innovation-diffusion)	0,30–0,40	0,25–0,30	0,20–0,25
Показник зовнішньої підтримки (external-support)	0,35–0,45	0,25–0,35	0,25–0,30

Джерело: сформовано автором

Таблиця 7

Параметри комбінованого сценарію

Параметр	Тип громади		
	Міська	Селищна	Сільська
Загальний індекс цифрової трансформації (community-digital-level)	85–90	70–75	65–70
Цифрова готовність (business digital-maturity)	4,8 / 5 → 96	4,5 / 5 → 90	4,2 / 5 → 84
Коефіцієнт співпраці громади та бізнесу (cooperation-rate)	0,55–0,65	0,50–0,60	0,45–0,55
Показник впливу інновацій бізнесу на розвиток громади (innovation-impact)	0,75–0,80	0,70–0,75	0,65–0,75
Показник швидкості поширення інновацій (innovation-diffusion)	0,30–0,40	0,25–0,35	0,25–0,30
Показник зовнішньої підтримки (external-support)	0,30–0,40	0,25–0,35	0,25–0,35

Джерело: сформовано автором

ницька активність виступає каталізатором цифрової трансформації громади, оскільки створює мультиплікаційний ефект через поширення інновацій, створення робочих місць та зміцнення економічної самодостатності територіальних громад. Отримані результати дослідження свідчать, що системна інтеграція цифро-

візації та підприємницького розвитку є оптимальною стратегією підвищення ефективності місцевої економіки, а впровадження агентно-орієнтованих моделей є потужним інструментом стратегічного планування та оцінювання результативності територіальних громад на регіональному рівні.

Література:

1. Moura F., de Abreu e Silva J. Smart Cities: Definitions, Evolution of the Concept and Examples of Initiatives. In: Leal Filho W., Azul A., Brandli L., Özuyar P., Wall T. (Eds.). *Industry, Innovation and Infrastructure. Series: Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. 2021. Pp. 1–9.
2. Re N., Ghezzi A., Balocco R. and Rangone A. Digital Maturity Models for SMEs: A Systematic Literature Review. In *Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2023)*. 2023. Vol. 2. Pp. 530–537.
3. Vial G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Journal of Strategic Information Systems*. 2019. 28(2). Pp. 118–144.
4. Kargas A., Gialeris E., Komisopoulos F., Lymperiou A., & Salmon I. Digital Maturity and Digital Transformation Strategy among Greek Small and Medium Enterprises. *Administrative Sciences*. 2023. 13(11). P. 236.
5. Hindi TN., Frenkel A. The contribution of collaboration to the development of sustainable innovation in high-tech companies. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 2022. 11(1). Pp. 62.
6. Wixe S., Nilsson P., Naldi L. et al. The role of collaboration and external knowledge for innovation in small food firms. *Annals of Regional Science*. 2023. 70. Pp. 135–155.
7. Sultana N., Turkina E. Collaboration for Sustainable Innovation Ecosystem: The Role of Intermediaries. *Sustainability*. 2023. 15(10). Pp. 7754.
8. Wang H., Li B. Research on the Synergic Influences of Digital Capabilities and Technological Capabilities on Digital Innovation. *Sustainability*. 2023. 15. Pp. 2607.
9. Reischauer G.; Güttel W., Schüssler E. Aligning the Design of Intermediary Organisations with the Ecosystem. *Industry and Innovation*. 2021. 28. Pp. 594–619.
10. The Digital Transformation of SMEs. OECD. 2021. URL: https://www.oecd.org/en/publications/the-digital-transformation-of-smes_bdb9256a-en.html?utm_source (дата звернення: 15.10.2025).

References:

1. Moura F., de Abreu e Silva J. (2021) Smart Cities: Definitions, Evolution of the Concept and Examples of Initiatives. In: Leal Filho W., Azul A., Brandli L., Özuyar P., Wall T. (Eds.). *Industry, Innovation and Infrastructure. Series: Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, pp. 1–9.
2. Re N., Ghezzi A., Balocco R. and Rangone A. (2023) Digital Maturity Models for SMEs: A Systematic Literature Review. In *Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2023)*, 2, pp. 530–537.
3. Vial G. (2019) Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), pp. 118–144.
4. Kargas A., Gialeris E., Komisopoulos F., Lymperiou A., & Salmon I. (2023) Digital Maturity and Digital Transformation Strategy among Greek Small and Medium Enterprises. *Administrative Sciences*, 13(11), p. 236.
5. Hindi TN., Frenkel A. (2022) The contribution of collaboration to the development of sustainable innovation in high-tech companies. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 11(1), pp. 62.
6. Wixe S., Nilsson P., Naldi L. et al. (2023) The role of collaboration and external knowledge for innovation in small food firms. *Annals of Regional Science*, 70, pp. 135–155.
7. Sultana N., Turkina E. (2023) Collaboration for Sustainable Innovation Ecosystem: The Role of Intermediaries. *Sustainability*, 15(10), pp. 7754.
8. Wang H., Li B. (2023) Research on the Synergic Influences of Digital Capabilities and Technological Capabilities on Digital Innovation. *Sustainability*, 15, pp. 2607.
9. Reischauer G.; Güttel W., Schüssler E. (2021) Aligning the Design of Intermediary Organisations with the Ecosystem. *Industry and Innovation*, 28, pp. 594–619.
10. OECD (2021) The Digital Transformation of SMEs. Available at: https://www.oecd.org/en/publications/the-digital-transformation-of-smes_bdb9256a-en.html?utm_source (accessed October 15, 2025).

Стаття надійшла: 18.10.2025

Стаття прийнята: 09.11.2025

Стаття опублікована: 30.12.2025