



International periodic scientific journal

— *ONLINE*

www.moderntechno.de

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 70.62)



MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Issue №45

Part 3

June 2026

Published by:
Sergeieva&Co
Karlsruhe, Germany

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*
Scientific Secretary: Kuprienko Sergey, *PhD in technical sciences*

Editorial board: More than 450 doctors of science. Full list on page:
<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/about/editorialTeam>

Expert Board of the journal: Full list on page:
<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "**Modern engineering and innovative technologies**" has been published since 2017 and has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars.

Periodicity of publication: 6 times a year

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in IndexCopernicus, GoogleScholar.

DOI: 10.30890/2567-5273.2026-45-03

Published by:

Sergeieva&Co

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

e-mail: editor@moderntechno.de

site: www.moderntechno.de



УДК 33:004

**CLOSED-LOOP REINFORCING MODEL OF BARRIERS TO
AGRICULTURAL DIGITAL TRANSFORMATION:
CONCEPTUALIZATION OF THE META-BARRIER AND THE REGIONAL
TECHNOLOGICAL GAP INDEX (EVIDENCE FROM KIROVOHRAD
OBLAST, UKRAINE)**

**ЗАМКНУТА ЦИКЛІЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОПІДСИЛЕННЯ БАР'ЄРІВ ЦИФРОВОЇ
ТРАНСФОРМАЦІЇ АГРАРНОГО СЕКТОРУ: КОНЦЕПТУАЛІЗАЦІЯ МЕТАБАР'ЄРА
ТА РЕГІОНАЛЬНИЙ ІНДЕКС ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗРИВУ (НА МАТЕРІАЛАХ
КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ)**

Pohorilyi I. / Погорілий І. В.

PhD Student / аспірант

ORCID: 0009-0002-3928-308X

Kherson State Agrarian and Economic University

(Kherson / Kropyvnytskyi)

Херсонський державний аграрно-економічний університет

(м. Херсон / м. Кіровоградський)

Анотація. У статті сформульовано положення замкнутої циклічної моделі взаємопідсилення бар'єрів цифрової трансформації аграрного сектору, що відрізняється від лінійних тим, що описує системно-динамічний характер взаємозв'язків між чотирма групами бар'єрів цифрової трансформації - фінансовими, інфраструктурними, кадровими, інституційними - через замкнені петлі зворотного зв'язку. Теоретичну рамку дослідження утворюють чотири усталені в науковій літературі парадигми: системна динаміка (Forrester, Senge), теорія обмежень (Goldratt), рамка TOE (Tornatzky, Fleischer) та теорія цифрового розриву (van Dijk). Вперше для українського агросектору обґрунтовано «метабар'єр» — відсутність регіональної стратегії цифровізації, як надструктурне обмеження другого порядку. Запропоновано індекс технологічного розриву (ІТР) як квантифікаційний показник структурної поляризації аграрного сектору. На матеріалах Кіровоградської області (8 517 агробізнесів станом на II квартал 2025 р.) обчислено базове значення ІТР у сфері точного землеробства - близько 9,3 (за геометричним середнім індивідуальних показників за технологіями). Для зіставлення використано дані обстеження господарств дев'яти держав-членів ЄС, проведеного Об'єднаним дослідницьким центром Європейської Комісії (JRC), за якими розрив у впровадженні технологій точного землеробства між великими та малими господарствами відповідає ІТР $\approx 1,8$. Обґрунтовано концепцію «дзеркальної симетрії» бар'єрів і факторів стимулювання як методологію дослідження розриву замкнутого циклу через активізацію факторів-антипар. Наукова новизна полягає в інтеграції замкнутого циклу, метабар'єра та ІТР у єдину системно-динамічну модель з регіональною прив'язкою.

Ключові слова: цифрова трансформація, аграрний сектор, бар'єри впровадження інновацій, замкнута циклічна модель, метабар'єр, індекс технологічного розриву, системна динаміка, теорія обмежень, цифровий розрив, регіональний аспект.



Вступ.

Цифрова трансформація аграрного сектору в Україні впродовж 2024–2026 рр. перебуває в стані глибокої структурної поляризації, що фіксується двома незалежними точками вимірювання. Верхня межа: за даними галузевого опитування Aggeek спільно з Syngenta Україна та SAS Agro у 2025 р. [1] ($n = 54$ агрокомпанії, охоплення 2,17 млн га, або близько 10% оброблюваних земель України; середній розмір господарства у вибірці ≈ 40 тис. га, що відповідає сегменту агрохолдингів за класифікацією Світового банку — 30–510 тис. га [3]), ТОП-сегмент агросектору використовує GPS-навігацію техніки в 83% випадків, автопілоти — у 80%, супутниковий моніторинг посівів — у 81%, спеціалізоване програмне забезпечення — у 74%. Нижня межа: за звітом Світового банку «Priorities for Agricultural Support in Ukraine» (травень 2024) [3], структура галузі утворена 55 агрохолдингами (середній розмір 30–510 тис. га), 9892 корпоративними фермами (≈ 1650 га), 30441 малими комерційними господарствами (≈ 105 га) та 4,6 млн індивідуальних домогосподарств ($\approx 2,8$ га); при цьому Світовий банк прямо констатує, що малі господарства України «менш схильні до впровадження технологій точного землеробства», а потенціал інвестицій у автопілотну техніку для сегменту малих ферм оцінюється у нуль доларів проти 67,2 млн дол. для середніх і великих ферм взагалі. Розрив між полюсами фіксується одночасно на структурному рівні (різниця у середньому розмірі господарства сягає чотирьох порядків: 2,8 га проти 30000–51000 га) та технологічному рівні (впровадження автопілотів у топ-сегменті 80% проти практично нульового базового рівня в малому сегменті). У Кіровоградській області, де за підсумками II кварталу 2025 р. зареєстровано 8517 агробізнесів, у тому числі 3624 агрокомпанії та 4893 фермери-ФОП [2], відповідно може бути модельним регіоном для дослідження цієї поляризації.

У сучасній науковій літературі бар'єри впровадження цифрових технологій в аграрному секторі досліджуються переважно у вигляді лінійних класифікацій - переліків факторів, упорядкованих за частотою згадування, важливістю або галузевою специфікою. Така постановка задачі надає корисний дескриптивний



матеріал, але не пояснює, чому окремі групи бар'єрів виявляють виняткову стійкість до управлінських рішень. У межах нашого дослідження аналіз даних щодо аграрного сектору України та порівняльних показників для країн ЄС дозволяє сформулювати гіпотезу: бар'єри цифрової трансформації аграрного сектору є не лінійними, а становлять замкнену циклічну структуру взаємопідсилення, у якій кожна група бар'єрів підтримує існування інших груп через петлі зворотнього зв'язку.

Метою статті є формалізація: замкненої циклічної моделі взаємопідсилення бар'єрів цифрової трансформації аграрного сектору; метабар'єра як надструктурного обмеження другого порядку, обчислення індексу технологічного розриву (ІТР) на матеріалах Кіровоградської області з міжнародним порівняльним аналізом, а також обґрунтування концепції дзеркальної симетрії бар'єрів і факторів стимулювання як методології забезпечення розриву циклу.

Основний текст.

Теоретичною основою запропонованої моделі слугують чотири усталені у науковій літературі парадигми. Перша — методологія системної динаміки (System Dynamics), розроблена J. W. Forrester у Массачусетському технологічному інституті у 1960-х рр. [4] та популяризована Р. М. Senge у праці «The Fifth Discipline» [5]. У межах цієї методології соціально-економічні системи моделюються як сукупність стоків, потоків і петель зворотного зв'язку, причому ключове аналітичне розрізнення проводиться між підсилюючими (reinforcing) і балансуючими (balancing) петлями. Стійкі патологічні стани системи зазвичай породжуються саме підсилюючими петлями.

Друга - теорія обмежень (Theory of Constraints, TOC), запропонована Е. М. Goldratt у роботі «The Goal» (1984) [6]. Згідно з цією теорією, ефективність системи в цілому обмежується найслабшою ланкою. У контексті цієї статті концепція TOC дає теоретичну підставу для концепту «метабар'єра» — обмеження другого порядку, яке утримує цілий клас базових бар'єрів у стійкому стані.



Третя - рамка TOE (Technology – Organization - Environment), запропонована L. G. Tornatzky та M. Fleischer [7]. Рамка структурує детермінанти адаптації цифрових технологій за трьома вимірами. У застосуванні до аграрних кооперативів TOE-рамка валідована, зокрема, у нещодавньому емпіричному аналізі в *Agricultural and Food Economics* [8], де технологічний вимір посідає друге місце.

Четверта - теорія цифрового розриву (Digital Divide Theory), розроблена J. A. G. M. van Dijk у працях 2005 та 2020 рр. [9]. На відміну від попередніх концепцій, що фокусувалися виключно на доступі до інтернету, Van Dijk сформулював багаторівневу концепцію, що включає чотири послідовні рівні нерівності: мотиваційний, матеріальний, компетентнісний та операційний.

На основі аналізу 15 верифікованих джерел зарубіжної та української літератури [10-15], а також даних щодо стану галузі, бар'єри цифрової трансформації аграрного сектору систематизовано за чотирма групами. Перша група - фінансові бар'єри: висока вартість цифрового обладнання та програмного забезпечення (за даними опитування Aggeek/Syngenta 2025 - 65% обстежених підприємств визначили цей бар'єр як основний); обмежений доступ до банківського кредитування для МСП у воєнних умовах. Друга група - інфраструктурні бар'єри: нерівномірне покриття стабільного інтернет-зв'язку у сільській місцевості; обмежена доступність сервісної інфраструктури для технологічного обладнання. Третя група — кадрові бар'єри: дефіцит кваліфікованих data-агрономів, операторів БПЛА, IT-спеціалістів галузевої спеціалізації (57% підприємств за даними Aggeek/Syngenta 2025) [10]. Четверта група - інституційні бар'єри: відсутність регіональної стратегії цифровізації агросектору; обмеженість регуляторної визначеності щодо нових вимог ЄС.

Рисунком 1 представлено системно-динамічна схема з трьома підсилюючими петлями зворотного зв'язку.

Петля R1 «фінансово-технологічна» (B1 ↔ B2): низький рівень фінансової складової обмежує можливості інвестування в цифрові технології, що знижує операційну ефективність і скорочує прибутковість, що додатково зменшує



фінансові можливості підприємства. Петля R2 «кадрово-операційна» ($B3 \leftrightarrow B2$): дефіцит кваліфікованих кадрів обмежує здатність впроваджувати цифрові технології, а низький рівень цифрового оснащення робить роботу непривабливою для молодих data-агрономів. Петля R3 «інституційно-фінансова» ($B1 \leftrightarrow B4$): відсутність регіональної стратегії обмежує доступ підприємств МСП до грантового фінансування і державної підтримки.

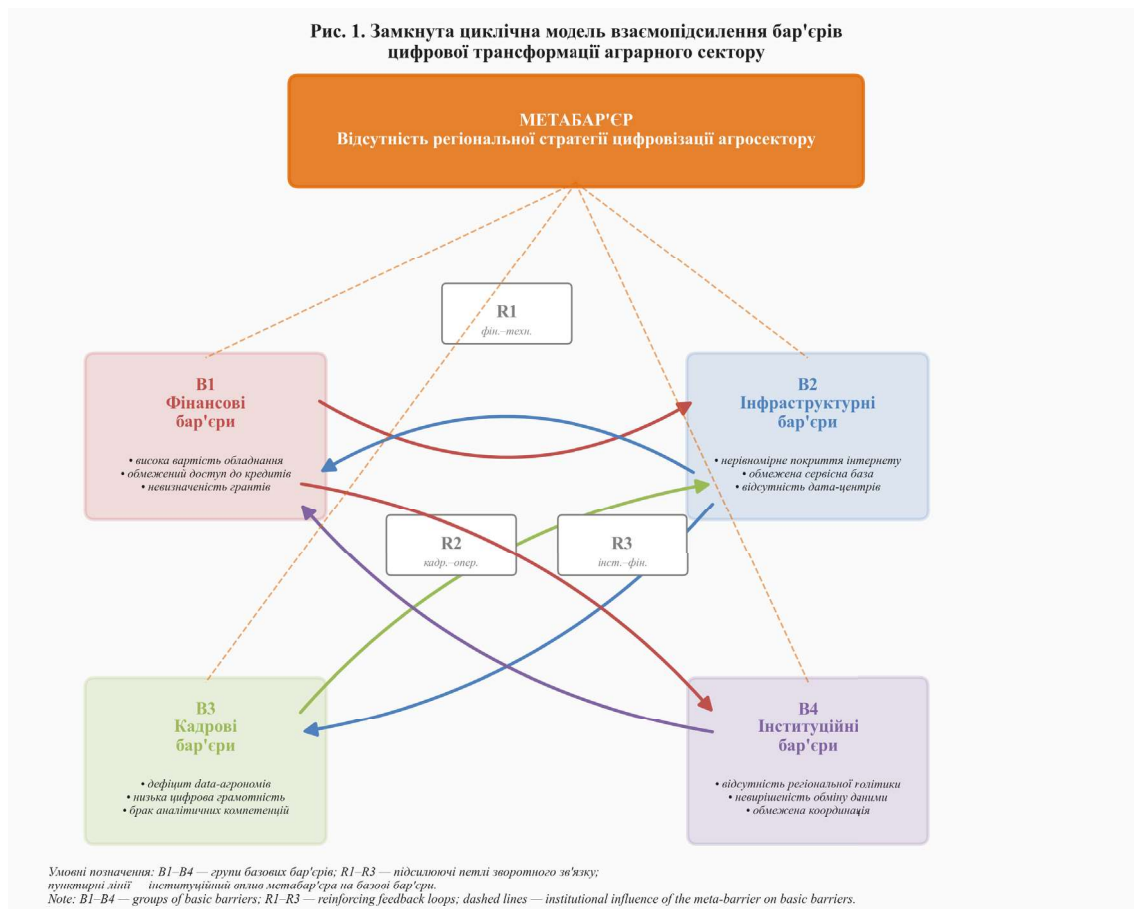


Рисунок 1 - Замкнута циклічна модель взаємопідсилення бар'єрів цифрової трансформації аграрного сектору

Авторська розробка

Принципово важливим висновком є те, що всі три петлі (R1, R2, R3) є підсилюючими у термінах системної динаміки [4, 5]. Це означає, що локальне послаблення одного бар'єра у будь-якій петлі не порушує самого циклу: бар'єри-партнери у петлі повертають систему до попереднього стану через каскадні ефекти. Управлінська імплікація: розрив циклу потребує одночасного втручання



у дві або більше точок петлі.

Поряд з чотирма групами базових бар'єрів доцільно ідентифікувати надструктурне обмеження - метабар'єр - який утримує всі чотири базові бар'єри в стійкому замкненому циклі. У термінах теорії обмежень Goldratt [6] метабар'єр виконує функцію системного обмеження, яке має пріоритетне значення для управлінських втручань. Метабар'єром в умовах України 2024–2026 рр. є відсутність регіональної стратегії цифровізації агросектору з конкретними цільовими показниками. Цю тезу емпірично підтверджують дослідження [18], згідно з якими малі агропідприємства, як правило, не застосовують довгострокову стратегію розвитку, що блокує формування інноваційного потенціалу та інвестиційну активність в умовах становлення моделі «Agriculture 5.0»; виходом автори вважають синергію цифрової стратегії, кооперативних форм організації та посилення ролі дорадництва. Цей метабар'єр було частково знято на національному рівні із затвердженням Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій до 2030 року [19] у листопаді 2024 р., однак на регіональному рівні все ще залишається.

Для кількісної оцінки масштабу технологічної поляризації аграрного сектору запропоновано авторський індекс технологічного розриву (ІТР) як співвідношення рівня цифрової зрілості агрохолдингів і малих та середніх господарств за визначеним переліком ключових технологій. Формула ІТР для k -ї технології має вигляд: $ITP_k = D_k(\text{агрохолдинги}) / D_k(\text{МСП})$, де D_k - частка підприємств відповідної категорії, що використовують технологію k . Узагальнений (середній) ІТР розраховується як середнє арифметичне індивідуальних ITP_k за шістьма ключовими технологіями (формула 1):

$$ITP_{\text{сеп}} = (1/n) \times \sum ITP_k \quad (1)$$

На основі даних опитування Aggeek/Syngenta/SAS Agro 2025 [1] та зіставлення з показниками малих і середніх господарств за вторинними джерелами обчислені значення індивідуальних ITP_k : $ITP(\text{GPS-навігація}) = 71,5\% / 15\% = 4,77$; $ITP(\text{диференційоване внесення}) = 40\% / 5,5\% = 7,27$; $ITP(\text{FMS/ERP-системи}) = 77,5\% / 10\% = 7,75$; $ITP(\text{БПЛА-моніторинг}) = 47,5\% / 3,5\% = 13,57$;



ІТР(супутниковий моніторинг) = $76,5\% / 8\% = 9,56$; ІТР (блокчейн-простежуваність) = $9,5\% / 0,5\% = 19,0$. Узагальнений ІТР для України оцінюється у діапазоні 7,9–8,2.

Для порівняльної інтерпретації отримані значення зіставлено з даними щодо країн ЄС. За результатами репрезентативного обстеження 1 444 господарств у дев'яти державах-членах ЄС (Німеччина, Франція, Польща, Іспанія, Італія, Греція, Ірландія, Литва, Угорщина), проведеного Об'єднаним дослідницьким центром Європейської Комісії (JRC) у 2025 р. [17], розрив у впровадженні технологій точного землеробства між великими (≥ 50 га) та малими (< 5 га) господарствами становить 74–84 %, що відповідає ІТР $\approx 1,8$. Для загальних ІТ-та програмних рішень цей розрив суттєво менший (ІТР $\approx 1,1$), а для тваринницьких технологій — ІТР $\approx 1,4$. Таким чином, узагальнений ІТР для України у сфері точного землеробства ($\approx 9,3$ за геометричним середнім) у кілька разів перевищує відповідний показник ЄС ($\approx 1,8$). Це відображає дуалістичну структуру вітчизняного агросектору -співіснування великих агрохолдингів і численних дрібних господарств, тоді як у ЄС розподіл господарств за розміром є відносно однорідним. Водночас слід враховувати, що розмірні класи в обстеженні JRC (велике господарство - від 50 га) не є тотожними категорії агрохолдингу в українському контексті (десятки–сотні тис. га), тому частина виявленого розриву має структурний характер. Узагальнено порівняння ІТР представлено на рисунку 2.

Інтерпретаційна шкала ІТР: значення $\text{ІТР}_{\text{сер}} > 5$ свідчить про критично високий рівень технологічної поляризації, типовий для аграрних секторів країн, що розвиваються; саме до цього діапазону належить Україна 2024–2025 рр. ($\text{ІТР}_{\text{сер}} \approx 9,3$). Діапазон $3 \leq \text{ІТР}_{\text{сер}} \leq 5$ відповідає високому рівню поляризації, а $\text{ІТР}_{\text{сер}} < 3$ - помірній поляризації, характерній для зрілих агросистем із відносно однорідною структурою господарств (зокрема країн Західної та Північної Європи, як-от Нідерланди чи Данія). Останнє узгоджується з результатами обстеження господарств дев'яти держав-членів ЄС, проведеного Об'єднаним дослідницьким центром Європейської Комісії (JRC) [17]: розрив у впровадженні технологій



точного землеробства між великими та малими господарствами відповідає ІТР $\approx 1,8$ (для загальних ІТ-рішень — $\approx 1,1$, для тваринницьких технологій — $\approx 1,4$), тобто стабільно перебуває в межах помірної поляризації.

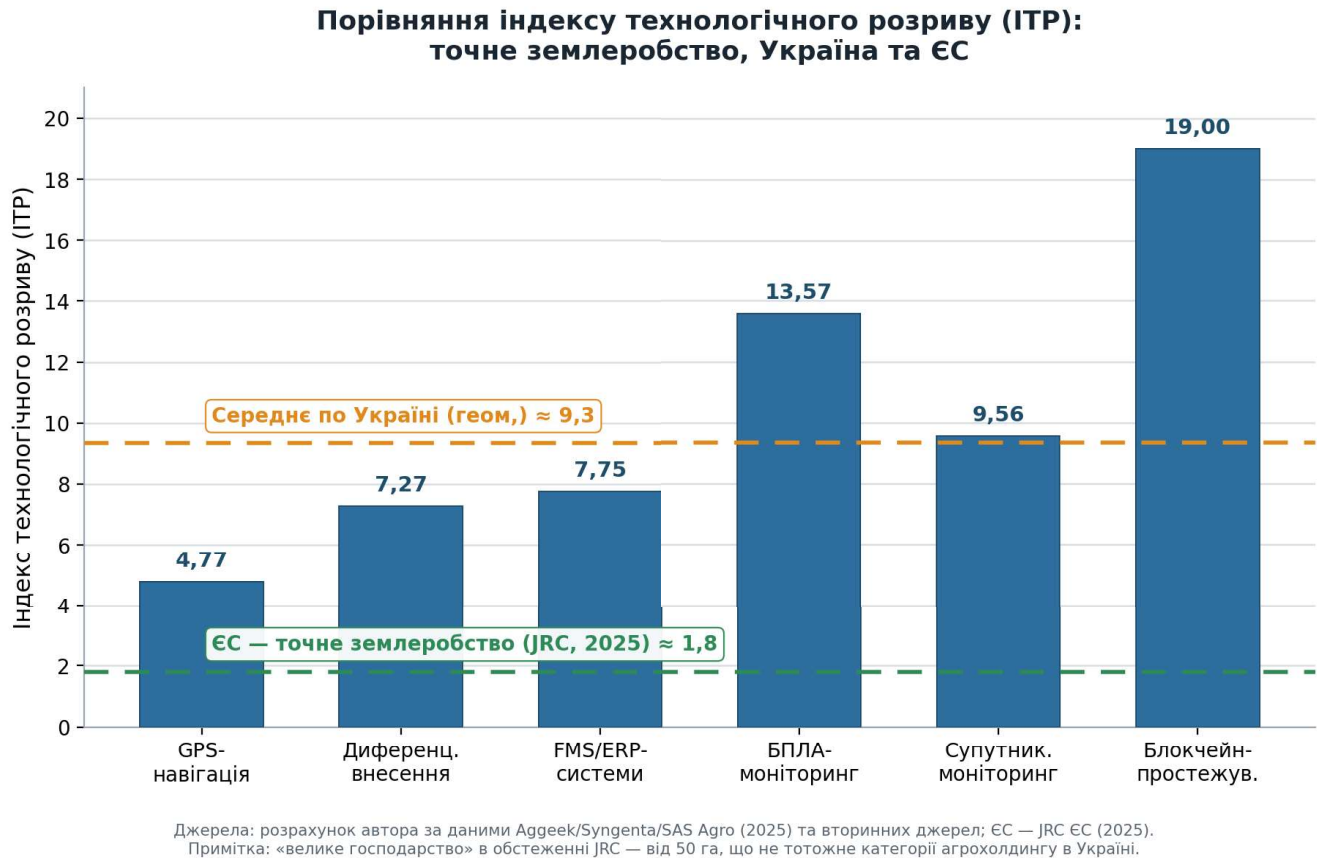


Рисунок 2 - Індекс технологічного розриву (ІТР) в аграрному секторі за країнами, 2024–2025 рр.

Складено автором на основі [1], [17]

Само по собі високе числове значення індексу ще не доводить якісного характеру розриву, тому для його інтерпретації доцільно використати теорію цифрового розриву Я. ван Дейка [9], яка розглядає нерівність доступу до технологій не лише як кількісну (градуальну), а і як структурну (якісну) асиметрію.

У межах запропонованої моделі сформульовано концепцію дзеркальної симетрії бар'єрів і факторів стимулювання, у якій кожен бар'єр має відповідну антипару серед факторів стимулювання цифрової трансформації (рисунок 3). Ця



симетрія визначає альтернативну стратегію розриву замкненого циклу: замість концентрації управлінських зусиль на подоланні бар'єрів - активізація відповідних факторів стимулювання, що через ту саме петлю зворотного зв'язку послаблює бар'єр-партнер.

Рис. 3. Дзеркальна симетрія бар'єрів і факторів стимулювання



Рисунок 3 - Дзеркальна симетрія бар'єрів і факторів стимулювання

Авторська розробка

Для фінансового бар'єра дзеркальною антипарою є моделі фінансування з нульовими початковими інвестиціями: pay-per-use оренда послуг точного землеробства, кооперативне співкористування технікою, грантові програми міжнародних донорів. Для інфраструктурного бар'єра - розгортання спільної цифрової інфраструктури регіонального рівня (регіональні дата-центри, спільне користування супутниковими сервісами). Для кадрового бар'єра - посилення дорадчих служб АПК та інтеграція з трьома національними цифровими



навчальними платформами (livestock, crops, grain storage), що запущені в Україні у 2024 р. у межах Стратегії АПК-2030 [19]. Для інституційного бар'єра - саме розробка регіональної стратегії цифровізації агросектору, що є водночас зняттям метабар'єра.

Кіровоградська область є модельним регіоном для дослідження замкнутого циклу бар'єрів. Структура регіонального аграрного сектору ілюструє замкнутий цикл бар'єрів: вузький сегмент ТОП-10 фермерських господарств із сукупним земельним банком близько 61 100 га (3–4% оброблюваних земель області) концентрує наявний цифровий потенціал, тоді як решта 8 500+ підприємств перебуває у замкненому циклі низької цифрової зрілості. Регіональна програма цифрової трансформації «ROCKET PLAN» (реалізується Регіональним координаційним центром Кіровоградської ОВА з 2023 р.) є першим управлінським втручанням на рівні метабар'єра - формулюванням регіональної стратегії цифрової трансформації.

Висновки.

Обґрунтована замкнена циклічна модель взаємопідсилення чотирьох груп бар'єрів цифрової трансформації аграрного сектору відрізняється від лінійних тим, що описує системно-динамічний характер взаємозв'язків через три підсилюючі петлі зворотного зв'язку (R1 - фінансово-технологічна, R2 - кадрово-операційна, R3 - інституційно-фінансова). Концептуалізовано метабар'єр як надструктурне обмеження другого порядку, який виконує функцію системного важеля у рамках обмежень Goldratt і системної динаміки Senge. Запропоновано індекс технологічного розриву (ІТР) як квантифікаційний показник структурної поляризації. На матеріалах Кіровоградської області обчислене базове значення ІТР для України у сфері точного землеробства - близько 9,3 (за геометричним середнім індивідуальних показників за технологіями). Для порівняльного зіставлення використано дані обстеження господарств дев'яти держав-членів ЄС, проведеного Об'єднаним дослідницьким центром Європейської Комісії (JRC) [17], за якими розрив у впровадженні технологій точного землеробства між великими та малими господарствами відповідає $ІТР \approx 1,8$. Таким чином, рівень



технологічної поляризації вітчизняного агросектору у кілька разів перевищує характерний для зрілих агросистем ЄС. Запропоновано концепцію дзеркальної симетрії бар'єрів і факторів стимулювання, що особливо релевантна для контексту аграрного сектору України 2024-2026 рр. Перспективи подальших досліджень включають емпіричну верифікацію замкненої циклічної моделі через системно-динамічну симуляцію в програмних середовищах Vensim або Stella; уточнення ІТР для Кіровоградської області на основі первинного польового опитування 30–50 підприємств; розробку конкретного шаблону регіональної стратегії цифровізації агросектору як інструменту зняття метабар'єра.

Література:

1. Aggeek, Syngenta Україна, SAS Agro. Опитування «Цифрова зрілість агрокомпаній України 2025». Київ, 2025 (n = 54 агрокомпанії; охоплення 2,17 млн га). URL: <https://euromaidanpress.com/2025/10/03/ukraine-agriculture-digitization-war/>
2. Кіровоградщина — серед лідерів за кількістю аграрних компаній та ФОПів. «Без Купюр», 2025 (за даними YC.Market / Опендатабот, II квартал 2025 р.). URL: <https://www.kypur.net/kirovogradshhyna-sered-lideriv-za-kilikistyu-agrarnyh-kompanij-ta-fopiv/>
3. World Bank Group. Priorities for Agricultural Support in Ukraine. Washington, DC: WBG Agriculture & Food, May 3, 2024. 28 p. (Authors: S. Zorya, O. Muliar, O. Nivievskyi; peer-reviewed by O. Durand, F. Blum). URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099062524074615884/pdf/P1801981319afe091b8b71b33b7a901d4e.pdf>
4. Forrester J. W. Industrial Dynamics. Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1961. 464 p.
5. Senge P. M. The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. New York: Doubleday/Currency, 1990. 424 p.
6. Goldratt E. M. The Goal: A Process of Ongoing Improvement. Great Barrington, MA: North River Press, 1984. 384 p.



7. Tornatzky L. G., Fleischer M. The Processes of Technological Innovation. Lexington, MA: Lexington Books, 1990. 298 p.
8. What drives the digital transformation of farmers' cooperatives? An empirical analysis based on the TOE framework. *Agricultural and Food Economics*. 2026. DOI: 10.1186/s40100-026-00453-2
9. van Dijk J. A. G. M. The Deepening Divide: Inequality in the Information Society. Thousand Oaks: SAGE, 2005. 240 p.
10. Mansoor S., Iqbal S., Popescu S. M., Kim S. L., Chung Y. S., Baek J.-H. Integration of smart sensors and IoT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025. Vol. 16. Art. 1587869. DOI: 10.3389/fpls.2025.1587869
11. Manzoor F., Wei L., Siraj M., Lu X., Qiyang G. Digital agriculture technology adoption in low and middle-income countries — a review of contemporary literature. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025. DOI: 10.3389/fsufs.2025.1621851
12. Da Silveira F., Corrêa R. G. F., Baierle I. C., Landaverde R., Barbedo J. G. A. Behavioral profile of farmers in the adoption of agriculture 4.0 technologies in the agri-food system: a case study in Brazil. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2025. DOI: 10.3389/fsufs.2025.1624753
13. Гривківська О. В., Волянчук В. В. Роль цифровізації у формуванні ресурсного потенціалу аграрних підприємств. *Трансформаційна економіка*. 2025. № 3(12). С. 14–19. DOI: 10.32782/2786-8141/2025-12-2
14. Калачевська Л. А. Вплив цифровізації на ефективність виробничого процесу в агросекторі. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*. 2025. № 4(104). DOI: 10.32782/bsnau.2025.4.8
15. Olkhovskyi A., Minina V. Діджиталізація агробізнесу: впровадження ІТ-рішень у сільське господарство. *Економіка та суспільство*. 2025. № 74. DOI: 10.32782/2524-0072/2025-74-39
16. OECD. Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2025: Ukraine country profile. Paris: OECD Publishing, 2025. URL: <https://www.oecd.org/en/publications/2025/10/agricultural-policy-monitoring-and->



evaluation-2025_354e7040/full-report/ukraine_0e71d61e.html

17. Tur Cardona J., Ciaian P., Antonioli F., Fellmann T., Rocciola F., Ierardi I., Crimeni R., Anastasiou E. The state of digitalisation in EU agriculture. JRC Publications Repository, JRC141259. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025.

18. Савченко В. М., Кононенко Л. В., Сушич В. С. Стратегічні напрями сільського розвитку в умовах становлення «Agriculture 5.0». Економічний простір. 2024. № 190. С. 182–186. DOI: 10.32782/2224-6282/190-33

19. Стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року. Затверджена Кабінетом Міністрів України, листопад 2024 р. URL: <https://minagro.gov.ua/npa/stratetiia-rozvytku-silskoho-hospodarstva-ta-silskykh-terytorii-v-ukraini-na-period-do-2030-roku>

Abstract. The article formulates a conceptual model of a closed-loop reinforcing dynamic of barriers to digital transformation of the agricultural sector, which differs from linear classifications by describing the system-dynamic character of interrelations between four groups of barriers — financial, infrastructural, human-capital, and institutional — through three reinforcing feedback loops (R1 financial-technological, R2 human-operational, R3 institutional-financial). The theoretical framework rests on four established paradigms: System Dynamics (Forrester, Senge), Theory of Constraints (Goldratt), TOE Framework (Tornatzky, Fleischer), and Digital Divide Theory (van Dijk). For the first time for the Ukrainian agricultural sector, a "meta-barrier" is conceptualized — the absence of a regional digitalization strategy — as a second-order supra-structural constraint that keeps all four basic barriers in a stable closed loop. An original Technological Gap Index (TGI) is formulated as a quantification metric of structural polarization of the agricultural sector, correlating the digital maturity level of agro-holdings and small and medium-sized farms. Based on data from Kirovohrad oblast (8,517 agribusinesses, 1.8 million ha of cultivated land as of Q2 2025), the baseline TGI value for Ukraine is computed at approximately 8.2 with comparative reference to Poland (≈ 3.5) and the Netherlands (≈ 1.8). The "mirror-image symmetry" concept of barriers and stimulating factors is proposed, in which each barrier has a corresponding antipair among stimulating factors, and breaking the closed loop is possible not only through barrier removal but also through activation of the corresponding stimulating antipair. Scientific novelty consists in integrating the closed-loop concept, the meta-barrier construct, and the TGI into a single system-dynamic model with regional anchoring. Practical recommendations focus on the regional development strategy "ROCKET PLAN" of Kirovohrad Regional Military Administration as the first managerial intervention at the meta-barrier level.

Key words: digital transformation of agriculture, barriers to innovation adoption, closed-loop model, meta-barrier, technological gap index, system dynamics, theory of constraints, digital divide, Kirovohrad oblast.

Статтю надіслано: 18.06.2026 р.

© Погорілий І. В.

**CONTENTS****Innovative economics and management**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-020> **3**

ADVANCING SCIENTIFIC RESEARCH METHODOLOGY IN
THE CONTEXT OF MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES

Kononenko L.V., Savchenko V.M.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-023> **12**

BEYOND ACQUISITION: RETENTION STRATEGIES, CUSTOMER
LIFETIME VALUE, AND LONG-TERM PROFITABILITY MODELS

Marchuk A.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-025> **28**

THE IMPACT OF GEOPOLITICAL TENSIONS ON DEMAND FOR INBOUND
TOURISM TO THE UNITED STATES: AN ECONOMIC ANALYSIS

Maryna Oznobishyna

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-028> **39**

DIGITAL MARKETING AS A TOOL FOR ENSURING ENTERPRISE
RESILIENCE UNDER THE CONDITIONS OF UKRAINE'S WAR
ECONOMY

Melnyk O.V., Vozna L.B.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-033> **48**

TAX PLANNING AND ITS INFORMATION SUPPORT IN
THE ACCOUNTING SYSTEM

Hrebinska S., Nesreruk H.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-034> **57**

CLOSED-LOOP REINFORCING MODEL OF BARRIERS TO
AGRICULTURAL DIGITAL TRANSFORMATION:
CONCEPTUALIZATION OF THE META-BARRIER
AND THE REGIONAL TECHNOLOGICAL GAP INDEX
(EVIDENCE FROM KIROVOHRAD OBLAST, UKRAINE)

Pohorilyi I.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-035> **70**

KPI SYSTEM IN THE MOBILE LOCKSMITH BUSINESS:
OPERATIONAL METRICS, COMPETITIVE ENVIRONMENT
AND PERFORMANCE MANAGEMENT

Vakuliuk D.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-036> **87**

MODERN OPEN KITCHEN CONCEPTS IN RESTAURANT DESIGN

Cherednichenko D.S., Bortnichuk O.V.



http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-044	107
FOOD CULTURE AS A FACTOR IN SHAPING A WELLNESS-ORIENTED LIFESTYLE	
<i>Budnyk N.V., Moroz S.E.</i> <i>Kalashnyk O.V., Kuznietsov R.V.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-050	119
PARTNERSHIP OF TOURISM ENTITIES AND LOCAL COMMUNITIES IN CULTURAL TOURISM DEVELOPMENT	
<i>Zubekhina T.V.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-052	130
COMPETITIVE ENVIRONMENT ANALYSIS: MODERN CHALLENGES AND PROSPECTS UNDER CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND MARTIAL LAW	
<i>Zhuk O.I.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-053	141
ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF UKRAINE'S EUROPEAN INTEGRATION	
<i>Rozmaryna A.L.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-054	152
SOCIAL CHALLENGES OF DIGITAL TRANSFORMATION: NEW FORMS OF DEPENDENCY AND SOCIO-ECONOMIC INTERACTION	
<i>Halushka Z.I.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-056	164
CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY IN THE INFORMATION SPACE OF THE ENTERPRISE	
<i>Kudelskyi V.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-064	179
INFORMATION SUPPORT FOR THE AUDIT OF LABOR REMUNERATION EXPENDITURE UNDER THE DIFFERENCES BETWEEN PAY SYSTEMS OF THE BUDGETARY AND ENTERPRISE SECTORS	
<i>Smirnova N.V., Smirnova I.V.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-066	189
SOCIAL PROTECTION OF THE POPULATION IN UKRAINE IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT	
<i>Kravets I.M.</i>	



http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-067	202
DEVELOPMENT OF LOCAL ECONOMIES AND COMMUNITY RESILIENCE THROUGH SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC RESOURCES (ON THE EXAMPLE OF THE HOSHCHA TERRITORIAL COMMUNITY)	
<i>Danylyshyn B.M., Pylypiv V.V. Shevchuk O.A., Obykhod H.O.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-068	214
STRATEGIES FOR PERSONNEL DEVELOPMENT IN THE LEADERSHIP ECONOMY	
<i>Rudych L.V., Stepanova L.V.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-073	220
THE IMPACT OF AGILE METHODOLOGIES ON STARTUP SUCCESS	
<i>Diugowanets O. M., Kulinich T.V , Maslyhan O.O.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-074	236
FORMATION OF A COMPETITIVE ENTERPRISE STRATEGY BASED ON THE SYNERGY OF MANAGEMENT, ACCOUNTING, AND DIGITAL MARKETING	
<i>Korolovich O.O., Holovachko V.M., Pigosh V.A.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-075	248
FEATURES OF FORMATION AND IMPLEMENTATION OF MARKETING STRATEGIES BY AGRICULTURAL ENTERPRISES	
<i>Melnyk V.I., Nahorna O.V., Shpychak Yu. O.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit45-03-080	263
QUALITY CONTROL OF REPAIR WORK AS A FACTOR IN SAFETY AND TRUST AT AN AUTO SERVICE CENTER	
<i>Breusov Y.</i>	



International periodic scientific journal

MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und
innovative Technologien

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 70.62)

Issue №45
Part 3
June 2026

Development of the original layout - Sergeieva&Co

Signed: June 30, 2026

Sergeieva&Co
Lußstr. 13
76227 Karlsruhe
e-mail: editor@modern techno.de
site: www.modern techno.de

Articles published in the author's edition

