УДК 339.1:656.07:338.2
JEL Classification: R41, R42, O18, D92

ЧАСОВА АСИНХРОННІСТЬ ТА КУМУЛЯТИВНА ДИНАМІКА ЛАГОВИХ ПРОЦЕСІВ У РОЗВИТКУ ТОРГОВЕЛЬНО-ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

АНДРУХІВ Ігор[1], АНДРУХІВ Тарас[2]
[1] ТОВ «СОФТСЕРВ ДАЙНАМІКС», м. Львів
https://doi.org/0009-0000-0031-9933
[2] Державний університет «Інтелектуальних технологій і зв'язку»,
Керівник Західного макрорегіону АТ «Укртелеком», м. Львів
https://doi.org/0000-0001-7597-2435

Дослідження присвячено теоретико-методичному обґрунтуванню концепції часової асинхронності та розкриттю механізмів формування й взаємодії часових лагів у розвитку торговельно-логістичної інфраструктури. Розкрито зміст часової асинхронності як характеристики неоднакової швидкості адаптації взаємопов'язаних компонентів інфраструктури та часового розриву між трансформаційним імпульсом і реалізацією системного результату. Систематизовано основні типи часових лагів за характером трансформаційних процесів та виокремлено інвестиційно-будівельний, інституційно-регуляторний, технологічно-цифровий і ринково-поведінковий типи. Визначено основні рівні формування часових затримок та розкрито причинно-наслідкові механізми їх виникнення. Обґрунтовано залежність системної динаміки від часової взаємодії окремих лагів і виокремлено дві траєкторії: «часовий застій», пов'язаний із послідовним проходженням взаємопов'язаних затримок, та «кумулятивний сплеск», що формується за узгодженого завершення декількох адаптаційних процесів. Визначено значення врахування часової взаємодії лагів для оцінювання результативності трансформацій та координації розвитку торговельно-логістичної інфраструктури.

Ключові слова: торговельно-логістична інфраструктура, часова асинхронність, часові лаги, системна адаптація, інвестиційно-будівельні лаги, технологічна адаптація, кумулятивний сплеск, часовий застій.

https://doi.org/10.31891/mdes/2026-22-24

Стаття надійшла до редакції / Received 02.09.2026
Прийнята до друку / Accepted 26.10.2026
Опубліковано / Published 12.11.2026

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons CC-BY 4.0

© АНДРУХІВ Ігор, АНДРУХІВ Тарас

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Сучасний розвиток торговельно-логістичної сфери України відбувається під впливом масштабних трансформацій, спричинених війною, порушенням логістичних ланцюгів, обмеженням традиційних транспортних коридорів, релокацією підприємств та пошкодженням інфраструктури. Ці процеси посилюють нерівномірність розвитку торговельно-логістичної системи та підвищують вимоги до швидкості її адаптації. Водночас результати трансформаційних заходів у торговельно-логістичній сфері проявляються з часовим відставанням, що ускладнює оцінювання їх результативності та координацію процесів розвитку інфраструктури. Особливої значущості набуває проблема часової асинхронності, яка може впливати на узгодженість інвестиційних, інфраструктурних, технологічних, регуляторних і ринкових змін. Отже, виникає потреба у науковому осмисленні часової асинхронності як чинника динаміки торговельно-логістичної системи та визначенні її значення для оцінювання й управління процесами трансформації інфраструктури.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У наукових дослідженнях часові характеристики розвитку інфраструктури, ланцюгів постачання та технологічної адаптації розглядаються переважно в межах окремих процесів, що зумовлює фрагментарність підходів до оцінювання часових затримок у взаємопов'язаних системах. Зокрема у дослідженнях інвестиційних та інфраструктурних процесів основна увага приділяється тривалості реалізації проєктів та чинникам, що зумовлюють відхилення від запланованих строків. Так, R. Espinoza та A. F. Presbitero на основі інформації про проєкти Світового банку у 135 країнах, що розвиваються, встановили поширеність значних затримок у реалізації інвестиційних проєктів та їх залежність від інституційних умов, якості планування, складності проєкту й макроекономічного середовища [5]. Важливим для дослідження часових лагів є також встановлений авторами зв'язок між тривалістю затримки та зростанням вартості проєкту. G. Mejía et al. систематизували причини затримок у дорожніх інфраструктурних проєктах країн, що розвиваються та показали їх залежність від фінансових, організаційних, ресурсних і проєктних

чинників [7]. Водночас обидва дослідження зосереджені переважно на тривалості реалізації окремого проєкту та чинниках її відхилення, залишаючи поза увагою часовий розрив між завершенням окремих трансформаційних процесів та досягненням системного результату. Для українських умов О. Бобось та М. Бобось акцентують увагу на бюрократичних процедурах, багаторівневому погодженні та організаційних проблемах як причинах затримок відновлення інфраструктури [1], проте аналіз обмежується переважно ідентифікацією перешкод без розкриття механізмів взаємодії різнотипних часових затримок.

Окремий напрям формують праці, присвячені часовій динаміці ланцюгів постачання та їх адаптації до зовнішніх шоків. J. Shi et al. розглядають стійкість мереж ланцюгів постачання як динамічний процес, враховуючи часові зміни складу мережі, взаємозв'язків між суб'єктами, операційних станів та відновлення після збоїв [10]. M. Carissimi et al. досліджують часові характеристики стратегій стійкості ланцюгів постачання на основі кейсів італійських продовольчих компаній та виокремлюють параметри часу початку й тривалості реалізації відповідних стратегій [3]. G. Stadtfeld та T. Gruchmann узагальнюють підходи до формування динамічних можливостей стійкості ланцюгів постачання, акцентуючи залежність адаптаційних практик від послідовності їх розвитку та організаційної зрілості [11]. Зазначені праці розширюють уявлення про часовий вимір адаптації, однак переважно розглядають його крізь призму стійкості та відновлення ланцюгів постачання, тоді як різна тривалість інвестиційних, регуляторних, технологічних і ринково-поведінкових процесів у межах торговельно-логістичної інфраструктури не отримує комплексної типологізації.

Часовий аспект технологічної адаптації представлений дослідженнями, у яких аналізується відкладений ефект технологічних інвестицій та бар'єри цифрової трансформації. W. Winarno et al. на основі динамічної панельної моделі встановили, що інвестиції в інформаційні технології можуть впливати на фінансові результати підприємств із часовим відставанням, пов'язаним з організаційним навчанням, структурними та комплементарними ефектами [12]. P. Agrawal et al. визначили взаємопов'язані бар'єри цифрової трансформації ланцюгів постачання, серед яких брак цифрових компетентностей, високі витрати впровадження та недостатня готовність організацій до змін [2]. S. Karabag et al. у поздовжньому дослідженні цифрової трансформації розглядають часову асиметрію між розгортанням технологій та готовністю користувачів до їх прийняття, підкреслюючи багатофазний характер організаційної адаптації [6]. Проте ці дослідження зосереджені переважно на технологічному та організаційному рівнях і не охоплюють одночасну взаємодію часових характеристик матеріальної інфраструктури, регулювання, кадрової адаптації та ринкової поведінки.

Віддаючи належне отриманим науковим результатам, зауважимо, що подальшого розгляду потребує проблема взаємодії різнотипних часових затримок у межах єдиної торговельно-логістичної системи, зокрема їх впливу на узгодженість та динаміку процесів її розвитку.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є теоретико-методичне обґрунтування концепції часової асинхронності у розвитку торговельно-логістичної інфраструктури та розкриття механізмів формування й взаємодії часових лагів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

У традиційних економічних моделях ринкова адаптація розглядалась переважно через механізми рівноваги та коригування поведінки суб'єктів відповідно до зміни цін, інформації й очікувань, теорії загальної рівноваги L. Walras [8] та теорії часткової рівноваги A. Marshall [4]. Водночас розвиток динамічних та інституційних підходів пов'язаний із визнанням різної тривалості економічної реакції залежно від характеру змін, ресурсних обмежень, технологічної готовності та інституційного середовища. A. Polo et al. розглядають адаптацію ланцюгів постачання як динамічний процес, що охоплює перебудову ресурсів, процесів і взаємозв'язків під впливом зовнішніх змін [9]. J. Shi et al. акцентують часовий вимір стійкості мереж ланцюгів постачання, враховуючи послідовність змін, динамічне відновлення окремих вузлів та адаптивні реакції системи [10].

Для торговельно-логістичної інфраструктури ця особливість набуває системного характеру, оскільки її окремі компоненти реагують на один і той самий трансформаційний імпульс із різною швидкістю. Інвестиційне будівництво, нормативна адаптація, впровадження цифрових технологій, перебудова логістичних маршрутів та зміна поведінки споживачів формують неоднакові часові

інтервали між виникненням зміни та її фактичним проявом. Тому часову асинхронність пропонуємо розглядати як об'єктивну системну властивість розвитку торговельно-логістичної інфраструктури, що характеризує неоднакову швидкість трансформації її взаємопов'язаних компонентів. Відповідно, часовий лаг визначає період між виникненням трансформаційного імпульсу та реалізацією відповідної реакції системи.

Еволюція теоретичних підходів до трактування швидкості адаптації економічних систем відображає поступове розширення уявлень про часові характеристики ринкової реакції – від переважного абстрагування від тривалості процесів пристосування до врахування інерційності ресурсних, інституційних і технологічних компонентів (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльна характеристика теоретичних підходів до трактування часової реакції торговельно-логістичної системи

Наукова школа / підхід	**Концептуальна оцінка часової реакції системи**	**Обмеження при застосуванні до торговельно-логістичної інфраструктури**
Неокласична теорія	Аналіз рівноважного стану та ринкового коригування переважно абстрагується від тривалості процесу пристосування та часової неоднорідності реакцій	Недостатнє врахування тривалості інвестиційно-будівельного циклу, інерційності інфраструктурних активів та неоднакової швидкості адаптації її компонентів
Кейнсіанський підхід	Враховує часові розриви між змінами інвестицій, доходу та сукупного попиту	Не охоплює специфіку багатокомпонентної торговельно-логістичної інфраструктури та різну тривалість її структурних трансформацій
Інституційна економіка	Пов'язує економічні зміни з тривалістю інституційної адаптації, зміною правил та усталених моделей взаємодії	Часові характеристики інституційних змін недостатньо інтегровані з інвестиційними, технологічними та поведінковими лагами інфраструктурної системи
Теорія інновацій та дифузії технологій	Розглядає засвоєння нововведень як процес, що розгортається в часі та характеризується послідовними фазами поширення	Переважно зосереджується на технологічному прийнятті та не охоплює одночасну дію інвестиційних, інституційних і поведінкових чинників
Концептуалізація часової асинхронності	Розглядає торговельно-логістичну систему як сукупність взаємопов'язаних компонентів із різною швидкістю трансформації та часовими лагами між імпульсом і реакцією	Потребує формалізації взаємодії різнотипних лагів із використанням розподілених і просторово-часових моделей

Джерело: систематизовано автором за проаналізованими підходами

Отже, часова асинхронність не є випадковим відхиленням чи виключно наслідком негативного впливу зовнішнього середовища. Вона є об'єктивною властивістю розвитку торговельно-логістичної інфраструктури, зумовленою різною тривалістю трансформації її взаємопов'язаних компонентів. Неврахування цієї властивості може спричиняти некоректну оцінку окупності інвестиційних проєктів, передчасні висновки щодо результативності регуляторних змін та викривлення оцінок взаємозв'язків між чинниками й результатами розвитку системи.

Систематизацію часових лагів за джерелом їх походження пропонуємо здійснювати на основі наскрізної аналітичної структури «джерело виникнення → об'єкт трансформації → механізм формування → часовий інтервал → форма прояву в системі». Така послідовність дає змогу розмежувати типи затримок адаптації торговельно-логістичної інфраструктури за локалізацією трансформаційних процесів у фізичних активах, нормативно-організаційному середовищі, технологічних та операційних процесах і моделях поведінки суб'єктів ринку (табл. 2).

Інвестиційно-будівельний лаг виникає між ухваленням рішення про капіталовкладення та фактичним введенням відповідного інфраструктурного об'єкта в експлуатацію. Його тривалість визначається послідовністю землевідведення, проєктування, погодження, будівництва, підключення до мереж та завершення пусконалагоджувальних процедур. Для складських комплексів, мультимодальних терміналів, хабів та інших капіталомістких об'єктів цей інтервал може вимірюватися роками. Унаслідок цього приріст інфраструктурної пропозиції відбувається пізніше за момент виникнення потреби в ній, що може зумовлювати тимчасовий дефіцит потужностей, підвищення вартості їх використання та зростання питомих логістичних витрат.

Інституційно-регуляторний лаг формується між зміною нормативних вимог та фактичною адаптацією процедур і операційної діяльності суб'єктів. Часовий розрив виникає через необхідність не лише набуття чинності нормативним актом, а й розроблення процедур його реалізації, організаційного налаштування відповідних інституцій та пристосування учасників ринку до нових

вимог. У торговельно-логістичній сфері це може проявлятися у затримках митного оформлення, виникненні додаткових адміністративних процедур та збільшенні витрат на адаптацію.

Таблиця 2

Комплексна типологія часових лагів у торговельно-логістичній системі

Тип часового лагу	Об'єкт трансформації	Механізм формування	Прояв у торговельно-логістичній системі
Інвестиційно-будівельний	Фізична інфраструктура: склади, термінали, хаби, транспортні об'єкти	Реалізація капіталомістких інфраструктурних проєктів	Дефіцит потужностей та підвищення питомих логістичних витрат
Інституційно-регуляторний	Нормативне середовище, адміністративні процедури	Адаптація інституцій і суб'єктів до нових регуляторних вимог	Затримки процедур та додаткові адміністративні витрати
Технологічно-цифровий	Цифрова інфраструктура, технологічні та операційні процеси	Освоєння та інтеграція нових технологічних рішень	Тимчасове зниження продуктивності та поступове досягнення очікуваної ефективності
Ринково-поведінковий	Поведінка суб'єктів ринку та контрактні зв'язки	Перебудова усталених моделей взаємодії та вибору альтернатив	Поступовий перерозподіл вантажопотоків і зміна попиту

Джерело: розроблено автором

Технологічно-цифровий лаг охоплює період між рішенням про впровадження технологічного або цифрового рішення та досягненням очікуваного рівня операційної ефективності. Його формування пов'язане із закупівлею або розробленням програмного забезпечення, інтеграцією WMS, TMS та ERP-систем, установленням обладнання, навчанням персоналу й тестуванням нових процесів. Тому момент технологічного впровадження не збігається з моментом отримання повного операційного ефекту. На початкових етапах можливе тимчасове зниження продуктивності, після чого ефективність зростає відповідно до накопичення досвіду використання технології.

Ринково-поведінковий лаг відображає часовий розрив між зміною інфраструктурного або просторово-цінового середовища та зміною поведінки споживачів, перевізників, постачальників та інших суб'єктів ринку. Його формування пов'язане з усталеними маршрутами й моделями споживання, чинними контрактними зобов'язаннями та необхідністю апробації нових альтернатив. Тому поява нового торговельно-логістичного об'єкта або зміна параметрів інфраструктурної мережі не спричиняє миттєвого перерозподілу потоків. Проявом лагу стають поступова зміна маршрутів, структури попиту та обсягів діяльності.

За тривалістю лаги також істотно різняться: інвестиційно-будівельний може охоплювати 1,5–4 роки, інституційно-регуляторний – переважно 3–12 місяців із можливим подовженням у разі міжнародної гармонізації, технологічно-цифровий – 3–18 місяців, ринково-поведінковий – від 1–6 місяців у B2C-сегменті до 6–12 місяців у B2B-сегменті. Наведені інтервали є орієнтовними та використовуються як робоча аналітична характеристика тривалості відповідних типів лагів.

Виокремлені типи лагів функціонують у торговельно-логістичній системі взаємопов'язано: затримка трансформації одного компонента може зміщувати момент реалізації ефекту в іншому. Наприклад, введення нового інфраструктурного об'єкта може завершитися раніше, ніж суб'єкти ринку адаптують до нього логістичні маршрути, тоді як цифровізація операцій може потребувати додаткового часу для технологічної та кадрової адаптації. Отже, фактична тривалість системної адаптації формується під впливом сукупності різнотипних часових лагів, які можуть накладатися один на одного, подовжуючи загальний період адаптації або, за синхронізації окремих процесів, скорочуючи його.

З'ясування причинно-наслідкових механізмів виникнення часових затримок потребує фокусування на бар'єрах та обмеженнях, які визначають швидкість адаптації торговельно-логістичної інфраструктури у відповідь на трансформаційні імпульси. Якщо видова класифікація лагів відображає сформований часовий розрив, то аналіз механізмів їх виникнення дає змогу розкрити послідовність процесів, через які трансформаційний імпульс перетворюється на фактичну зміну параметрів системи. У загальному вигляді такий процес можна представити як послідовність «зовнішній імпульс → внутрішньосистемний бар'єр → затримка реакції → проміжна перебудова → кінцевий ефект». Специфіка торговельно-логістичної сфери зумовлює формування бар'єрів на чотирьох взаємопов'язаних рівнях: матеріально-технічному, інституційно-регуляторному, кадрово-компетентнісному та ринково-поведінковому.

На матеріально-технічному рівні основними чинниками затримки виступають капіталомісткість та фізична інерційність інфраструктурних активів. Інвестиційний імпульс, пов'язаний із розширенням або модернізацією складських терміналів, мультимодальних хабів чи транспортних об'єктів, потребує часу для реалізації через послідовність вишукувальних, проєктних, погоджувальних та будівельно-монтажних робіт. До завершення інвестиційного циклу система змушена функціонувати з наявним обсягом потужностей, що може формувати локальні дефіцити та перевантаження окремих транспортно-складських вузлів. Проміжним наслідком стає підвищення вартості використання інфраструктури та питомих логістичних витрат, тоді як повний ефект інвестицій проявляється після введення нових потужностей в експлуатацію.

На інституційно-регуляторному рівні часові затримки виникають через багатоступеневість реалізації нормативних змін та необхідність адаптації адміністративних процедур. Нормативний імпульс у вигляді нового законодавчого положення, митної вимоги чи екологічного стандарту не трансформується безпосередньо в зміну операційної практики. Між набуттям чинності новими нормами та їх фактичним застосуванням виникає період розроблення процедур реалізації, організаційного налаштування відповідальних інституцій та адаптації суб'єктів ринку. Проміжним проявом такої затримки можуть бути накопичення товарних партій, затримки митного оформлення та збільшення часу проходження прикордонних процедур, що підвищує адміністративні й трансакційні витрати.

На кадрово-компетентнісному рівні швидкість адаптації обмежується готовністю людського капіталу до зміни технологій та бізнес-процесів. Впровадження цифрових інструментів, автоматизованих систем управління або нових організаційних рішень потребує формування відповідних компетентностей, перепідготовки персоналу та набуття практичного досвіду роботи в оновленій системі. У період адаптації можливі тимчасове зниження продуктивності праці, збільшення кількості операційних помилок та додаткові витрати на навчання. Отже, технологічний або організаційний імпульс може бути реалізований раніше, ніж персонал досягне необхідного рівня готовності, що відтерміновує вихід системи на очікувані параметри продуктивності та якості логістичного сервісу.

На ринково-поведінковому рівні часовий розрив формується між появою нових інфраструктурних або цінових можливостей та зміною моделей поведінки суб'єктів ринку. Навіть поява нового логістичного маршруту чи розподільчого центру не зумовлює миттєвої переорієнтації вантажопотоків, оскільки учасники ринку враховують усталені маршрути, чинні контрактні зобов'язання, ризики зміни партнерських зв'язків та результати апробації нових альтернатив. Проміжна реакція може проявлятися у поступовому спрямуванні частини товарних партій на нові маршрути або до нових об'єктів. У міру накопичення позитивного досвіду та перегляду контрактних і логістичних рішень формується повніший просторово-часовий перерозподіл вантажних і споживчих потоків.

Взаємодія різнорідних часових лагів у просторово-часовій динаміці торговельно-логістичної системи може формувати ефекти, які не зводяться до простої суми окремих затримок. Матеріально-технічні, інституційні, кадрові та ринкові бар'єри розгортаються у часі з різною тривалістю та можуть частково або повністю перекриватися. Тому фактична тривалість системної адаптації залежить не лише від величини окремих лагів, а й від їх часової послідовності, взаємного перекриття та моменту завершення. За характером такого узгодження можна виокремити дві протилежні траєкторії: формування фази «часового застою» та виникнення «кумулятивного сплеску» (рис. 1).

Траєкторія часового застою формується за послідовного або асинхронного подолання бар'єрів, коли завершення одного адаптаційного процесу не супроводжується відповідним зростанням результативності системи через збереження іншого обмеження. Наприклад, після завершення будівництва нового інфраструктурного об'єкта його повноцінне використання може відтерміновуватися через регуляторні процедури, недостатню підготовленість персоналу або повільну переорієнтацію суб'єктів ринку. У такій ситуації позитивний ефект окремої трансформації частково нівелюється незавершеністю інших пов'язаних процесів. Система тривалий час функціонує у проміжному стані: трансформаційні ресурси вже залучені, окремі компоненти модернізовані, проте очікуваний сукупний ефект ще не реалізований. Чим більше послідовних обмежень виникає на шляху адаптації, тим довшою може бути фаза такого часового застою.

Протилежна траєкторія формується за умови фазового узгодження декількох адаптаційних процесів. Коли введення в експлуатацію матеріальної інфраструктури, завершення регуляторних процедур, досягнення необхідного рівня кадрових компетентностей та адаптація суб'єктів ринку відбуваються в близькі часові періоди, накопичений потенціал окремих трансформацій отримує

можливість реалізуватися одночасно. У точці такої синхронізації зняття кількох системних обмежень може спричинити швидке зростання операційної ефективності. Замість поступового приросту результату виникає кумулятивний ефект, який проявляється у прискоренні вантажопотоків, скороченні питомих логістичних і трансакційних витрат та швидшому просторово-часовому перерозподілі ринкової активності. Саме цей ефект пропонуємо визначати як «кумулятивний сплеск» – короткочасне прискорення системної динаміки, що виникає внаслідок часової синхронізації декількох раніше відокремлених адаптаційних процесів.

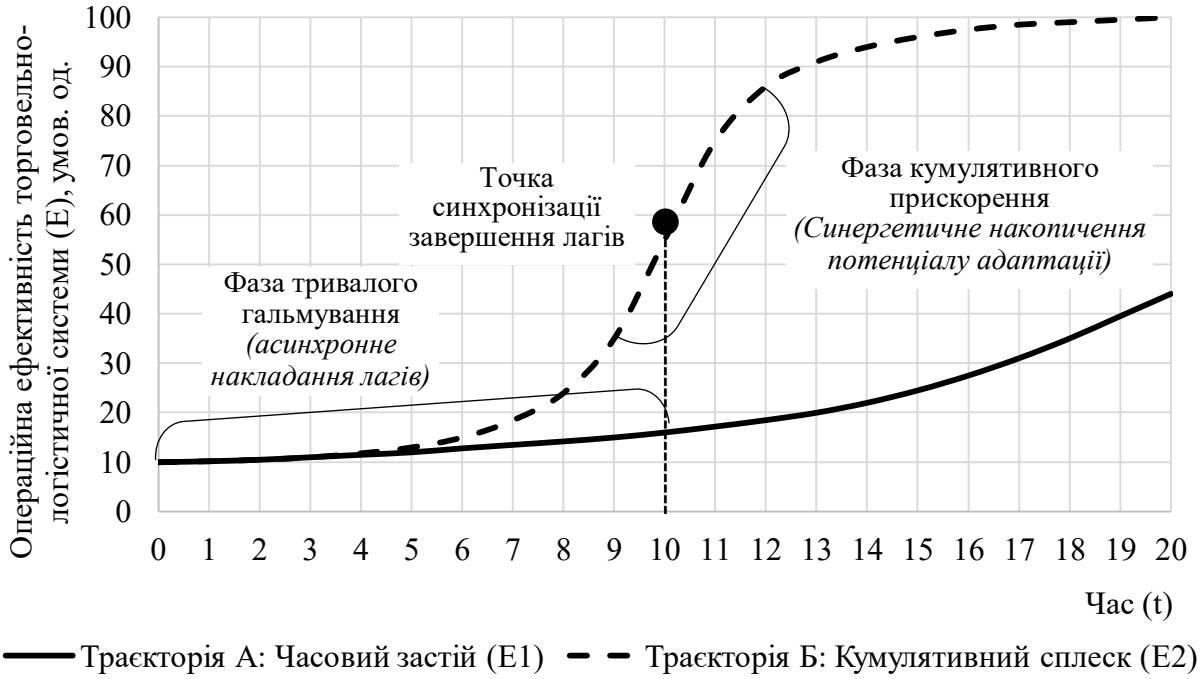


Рис. 1. Траєкторії кумулятивної динаміки часових лагів у торговельно-логістичній системі
Джерело: розроблено автором

Отже, характер системної динаміки визначається не лише тривалістю окремих часових лагів, а й конфігурацією їх взаємодії у часі. Послідовне проходження взаємопов'язаних бар'єрів може подовжувати період досягнення очікуваного результату та формувати фазу часового застою, тоді як синхронізація завершення декількох трансформацій створює передумови для кумулятивного прискорення. Це означає, що управління часовими лагами має охоплювати не лише скорочення тривалості окремих затримок, а й узгодження моментів завершення взаємопов'язаних процесів. Практично це передбачає координацію часових параметрів інфраструктурного будівництва, регуляторних змін, підготовки персоналу та стимулювання ринкового попиту.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

1. Часова асинхронність характеризує неоднакову швидкість трансформації взаємопов'язаних компонентів торговельно-логістичної інфраструктури та часовий розрив між виникненням трансформаційного імпульсу і реалізацією відповідного системного результату. Її формування пов'язане з різною тривалістю інвестиційних, інституційних, технологічних, кадрових та ринково-поведінкових процесів.

2. У складі часових затримок виокремлено інвестиційно-будівельний, інституційно-регуляторний, технологічно-цифровий та ринково-поведінковий типи. Вони відрізняються об'єктами трансформації, механізмами формування та тривалістю. Їх взаємодія впливає на швидкість досягнення очікуваних параметрів функціонування торговельно-логістичної системи та може супроводжуватися тимчасовим дефіцитом інфраструктурних потужностей, зростанням витрат або зниженням операційної продуктивності на етапі адаптації.

3. Взаємодія часових лагів формує дві принципово різні траєкторії системної динаміки. Послідовне проходження взаємопов'язаних затримок подовжує період реалізації трансформаційного результату та формує фазу «часового застою». Узгоджене завершення

декількох адаптаційних процесів створює умови для одночасної реалізації накопиченого потенціалу та формування «кумулятивного сплеску», що проявляється у прискоренні системної адаптації. Отже, оцінювання часових лагів у торговельно-логістичній сфері потребує врахування не лише тривалості окремих затримок, а й характеру їх часової взаємодії.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на кількісну оцінку взаємодії різнотипних часових лагів та визначення їх впливу на параметри розвитку торговельно-логістичної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бобось О. Л., Бобось М. Л. Відновлення інфраструктури територій України: виклики, інноваційні підходи та партнерство у відбудові. *Держава та регіони. Серія: Публічне управління і адміністрування*. 2024. № 4. С. 194–199. https://doi.org/10.32782/1813-3401.2024.4.29
2. Agrawal P., Narain R., Ullah I. Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach. *Journal of Modelling in Management*. 2020. № 15 (1). P. 297–317. https://doi.org/10.1108/JM2-03-2019-0066
3. Carissimi M. C., Prataviera L. B., Creazza A., Melacini M., Dallari F. Blurred lines: the timeline of supply chain resilience strategies in the grocery industry in the time of Covid-19. *Operations Management Research*. 2023. № 16 (1). P. 80–98. https://doi.org/10.1007/s12063-022-00278-4
4. Dardi M. Alfred Marshall's partial equilibrium: dynamics in disguise. *The Economics of Alfred Marshall: Revisiting Marshall's Legacy*. Palgrave Macmillan. 2003. P. 84–112.
5. Espinoza R., Presbitero A. F. Delays in public investment projects. *International Economics*. 2022. № 172. P. 297–310. https://doi.org/10.1016/j.inteco.2021.10.002
6. Karabag S. F., Simonsson J., Berggren C., Andreasson M., Eriksson R. Digital transformation as a multi-phase process: a longitudinal study of corporate strategy and business unit adaptation. *Journal of Business Research*. 2026. № 202. Art. 115796. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115796
7. Mejía G., Sánchez O., Castañeda K., Pellicer E. Delay causes in road infrastructure projects in developing countries. *Revista de la Construcción*. 2020. № 19 (2). P. 220–234. https://doi.org/10.7764/rdlc.19.2.220
8. Misaki K. Léon Walras's economic thought: The general equilibrium theory in historical perspective. Taylor & Francis. 2023. 248 p.
9. Polo A., Morillo-Torres D., Escobar J. W. Toward adaptive and immune-inspired viable supply chains: a PRISMA systematic review of mathematical modeling trends. *Mathematics*. 2025. № 13 (14). Art. 2225. https://doi.org/10.3390/math13142225
10. Shi J., Tang Z., Zhan X. X., Liu C. Temporal modeling and resilience analysis of supply chain networks under cascading failures. *Reliability Engineering & System Safety*. 2025. № 255. Art. 111763. https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111763
11. Stadtfeld G. M., Gruchmann T. Dynamic capabilities for supply chain resilience: a meta-review. *The International Journal of Logistics Management*. 2024. № 35 (2). P. 623–648. https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2022-0373
12. Winarno W. A., Tjahjadi B., Irwanto A. Time lag effects of IT investment on firm performance: evidence form Indonesia. *Jurnal Ekonomi Malaysia*. 2021. № 55 (3). P. 89–101. https://doi.org/10.17576/JEM-2021-5503-06

REFERENCES:

1. Bobos O. L., & Bobos M. L. (2024) Vidnovlennya infrastruktury terytorij Ukrayiny: vyklyky, innovacijni pidxody ta partnerstvo u vidbudovi [Restoration of infrastructure of the territories of Ukraine: challenges, innovative approaches and partnership in reconstruction]. *Derzhava ta rehiony. Seriya: Publichne upravlinnya i administruvannyya – State and Regions. Series: Public Administration and Management*, no. 4, pp. 194–199. https://doi.org/10.32782/1813-3401.2024.4.29 (in Ukrainian)
2. Agrawal P., Narain R., & Ullah I. (2020) Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach. *Journal of Modelling in Management*, vol. 15, no. 1, pp. 297–317. https://doi.org/10.1108/JM2-03-2019-0066
3. Carissimi M. C., Prataviera L. B., Creazza A., Melacini M., & Dallari F. (2023) Blurred lines: the timeline of supply chain resilience strategies in the grocery industry in the time of Covid-19. *Operations Management Research*, vol. 16, no. 1, pp. 80–98. https://doi.org/10.1007/s12063-022-00278-4
4. Dardi M. (2003) Alfred Marshall's partial equilibrium: dynamics in disguise. *The Economics of Alfred Marshall: Revisiting Marshall's Legacy*, London: Palgrave Macmillan UK, pp. 84–112.
5. Espinoza R., & Presbitero A. F. (2022) Delays in public investment projects. *International Economics*, vol. 172, pp. 297–310. https://doi.org/10.1016/j.inteco.2021.10.002

6. Karabag S. F., Simonsson J., Berggren C., Andreasson M., & Eriksson R. (2026) Digital transformation as a multi-phase process: a longitudinal study of corporate strategy and business unit adaptation. *Journal of Business Research*, vol. 202, art. 115796. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115796

7. Mejía G., Sánchez O., Castañeda K., & Pellicer E. (2020) Delay causes in road infrastructure projects in developing countries. *Revista de la Construcción*, vol. 19, no. 2, pp. 220–234. https://doi.org/10.7764/rdlc.19.2.220

8. Misaki K. (2023) Léon Walras's economic thought: The general equilibrium theory in historical perspective. London: Taylor & Francis, 248 p.

9. Polo A., Morillo-Torres D., & Escobar J. W. (2025) Toward adaptive and immune-inspired viable supply chains: a PRISMA systematic review of mathematical modeling trends. *Mathematics*, vol. 13, no. 14, art. 2225. https://doi.org/10.3390/math13142225

10. Shi J., Tang Z., Zhan X. X., & Liu C. (2025) Temporal modeling and resilience analysis of supply chain networks under cascading failures. *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 255, art. 111763. https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111763

11. Stadtfeld G. M., & Gruchmann T. (2024) Dynamic capabilities for supply chain resilience: a meta-review. *The International Journal of Logistics Management*, vol. 35, no. 2, pp. 623–648. https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2022-0373

12. Winarno W. A., Tjahjadi B., & Irwanto A. (2021) Time lag effects of IT investment on firm performance: evidence form Indonesia. *Jurnal Ekonomi Malaysia*, vol. 55, no. 3, pp. 89–101. https://doi.org/10.17576/JEM-2021-5503-06

TEMPORAL ASYNCHRONY AND CUMULATIVE DYNAMICS OF LAG PROCESSES IN THE DEVELOPMENT OF TRADE AND LOGISTICS INFRASTRUCTURE

ANDRUKHIV Ihor[1], ANDRUKHIV Taras[2]
[1] SOFTSERVE DYNAMICS LLC, Lviv
[2] State University of «Intelligent Technologies and Communications»,
Western Macroregion of JSC «Ukrtelecom», Lviv

The relevance of the study is determined by the need to consider the temporal heterogeneity of adaptation processes in Ukraine's trade and logistics infrastructure under the conditions of war, disruption of logistical connections, transformation of transport routes, and changes in the spatial organization of economic activity. The aim of the article is to provide a theoretical and methodological substantiation of the concept of temporal asynchrony in the development of trade and logistics infrastructure and to reveal the mechanisms underlying the formation and interaction of time lags. The methodological basis comprises system-structural analysis, conceptual modeling, comparative analysis, and typologization, which are used to identify the components of temporal asynchrony, systematize time lags, and reveal the mechanisms of their interaction. The results of the study clarify the concept of temporal asynchrony as a characteristic of the varying speed of adaptation of interconnected components of trade and logistics infrastructure and the time gap between a transformational impulse and the realization of a systemic result. Four main types of time lags are systematized: investment-construction, institutional-regulatory, technological-digital, and market-behavioral. For each type, the object of transformation, formation mechanisms, and main manifestations in system functioning are defined. The cause-and-effect mechanisms underlying the formation of time lags are revealed at the material-technical, institutional-regulatory, human resource and competency, and market-behavioral levels. It is established that the nature of temporal interactions among lags affects the duration of systemic adaptation. Two trajectories of systemic dynamics are identified: "temporal stagnation," in which the sequential progression of interconnected lags extends the period required to achieve transformational results, and "cumulative surge," in which the coordinated completion of several adaptation processes accelerates systemic adaptation. The practical value of the results lies in their applicability to assessing the time parameters of infrastructural transformations, coordinating interconnected investment and organizational measures, and substantiating decisions regarding the development of trade and logistics networks.

Keywords: trade and logistics infrastructure, temporal asynchrony, time lags, systemic adaptation, investment-construction lags, technological adaptation, cumulative surge, temporal stagnation.