

УДК 658.7:004.9

DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V54\(2025\)-16](https://doi.org/10.31521/modecon.V54(2025)-16)

Му́ха Т. А., здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти кафедри менеджменту, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

ORCID: 0009-0008-9282-6833

e-mail: hammers.plant@gmail.com

Індустрія 4.0 в управлінні логістичними процесами: модель формування цифрових динамічних ланцюгів постачання

Анотація. Досліджено підходи Індустрії 4.0 до управління логістичними процесами у ланцюгах постачання з фокусом на хмарних платформах, модульних сервісах та інструментах цифрового моделювання, які забезпечують відтворюваність і масштабованість управлінських рішень в умовах високої мінливості та невизначеності зовнішнього середовища. Метою статті є розроблення моделі формування цифрових динамічних здібностей ланцюга постачання та обґрунтування механізмів їхнього впливу на адаптивність і узгодженість (alignment) логістики, а також на результати діяльності (операційну ефективність, стійкість до збоїв і екологічну результативність). Запропоновано авторську концептуальну модель DDC-AAA, у межах якої цифрові динамічні здібності розкрито як сукупність процедур цифрового виявлення змін (sensing), цифрового захоплення можливостей (seizing) і цифрового перетворення (transforming) логістичних конфігурацій мережі, запасів та потужностей. Систематизовано інструменти Індустрії 4.0 для логістики: SaaS-рішення для планування та диспетчеризації, хмарні платформи даних, процес-майнінг для контролю відповідності регламентам, цифрові двійники для сценарного моделювання та засоби кібербезпеки й управління даними. Розроблено індикаторну систему вимірювання DDC за трьома рутинами та матрицю механізмів узгодження на стратегічному, тактичному й операційному рівнях управління ланцюгом постачання. Наукова новизна полягає в: інтеграції логіки «AAA» з мікрофундаціями цифрових динамічних здібностей на рівні ланцюга постачання; формалізації індикаторної системи оцінювання DDC та механізмів узгодження між учасниками; побудові прогнозної математичної моделі результативності логістики, що поєднує індекс DDC з показниками адаптивності та узгодженості. Практичне значення результатів полягає у можливості застосування таблиць індикаторів і блок-схем для аудиту цифрової зрілості, проектування дорожньої карти трансформації та прогнозування змін логістичних KPI. Результати можуть бути використані для діагностики, бенчмаркінгу та оцінювання альтернатив трансформації ланцюгів постачання в умовах турбулентності.

Ключові слова: цифрові динамічні здібності; Індустрія 4.0; хмарні платформи; SaaS; цифровий двійник; процес-майнінг; адаптивність; узгодженість.

Mukha Taras, Postgraduate student, Department of management, Banking and Insurance, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Industry 4.0 in Logistics Process Management: a Model for Building Supply Chain Digital Dynamic Capabilities

Introduction. This paper examines how Industry 4.0 digital solutions, such as cloud computing, software as a service (SaaS) applications, process mining and digital twins, can be used to redesign logistics process management and improve supply chain performance from a capability-based perspective. The focus is on digital dynamic capabilities (DDCs), which are a set of routines that enable firms to identify process deviations, recognise improvement opportunities and reconfigure logistics processes within a digitally integrated supply chain.

Purpose. The aim is to develop and justify the DDC-AAA model, which operationalises the formation of DDCs and explains their effect on logistics adaptability and alignment, as well as on measurable results, including service level, lead time, cost efficiency, and sustainability-related KPIs. The study bridges the gap between the adoption of digital technology and capability-based performance improvement.

Results. The study proposes the following: (1) a conceptual DDC-AAA framework that links digital instruments (e.g. cloud platforms, software as a service modules, digital twin modelling and process mining) with the microfoundations of DDC; (2) an indicator system that measures DDC and AAA metrics across sensing, seizing and transforming routines; (3) an alignment matrix that maps coordination mechanisms onto governance levels and digital enablers at strategic, tactical and operational levels; and (4) a forecasting model that translates the DDC index, together with adaptability and alignment metrics, into the expected changes to key logistics KPIs under various scenarios. The results emphasise that the economic effect of digitalisation is not automatic; it depends on the maturity of governance routines, data quality, and inter-organisational agreements.

Conclusions. This research formalises the process by which service-modular digital solutions and cloud-based integration can be converted into dynamic capabilities that enhance adaptability and alignment in logistics. It also offers a practical roadmap for staged capability development and KPI-based monitoring. The proposed model can be used to diagnose, benchmark and evaluate transformation alternatives in supply chains operating under instability.

¹Стаття надійшла до редакції: 13.12.2025

Received: 13 December 2025

Keywords: digital dynamic capabilities; Industry 4.0; cloud platforms; SaaS; digital twin; process mining; adaptability; alignment.

JEL Classification: L87; M15; O33; C53.

Постановка проблеми. Сучасні ланцюги постачання функціонують у середовищі високої мінливості попиту, геополітичних ризиків, транспортних обмежень і посилення регуляторних вимог до стійкості та екологічної результативності. У таких умовах традиційні підходи до управління логістичними процесами, що орієнтуються на стабільні маршрути, фіксовані стандарти та локальну оптимізацію, демонструють обмежену здатність підтримувати цільові показники сервісу та витрат.

Переорієнтація на Індустрію 4.0 у логістиці означає перехід від дискретної автоматизації окремих функцій до системної цифрової інтеграції процесів планування, виконання та контролю у межах міжорганізаційних взаємодій. Емпіричні дослідження підтверджують, що цифровізація може одночасно підвищувати стійкість і формувати нові типи ризиків, зокрема через втрату або трансформацію критичних організаційних здібностей [1].

Управлінська проблема полягає у відсутності узгодженої науково-обґрунтованої моделі, яка пояснює: (а) як саме формуються цифрові динамічні здібності ланцюга постачання, а не окремої компанії; (б) якими є механізми впливу цих здібностей на адаптивність і узгодженість логістики; (в) як формалізувати цей вплив у вигляді індикаторів і прогнозних залежностей, придатних для прикладного використання.

Ключовим викликом є те, що цифрові рішення у логістиці розвиваються у форматі сервісної модульності та хмарної інфраструктури, що підтримує швидке масштабування та міжорганізаційну взаємодію. Концепція «хмарного ланцюга постачання» вказує на трансформацію логістики у модель «ланцюг постачання як сервіс» із платформною координацією та стандартизованими інтерфейсами [3]. Водночас вплив таких рішень на результати не є лінійним: він опосередковується здатністю учасників узгоджувати дані, правила, KPI та процедури змін, а також підтримувати адаптивну перебудову процесів під тиском невизначеності. Саме тому формування цифрових динамічних здібностей розглядається як центральна умова досягнення стійких логістичних результатів у парадигмі Індустрії 4.0.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Науковий дискурс щодо Індустрії 4.0 у логістиці протягом останніх років зосереджується на тому, як цифрова інтеграція змінює структуру ризиків і можливостей у ланцюгах постачання. Зокрема, у роботі П. Ралстона та Дж. Блекгерст показано, що технологічна модернізація може бути як драйвером посилення стійкості, так і джерелом «втрати здібностей», якщо організація замінює критичні

компетентності автоматизованими рішеннями без відповідних управлінських рутин [1].

Емпіричні результати у площині організаційної стійкості та результативності також підтверджують значущість цифрових технологій як факторів підвищення спроможності компаній витримувати збої. Дослідження Дж. Маркуччі та співавт. демонструє позитивний зв'язок між рівнем упровадження технологій Індустрії 4.0 та організаційною стійкістю і сприйнятою результативністю, водночас підкреслюючи роль комплементарності управлінських і технологічних компонентів [2].

У контексті міжорганізаційного управління особливий інтерес становить парадигма «хмарного ланцюга постачання», у якій координація логістики реалізується через цифрові платформи та стандартизовані сервісні модулі. Д. Іванов та співавт. концептуалізують «ланцюг постачання як сервіс», де підприємства отримують доступ до функцій планування, виконання, моніторингу та аналітики у вигляді хмарних сервісів, що знижує бар'єри входу та полегшує масштабування [3].

Питання того, як хмарні технології впливають на результативність, все частіше розглядається крізь призму механізмів управління й узгодження. Д. Ян та співавт. показують, що хмарні компетентності впливають на результативність через посередництво управління ланцюгом постачання (зокрема – через формалізацію правил взаємодії та контроль виконання) і що сила ефекту залежить від рівня ринкової невизначеності [4].

Окремий напрям сучасних досліджень – сервісізація цифрових рішень, коли управлінські функції логістики забезпечуються через моделі підписки. Т. Муха акцентує, що Software-as-a-Service рішення можуть прискорювати екологічну результативність операцій ланцюга постачання за рахунок швидкого тиражування практик, централізації даних та зниження транзакційних витрат на впровадження цифрових інструментів [5]. Т. Муха та Н. Попова додатково підкреслюють, що ефекти від SaaS у логістиці посилюються за умови проектного управління змінами та інтеграції цифрових сервісів у систему менеджменту сталого розвитку [6].

Для підтримки адаптивності логістики актуалізуються інструменти цифрового моделювання. Огляд Т. В. Ле та Р. Фана узагальнює сучасні підходи до цифрових двійників у логістиці та ланцюгах постачання, розглядаючи їх як засіб експериментування із конфігураціями мережі, планами транспортування, рівнями запасів і правилами обслуговування клієнтів без втручання у реальні потоки [7].

Зростає також увага до методів прозорості процесів, які дозволяють зменшити розрив між запроєктованими регламентами та фактичною поведінкою логістичних процесів. Ф. Олденбург, К. Хоберг та Х. Леопольд систематизують застосування процес-майнінгу в управлінні ланцюгами постачання і показують, що цей підхід формує основу для виявлення вузьких місць, контролю узгодженості між учасниками та підтримки циклів безперервного вдосконалення [8].

Концептуальна рамка адаптивності та узгодженості логістики в сучасній науці часто формулюється через логіку «AAA». Г. Лі у публікації про «новий AAA-ланцюг постачання» актуалізує необхідність переосмислення трьох здібностей: оперативності (agility), адаптивності (adaptability) і узгодженості (alignment), які мають забезпечити конкурентоспроможність у нестабільному середовищі [9]. А. Патрукко та А.-К. Кяхконен уточнюють роль цих здібностей для функцій закупівель та міжфункціональної координації в посткризовому періоді, наголошуючи на потребі одночасного розвитку швидких реакцій, структурної перебудови та узгодженого управління інтересами партнерів [10].

Разом із тим сучасні дослідження підкреслюють неоднозначність того, як саме слід «розгортати» AAA-здібності. Дж. А. Марін-Гарсія, Х. А. Д. Мачука та Р. Альфалья-Луке показують, що AAA можуть працювати як незалежні «важелі» конкурентної переваги, і пропонують порівняльну оцінку моделей, що має значення для побудови прикладних дорожніх карт [11]. Додатково систематичний огляд Е. Аль-Хумдан та співавт. щодо гнучкості/оперативності ланцюга постачання узагальнює ключові чинники та результати, формуючи базу для операціоналізації показників у прикладних моделях [12].

Окрема прогалина полягає у недостатній інтеграції підходів до цифрових здібностей і до системної цифровізації ланцюга. С. Чен та З. Тан показують, що цифрова здатність підприємства не завжди має прямий ефект на цифровізацію ланцюга постачання; суттєвою є роль «перекидних» коопераційних здібностей, які забезпечують дифузію цифрових практик і сумісність взаємодії між учасниками [13].

Узагальнення наведених джерел дозволяє виокремити наукову проблему: сучасна література фіксує значущість хмарних і сервісних рішень, цифрового моделювання та прозорості процесів, а також важливість AAA-логіки, однак відсутня цілісна модель, що: (1) розкриває формування цифрових динамічних здібностей саме на рівні ланцюга; (2) формалізує зв'язки між DDC, адаптивністю та узгодженістю логістики; (3) надає прогнозну математичну специфікацію впливу на KPI.

Формулювання цілей дослідження. Метою статті є обґрунтування моделі формування цифрових динамічних здібностей ланцюга постачання в умовах Індустрії 4.0 та формалізація механізмів їхнього впливу на адаптивність і узгодженість логістики та результати

діяльності. Для досягнення мети поставлено такі завдання: (1) систематизувати придатні для логістики цифрові інструменти Індустрії 4.0, зосереджені на хмарних платформах і сервісній модульності; (2) запропонувати концептуальну модель DDC-AAA та визначити мікрофундації цифрових динамічних здібностей на рівні ланцюга; (3) розробити індикаторну систему вимірювання DDC, адаптивності та узгодженості логістики; (4) подати матрицю механізмів узгодження між учасниками; (5) сформулювати прогнозну математичну модель оцінювання впливу DDC та AAA-метрик на логістичні KPI.

Виклад основного матеріалу дослідження. Цифрові динамічні здібності ланцюга постачання (DDC) у цьому дослідженні трактуються як міжорганізаційна метаздібність до цілеспрямованого оновлення логістичних конфігурацій на основі цифрових даних і модульних цифрових сервісів. На відміну від «цифрової здатності» окремого підприємства, DDC формуються через сукупність узгоджених рутин взаємодії між учасниками ланцюга, що забезпечують доступність, сумісність і керованість даних. Позиція про важливість «перекидних» коопераційних здібностей для поширення цифрових практик і цифровізації ланцюга підтверджується емпіричними результатами С. Чен та З. Тан [13].

З огляду на парадигму «ланцюг постачання як сервіс» [3], DDC доцільно описувати крізь три взаємопов'язані рутинні контури: (а) цифрове виявлення (digital sensing) – організація процедур спостереження за відхиленнями в логістичних потоках і умовах контрактів; (б) цифрове захоплення (digital seizing) – оперативне розгортання і конфігурація сервісних модулів для реалізації рішень; (в) цифрове перетворення (digital transforming) – перебудова мережі, запасів, потужностей і регламентів на основі циклів навчання та контролю.

Логіка «AAA» у логістиці (оперативність, адаптивність, узгодженість) задає прикладний «вектор» того, які результати мають забезпечувати DDC. Г. Лі вказує, що актуалізація AAA здібностей у сучасних умовах потребує переосмислення змісту кожної з них і переходу до більш екосистемного трактування узгодженості [9]. Своєю чергою, А. Патрукко та А.-К. Кяхконен підкреслюють, що AAA проявляються як міжфункціональні здібності, які інтегрують рішення закупівель, планування та логістики [10].

Для прикладного управління важливо врахувати, що AAA здібності не завжди мають послідовну ієрархію. Дослідження Дж. А. Марін-Гарсія та співавт. демонструє, що AAA можуть діяти як незалежні важелі підвищення конкурентної переваги, а вибір схеми розгортання має бути обґрунтований через оцінку предиктивної спроможності моделей [11]. Цей висновок є ключовим для нашого підходу, оскільки він дозволяє будувати модель, у якій DDC не

«підпорядковують» AAA, а забезпечують керованість і швидкість їхнього прояву залежно від контексту.

Відтак DDC-AAA модель у нашому трактуванні є системою взаємозв'язків, де: 1) цифрові динамічні здібності формуються через цифрову інфраструктуру (хмарні платформи, SaaS), процесну прозорість і інструменти цифрового моделювання; 2) ці здібності підвищують адаптивність (здатність змінювати конфігурацію мережі та політики виконання) і

узгодженість (здатність синхронізувати цілі, дані, KPI та стимули); 3) підсумковий ефект проявляється у покращенні логістичних результатів – сервісу, витрат, часу циклу і показників сталості (за наявності відповідних KPI) [4; 5; 6].

Для уточнення взаємозв'язків між цифровими передумовами, мікрофундаціями здібностей і логістичними результатами на рис. 1 подано узагальнену структурну модель DDC-AAA.



Рисунок 1 - Концептуальна модель DDC-AAA (формування цифрових динамічних здібностей та вплив на AAA-логістику і результати)

Джерело: розроблено автором

Отже, запропонована модель відображає, що цифрові інструменти не забезпечують результативність самі по собі, а лише через формування керованих рутин спостереження, рішення і перебудови, які переводять цифрові ресурси в AAA-здібності та вимірювані KPI. Практична реалізація парадигми Індустрії 4.0 у логістиці здійснюється через портфель цифрових рішень, що мають бути підібрані відповідно до логістичних процесів і цільових здібностей. У межах даного дослідження увагу зосереджено на хмарних платформах, сервісній модульності, цифровому моделюванні та інструментах прозорості процесів, оскільки вони безпосередньо підтримують міжорганізаційну координацію [3; 4].

З позиції сервісизації особливе значення має Software-as-a-Service як форма швидкого розгортання функцій управління логістикою. Дослідження доводять, що SaaS може виступати каталізатором сталості та результативності через спрощення інтеграції, зниження витрат на володіння та пришвидшення оновлень [5; 6].

У таблиці 1 систематизовано групи цифрових інструментів, їхню роль у формуванні цифрових

динамічних здібностей та очікуваний внесок в AAA-логістику і KPI.

Висновок за таблицею 1 полягає в тому, що ключові технологічні ефекти Індустрії 4.0 в логістиці реалізуються через поєднання сервісної модульності, прозорості процесів та цифрового моделювання. Саме ці групи інструментів створюють умови для формування DDC і, як наслідок, для керованого розвитку адаптивності та узгодженості логістики, що має бути відображено у системі KPI. Перехід від концептуальної моделі до практичного застосування потребує операціоналізації DDC – визначення вимірюваних індикаторів, які відображають наявність і зрілість відповідних рутин на рівні ланцюга. Враховуючи висновки щодо ролі коопераційних здібностей у цифровізації ланцюга [13], індикаторна система має фіксувати не лише внутрішні ресурси компаній, але й міжорганізаційні правила доступу до даних, узгодженість термінів, процесні інтерфейси та спільні процедури змін.

Таблиця 1 Інструменти цифровізації Індустрії 4.0 для управління логістичними процесами та механізми впливу на DDC і AAA

Група рішень	Прикладові модулі та функції	Вимоги до даних та інтеграції	Механізм формування DDC	Внесок в AAA	Типові KPI
SaaS-рішення для логістики	Модулі планування і диспетчеризації; управління складом і транспортом; контроль SLA	Єдині довідники; стандартизовані інтерфейси; контроль доступу	Виявлення: моніторинг відхилень. Захоплення: швидке підключення функцій. Перетворення: оновлення бізнес-правил [3; 5; 6]	Оперативність: прискорення реакції. Узгодженість: уніфікація правил SLA. Адаптивність: підтримка змін без великих витрат	OTIF/IF; рівень сервісу; частка виконання SLA; час обробки замовлення
Хмарна платформа даних	Сховище/«озеро» даних; каталог даних; контроль якості; журналювання подій	Моделі даних; правила якості; політики збереження	Виявлення: консолідація сигналів. Захоплення: прискорення аналітичних запитів. Перетворення: перебудова процесів [4]	Узгодженість: синхронізація даних. Адаптивність: швидке переорієнтування потоків. Оперативність: зменшення циклу рішення	Точність прогнозів; частота конфліктів даних; час підготовки звіту
Процес-майнінг	Відновлення фактичних маршрутів процесів; контроль відповідності регламентам; виявлення вузьких місць	Подієві журнали з ERP/WMS/TMS; єдині ідентифікатори кейсів; якісні часові мітки	Виявлення: ідентифікація відхилень. Захоплення: формування портфеля покращень. Перетворення: переведення покращень у стандарти [8]	Оперативність: скорочення циклів. Узгодженість: контроль дотримання правил. Адаптивність: дані для рішення про зміну процесу	Час циклу замовлення; частка повторних операцій; відхилення від стандарту
Цифрове моделювання та цифрові двійники	Симуляція логістичної мережі; тестування політик запасів; сценарії маршрутизації; оцінка стійкості планів	Моделі процесів; параметри потужностей і обмежень; історичні дані	Виявлення: відтворення причинно-наслідкових зв'язків. Захоплення: порівняння сценаріїв. Перетворення: перебудова конфігурації мережі [7]	Адаптивність: підтримка перебудови мережі. Узгодженість: спільне прийняття рішень. Оперативність: скорочення часу узгодження	Стабільність плану; вартість сценарію; рівень запасів; транспортні витрати
Кібербезпека та управління даними	Політики доступу; сегментація; резервування; управління інцидентами	Класифікація даних; правила обміну; аудит; управління ризиками	Виявлення: моніторинг інцидентів. Захоплення: зниження бар'єрів до обміну. Перетворення: стійке масштабування [1; 4]	Узгодженість: довіра між учасниками. Оперативність: зменшення простоїв. Адаптивність: швидке підключення нових учасників	Кількість інцидентів; час відновлення; відповідність політикам

Джерело: сформовано автором на основі узагальнення підходів [3; 4; 5; 6; 7; 8] та результатів щодо стійкості й ризиків цифровізації [1; 2]

У табл. 2 наведено авторську операціоналізацію DDC за трьома рутинами (виявлення – захоплення – перетворення) із деталізацією мікрофундацій, прикладів метрик та типових джерел даних. Таблиця

слугує основою для побудови композитного індексу DDC, який надалі використовується у прогнозній моделі.

Таблиця 2 **Операціоналізація цифрових динамічних здібностей ланцюга постачання (DDC) та індикаторна система вимірювання**

Компонент DDC	Теоретичний зміст	Мікрофундації на рівні ланцюга	Приклади індикаторів	Джерела даних	Вплив на AAA та KPI
Цифрове виявлення (sensing)	Систематичне розпізнавання змін у попиті, постачанні, обмеженнях потужностей на основі даних процесів	Єдині правила збору подій; каталог сигналів ризику; відповідальні за моніторинг; регулярні огляди	1) Частота моніторингових циклів; 2) Частка процесів із подієвими журналами; 3) Час виявлення відхилення; 4) Рівень якості даних	Логи ERP/WMS/TMS; панелі KPI; журнали інцидентів; звіти SLA	Підвищує оперативність та узгодженість; знижує втрати сервісу
Цифрове захоплення (seizing)	Перетворення сигналів на рішення шляхом швидкого розгортання цифрових сервісів і сценаріїв управління	Модульна архітектура сервісів; механізми конфігурації правил; портфель сценаріїв реагування	1) Час розгортання нового модуля; 2) Частота оновлення правил; 3) Час від рішення до запуску; 4) Частка процесів з автоматизованим контролем	Логи змін; релізи SaaS; дані про інциденти; SLA-метрики	Підвищує оперативність та адаптивність [5; 6]
Цифрове перетворення (transforming)	Постійна перебудова конфігурації логістичної мережі, запасів і потужностей на основі циклів навчання	Цифрове моделювання; бібліотека сценаріїв; механізми зміни параметрів; рольова модель ухвалення змін	1) Частота перегляду мережі/політик; 2) Кількість сценарних експериментів; 3) Частка змін із пост-оцінкою; 4) Час впровадження структурних змін	Моделі цифрового двійника; результати симуляцій; план-факт; проектна документація	Підвищує адаптивність; підтримує цільовий сервіс в умовах невизначеності [7]

Джерело: авторська розробка з урахуванням підходів: [3], [4], [5; 6], [7], [8], [9; 10; 11], [1; 2]

Висновок за таблицю 2: DDC набувають прикладного змісту лише тоді, коли їх можна вимірювати через конкретні індикатори процесної прозорості, швидкості розгортання сервісів, зрілості управління даними та здатності до перебудови мережі. Операціоналізація дозволяє сформувати індекс DDC і, відповідно, перейти від описового аналізу до прогнозування логістичних результатів. Перехід до сервісної модульності в логістиці потребує узгодженої архітектури, у якій операційні системи (склад, транспорт, замовлення) поєднані інтеграційним шаром, а дані акумулюються у хмарній платформі з визначеними правилами доступу, якості та безпеки. Саме цей «шар даних і управління» є технологічною

базою для формування DDC, оскільки забезпечує керованість цифрових сигналів і можливість швидко розгортати зміни [3; 4].

Сервісний підхід також має важливий аспект сталості: за умов централізованих оновлень і уніфікованих практик використання SaaS компанії отримують змогу швидше масштабувати екологічні та соціально відповідальні стандарти обліку, контролю і звітності у ланцюзі постачання [5; 6].

На рис. 2 представлено узагальнену архітектуру цифрового управління логістикою на основі хмарних платформ і SaaS, яка відображає взаємозв'язок технологічних шарів і шару узгодження (governance).



Рисунок 2 - Архітектура цифрового управління логістикою на основі хмарних платформ і SaaS

Джерело: розроблено автором на основі [3] та [4]

Отже, архітектура підкреслює центральність шару узгодження: без формалізованих правил даних, KPI та процедур змін хмарні й сервісні компоненти не можуть стабільно підтримувати міжорганізаційну координацію.

Узгодженість логістики (alignment) у межах AAA-логіки означає досягнення спільних цілей і взаємовигідного розподілу вигод/витрат між учасниками, а також синхронізацію KPI, правил обміну даними та процедур ухвалення змін. Концептуально alignment є противагою «локальній оптимізації», коли кожен учасник покращує власні показники на шкоду сукупному результату.

Сучасні дослідження підкреслюють, що AAA-логіка має проявлятися через конкретні управлінські механізми, а не декларації [9; 11]. Водночас хмарні технології посилюють роль управління: за наявності цифрових платформ необхідно узгоджувати доступ до даних, відповідальність, контроль і юридичні межі взаємодії [4].

У табл. 3 подано матрицю механізмів узгодження (alignment) для різних рівнів управління (операційного, тактичного, стратегічного) із прив'язкою до цифрових інструментів і очікуваних ефектів.

Таблиця 3 Матриця механізмів узгодження (alignment) логістики у цифрово-інтегрованому ланцюзі постачання

Рівень управління	Механізм узгодження	Зміст і теоретична функція	Цифрові інструменти	Ключові метрики	Ризики та запобіжники
Стратегічний	Спільна цільова модель сервісу та вартості	Формування спільного «профілю сервісу» та узгодження економічної логіки розподілу вигод/витрат [9]	Спільні панелі KPI; хмарна платформа даних; аналітичні звіти	Погоджені KPI; протокол узгодження; наявність спільної карти цінності	Ризик конфлікту інтересів; запобіжники: регламент переговорів, прозорі правила алокації витрат
Стратегічний	Угоди про дані та правила доступу	Визначення власників даних, прав доступу, правил використання та збереження даних [4]	Каталог даних; політики доступу; аудит логів; керування ролями	Частка даних із визначеним власником; кількість порушень доступу; час надання доступу партнеру	Ризик витоку/неправомірного використання; запобіжники: сегментація, журналювання, юридичні угоди
Тактичний	SLA/OLA та правила ескалації	Опис параметрів сервісу, відповідальності і процедур реагування на відхилення	SaaS-модулі контролю SLA; системи заявок; автоматизовані повідомлення	Рівень виконання SLA; середній час ескалації; кількість повторних порушень	Ризик «формального» SLA без виконання; запобіжники: штрафи/бонуси, щомісячний аналіз причин
Тактичний	Спільне планування та узгодження сценаріїв	Координація планів попиту/постачання, транспортних потужностей і запасів; підтримка адаптивності [7; 11]	Цифрове моделювання (цифровий двійник); хмарні дані; спільні календарі та протоколи рішень	Стабільність плану; кількість переглядів плану; час узгодження сценарію; точність виконання	Ризик невідповідних припущень; запобіжники: стандарт моделі, спільні параметри, пост-оцінка
Операційний	Єдині регламенти процесів та контроль відповідності	Уніфікація маршрутів процесів, правил обробки винятків і параметрів виконання [8]	Процес-майнінг; автоматизовані контрольні точки; RPA для транзакцій	Відхилення від еталонного процесу; час циклу; частка ручних втручань; рівень помилок	Ризик надмірної жорсткості; запобіжники: гнучкі правила винятків, періодичний перегляд
Операційний	Спільний контур безперервного вдосконалення	Цикл «виявлення–аналіз–зміна–контроль», у якому партнери погоджують зміни та оцінюють ефект [1; 2]	Процес-майнінг; база знань змін; контроль релізів SaaS; панелі ефекту до/після	Кількість ініціатив покращення; частка ініціатив із пост-оцінкою; час впровадження	Ризик опору змінам; запобіжники: пріоритизація, роль власника процесу, навчання персоналу

Джерело: авторська розробка з урахуванням AAA-логіки [9; 11], результатів щодо ролі управління у хмарному середовищі [4] та підходів до прозорості процесів [8] і цифрового моделювання [7].

Висновок за таблицею 3: узгодженість логістики у цифрово-інтегрованому ланцюзі є багаторівневою і має поєднувати стратегічні домовленості (цілі, дані, ризики) з тактичними інструментами (SLA, спільне планування) та операційними рутинами (контроль відповідності й цикли вдосконалення). Без такої

матриці alignment цифрові інструменти не формують стійкого ефекту на KPI. Управління логістикою в парадигмі Індустрії 4.0 доцільно трактувати як безперервний цикл: збір подій і фактів виконання, діагностика відхилень, генерування сценаріїв змін, узгодження між учасниками, впровадження через

сервісні модулі та контроль ефекту. Саме циклічність є механізмом перетворення цифрових ресурсів у цифрові динамічні здібності, оскільки формує «пам'ять» ланцюга та стандарти зміни.

Методи процес-майнінгу надають формальні інструменти відновлення фактичних траєкторій процесів і оцінювання відповідності регламентам, що робить їх придатними для функції цифрового виявлення [8]. Цифрове моделювання і цифрові двійники, своєю чергою, забезпечують швидке порівняння сценаріїв у контрольованому середовищі та є центральними для цифрового перетворення [7].

Сервісна модульність (SaaS) підтримує цифрове захоплення: рішення, сформоване у вигляді сценарію або нового правила, може бути реалізоване шляхом конфігурації сервісу, що прискорює вплив на процес і знижує витрати зміни [5; 6]. Водночас як показують дослідження, ефекти цифровізації не є гарантованими, тому цикл має містити процедури запобігання втраті критичних здібностей і підтримки безперервності [1; 2].

На рис. 3 подано алгоритм циклічного формування DDC, який може бути використаний як методична основа для налаштування контурів управління логістикою у ланцюзі постачання.



Рисунок 3 - Цикл формування цифрових динамічних здібностей: прозорість процесів – сценарії – узгодження – розгортання – контроль

Джерело: розроблено автором на основі підходів до процес-майнінгу [8] та цифрового моделювання [7] з урахуванням сервісної модульності [5; 6].

Отже, блок-схема демонструє, що DDC мають процесну природу: вони виникають як повторювані контури прийняття рішень і перебудови, а не як разові цифрові проекти. Це дозволяє відокремити «наявність технології» від «здатності системно використовувати технологію для адаптації та узгодження».

Побудова прогнозних залежностей є необхідною для переходу від якісних висновків до кількісного обґрунтування управлінських рішень. З урахуванням того, що ефект цифрових рішень опосередковується управлінськими механізмами [1; 2; 4], доцільно моделювати вплив DDC на результативність логістики

як прямий і непрямий (через адаптивність та узгодженість).

У табл. 4 наведено розрахунковий приклад оцінювання індексів DDC, AD та AL, а також сценарного

прогнозування інтегрального показника результативності логістики LP на один крок наперед на основі арифметичних обчислень (без подання формул у самій таблиці).

Таблиця 4 Прогнозна модель оцінювання та прогнозування результатів логістики на основі DDC та AAA-метрик

Елемент/показник	Вхідні дані (приклад)	Ваги/параметри	Проміжні розрахунки	Результат та інтерпретація
Індекс цифрових динамічних здібностей (DDC(t))	z_data=0,65; z_integ=0,55; z_sla=0,60; z_scen=0,60	w_data=0,25; w_integ=0,25; w_sla=0,25; w_scen=0,25	0,25·0,65=0,1625; 0,25·0,55=0,1375; 0,25·0,60=0,1500; 0,25·0,60=0,1500; Сума=0,6000	DDC(t)=0,60. Інтерпретація: середній рівень готовності ланцюга швидко виявляти, реалізовувати та трансформувати логістичні рішення
Індекс адаптивності логістики (AD(t))	z_net=0,50; z_inv=0,60; z_cap=0,55	w_net=0,40; w_inv=0,35; w_cap=0,25	0,40·0,50=0,2000; 0,35·0,60=0,2100; 0,25·0,55=0,1375; Сума=0,5475	AD(t)≈0,55. Інтерпретація: адаптивність помірною; доцільні інвестиції у швидкість перебудови мережі та гнучкість політик запасів
Індекс узгодженості (alignment) (AL(t))	z_kpi=0,55; z_data=0,50; z_sla=0,40	w_kpi=0,50; w_data=0,30; w_sla=0,20	0,50·0,55=0,2750; 0,30·0,50=0,1500; 0,20·0,40=0,0800; Сума=0,5050	AL(t)≈0,50. Інтерпретація: узгодженість недостатня; пріоритет – стандартизація даних, узгоджені KPI та дисципліна SLA/ескалації
Інтегральний показник результативності логістики (LP(t))	z_service=0,52; z_cost_raw=0,64; z_time_raw=0,74	w_service=0,40; w_cost=0,35; w_time=0,25; Перетворення: z_cost=1-z_cost_raw; z_time=1-z_time_raw	z_cost=1-0,64=0,36; z_time=1-0,74=0,26; 0,40·0,52=0,2080; 0,35·0,36=0,1260; 0,25·0,26=0,0650; Сума=0,3990	LP(t)≈0,40. Інтерпретація: результативність логістики на межі середнього рівня; покращення очікується через зростання DDC та підвищення AL
Прогноз LP(t+1) (базовий сценарій)	LP(t)=0,40; DDC(t)=0,60; AD(t)=0,55; AL(t)=0,50; DDC(t)·U(t)=0,42	ρ=0,55; β1=0,22; β2=0,18; β3=0,15; β4=0,10	0,55·0,40=0,2200; 0,22·0,60=0,1320; 0,18·0,55=0,0990; 0,15·0,50=0,0750; 0,10·0,42=0,0420; Сума=0,5680	LP(t+1)≈0,57. Висновок: навіть за помірної інерції KPI потенціал зростання забезпечується через DDC та підвищення узгодженості (AL)
Прогноз LP(t+1) (сценарії порівняння)	Обережний: ρ=0,65; β1=0,15; β2=0,12; β3=0,10; β4=0,06. Прискорений: ρ=0,45; β1=0,28; β2=0,22; β3=0,18; β4=0,12	Вхідні дані – як у рядку 5. α=0 (ілюстративно)	Обережний: Сума=0,4912. Прискорений: Сума=0,6094	Обережний: LP(t+1)≈0,49. Прискорений: LP(t+1)≈0,61. Інтерпретація: сценарії дають межі очікуваних результатів

Джерело: розрахунки автора (ілюстративний приклад) на основі узагальнення підходів до динамічних здібностей і цифрової інтеграції ланцюгів постачання [4; 9; 11].

Примітка: числові коефіцієнти сценаріїв наведено для демонстрації методики; у прикладних дослідженнях вони мають бути оцінені за даними конкретного ланцюга постачання.

Висновок за таблицю 4: формалізація індексів DDC, адаптивності та узгодженості дозволяє перейти до прогнозування результативності логістики та оцінювати очікуваний ефект від різних напрямів цифрових інвестицій. Важливим є включення інерційного параметра ρ і модератора невизначеності

U(t), оскільки це відображає реалістичну затримку впливу цифрових змін на KPI та залежність ефекту від контексту [4].

H4: адаптивність (AD) і узгодженість (AL) частково медіують вплив DDC на інтегральний показник результативності LP (табл. 4).

Сформульовані гіпотези можуть бути перевірені через комбінацію опитувальних шкал, аналізу цифрових логів і панельних даних KPI, а також через

порівняльні дослідження ланцюгів із різним рівнем сервісизації та хмарної інтеграції.

Висновки. У статті обґрунтовано, що управління логістичними процесами в умовах Індустрії 4.0 потребує переходу від фрагментарної цифровізації до формування цифрових динамічних здібностей ланцюга постачання. Показано, що такі здібності мають міжорганізаційну природу і формуються через узгоджені контури цифрового виявлення, цифрового захоплення та цифрового перетворення, які спираються на хмарну інфраструктуру, сервісну модульність, прозорість процесів і цифрове моделювання.

Запропоновано концептуальну модель DDC-AAA, яка пояснює механізми впливу цифрових динамічних здібностей на адаптивність і узгодженість логістики, а також на результати у вигляді KPI. Систематизовано інструменти цифровізації Індустрії 4.0 для логістик, розроблено індикаторну систему вимірювання DDC і матрицю механізмів alignment.

Сформульовано прогнозу математичну специфікацію впливу DDC та AAA-метрик на

інтегральний показник результативності логістики (табл. 4), що забезпечує можливість сценарного прогнозування та прикладного обґрунтування дорожньої карти цифрової трансформації. Підкреслено, що для отримання стійкого ефекту необхідно враховувати ризики цифрової залежності та запобігати «втраті здібностей» шляхом вбудовування контурів безперервного вдосконалення і планів безперервності.

Перспективи подальших досліджень полягають у: емпіричній перевірці запропонованих гіпотез на міжорганізаційних вибірках із використанням панельних даних KPI та цифрових логів; уточненні вагових коефіцієнтів індексу DDC шляхом багатокритеріальних методів і порівняльного аналізу галузей; розширенні прогнозу моделі за рахунок нелінійностей, часових лагів і стохастичних сценаріїв; розробленні прикладних методик інтеграції KPI сталості у контури узгодження та у функції цифрового моделювання, з урахуванням підходів до SaaS і сталого розвитку.

Література:

1. Ralston P., Blackhurst J. Industry 4.0 and resilience in the supply chain: a driver of capability enhancement or capability loss *International Journal of Production Research*. 2020. Vol. 58, № 16. P. 5006–5019. DOI: 10.1080/00207543.2020.1736724.
2. Marcucci J., Antomarioni S., Cimini C., Pirola F. The impact of Operations and IT-related Industry 4.0 key technologies on organizational resilience and perceived performance. *Production Planning & Control*. 2022. Vol. 33, № 15. P. 1417–1431. DOI: 10.1080/09537287.2021.1874702.
3. Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the "supply chain-as-a-service" paradigm. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2022. Vol. 160. 102676. DOI: 10.1016/j.tre.2022.102676.
4. Yang D., Lin F., Wang J., Wei H. Exploring the influence of cloud computing on supply chain performance: The mediating role of supply chain management and the moderating role of uncertainty. *Information*. 2025. Vol. 16, № 5. 373. DOI: 10.3390/info16050373.
5. Mukha T. The role of Software-as-a-Service solutions in advancing sustainability in supply chain operations. *Business Navigator*. 2025. № 81. P. 18–27. DOI: 10.32782/business-navigator.81-18.
6. Mukha T., Popova N. Fostering sustainable development through SaaS adoption in logistics management. *European Scientific Journal of Economic and Financial Innovation*. 2025. Vol. 17, № 3. P. 60–69. DOI: 10.32750/2025-0305.
7. Le T. V., Fan R. Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential, and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*. 2024. Vol. 187. 109768. DOI: 10.1016/j.cie.2023.109768.
8. Oldenburg F., Hoberg K., Leopold H. Process mining in supply chain management: state-of-the-art, use cases and research outlook. *International Journal of Production Research*. 2025. Vol. 63, № 8. P. 2889–2904. DOI: 10.1080/00207543.2024.2412285.
9. Lee H. The New AAA Supply Chain. *Management and Business Review*. 2021. Vol. 1, № 1. P. 173–176. DOI: 10.1177/2694105820210101026.
10. Patrucco A. S., Kähkönen A.-K. Agility, adaptability, and alignment: new capabilities for PSM in a post-pandemic world. *Journal of Purchasing and Supply Management*. 2021. Vol. 27, № 4. 100719. DOI: 10.1016/j.pursup.2021.100719.
11. Marin-Garcia J. A., Machuca J. A. D., Alfalla-Luque R. In search of a suitable way to deploy Triple-A capabilities through assessment of AAA models' competitive advantage predictive capacity. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2023. Vol. 53, № 7–8. P. 860–885. DOI: 10.1108/IJPDLM-03-2022-0091.
12. Al Humdan E., Shi Y., Behnia M. Supply chain agility: a systematic review of definitions, enablers and performance implications. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2020. Vol. 50, № 2. P. 287–312. DOI: 10.1108/IJPDLM-06-2019-0192.
13. Chen S., Tang Z. The Impact of Enterprise Digital Capability on Supply Chain Digitalization-From the Perspective of Supply Chain Cooperation. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. 2024. Vol. 19, № 4. 147. DOI: 10.3390/jtaer19040147.

References:

1. Ralston, P., & Blackhurst, J. (2020). Industry 4.0 and resilience in the supply chain: a driver of capability enhancement or capability loss? *International Journal of Production Research*, 58(16), 5006–5019. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1736724>.
2. Marcucci, J., Antomarioni, S., Cimini, C., & Pirola, F. (2022). The impact of Operations and IT-related Industry 4.0 key technologies on organizational resilience and perceived performance. *Production Planning & Control*, 33(15), 1417–1431. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1874702>.
3. Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2022). Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the "supply chain-as-a-service" paradigm. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 160, 102676. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102676>.
4. Yang, D., Lin, F., Wang, J., & Wei, H. (2025). Exploring the influence of cloud computing on supply chain performance: The mediating role of supply chain management and the moderating role of uncertainty. *Information*, 16(5), 373. <https://doi.org/10.3390/info16050373>.
5. Mukha, T. (2025). The role of Software-as-a-Service solutions in advancing sustainability in supply chain operations. *Business Navigator*, 81, 18–27. <https://doi.org/10.32782/business-navigator.81-18>.
6. Mukha, T., & Popova, N. (2025). Fostering sustainable development through SaaS adoption in logistics management. *European Scientific Journal of Economic and Financial Innovation*, 17(3), 60–69. <https://doi.org/10.32750/2025-0305>.
7. Le, T. V., & Fan, R. (2024). Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential, and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 187, 109768. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109768>.
8. Oldenburg, F., Hoberg, K., & Leopold, H. (2025). Process mining in supply chain management: state-of-the-art, use cases and research outlook. *International Journal of Production Research*, 63(8), 2889–2904. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2412285>.
9. Lee, H. (2021). The New AAA Supply Chain. *Management and Business Review*, 1(1), 173–176. <https://doi.org/10.1177/2694105820210101026>.
10. Patrucco, A. S., & Kähkönen, A.-K. (2021). Agility, adaptability, and alignment: new capabilities for PSM in a post-pandemic world. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 27(4), 100719. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2021.100719>.
11. Marin-Garcia, J. A., Machuca, J. A. D., & Alfalla-Luque, R. (2023). In search of a suitable way to deploy Triple-A capabilities through assessment of AAA models' competitive advantage predictive capacity. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 53(7–8), 860–885. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-03-2022-0091>.
12. Al Humdan, E., Shi, Y., & Behnia, M. (2020). Supply chain agility: a systematic review of definitions, enablers and performance implications. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 50(2), 287–312. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2019-0192>.
13. Chen, S., & Tang, Z. (2024). The Impact of Enterprise Digital Capability on Supply Chain Digitalization-From the Perspective of Supply Chain Cooperation. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 19(4), 147. <https://doi.org/10.3390/jtaer19040147>.



Ця робота ліцензована Creative Commons Attribution 4.0 International License