

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
ННІ «Каразінський інститут міжнародних відносин та туристичного бізнесу»
Кафедра міжнародних економічних відносин та логістики

Кваліфікаційна робота бакалавра

**на тему: «РОЗВИТОК ЛОГІСТИКИ 4.0 У ГЛОБАЛЬНІЙ
ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ»**

Виконав:
студентка 4 курсу групи УЛМ-41
спеціальності
«Міжнародні економічні відносини»
освітньої програми
«Міжнародна логістика і митна справа»
першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти



Білоус А.К.

Керівник:  к.е.н., доц. Гончаренко Н.І.

Рецензент:

Харків - 2025

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

ННІ «Каразінський інститут міжнародних відносин та туристичного бізнесу»
Кафедра міжнародних економічних відносин та логістики
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність «Міжнародні економічні відносини»
Освітня програма «Міжнародна логістика і митна справа»

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувачка кафедри
міжнародних економічних
відносин та логістики**

Зайцева А.С.

« ____ » _____ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Білоус Анні Костянтинівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розвиток логістики 4.0 у глобальній економічній системі»

керівник роботи к.е.н., доц. Гончаренко Н.І.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» лютого 2025 р. № 4001-5/302

2. Строк подання студентом роботи 15.05.2025 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

дослідити сутність поняття «Логістика 4.0»; охарактеризувати основні види сучасних інновацій у міжнародній логістиці; виокремити тенденції розвитку логістичних інновацій у глобальному середовищі; провести аналіз світового

ринку інноваційних технологій у логістиці; визначити проблеми і перспективи розвитку логістики 4.0 у глобальній економічній системі.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІСТИКИ 4.0 У ГЛОБАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ
2	ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИКИ 4.0 У ГЛОБАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ

5. Дата видачі завдання 01.12.2024

Студент _____  _____ Білоус А.К.

підпис

ініціали, прізвище

Керівник роботи _____  _____ Гончаренко Н.І.

підпис

ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Білоус А.К. Розвиток логістики 4.0 у глобальній економічній системі: кваліфікаційна робота бакалавра [Рукопис]. Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна 2025 – 75 с.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена дослідженню особливостей розвитку логістики 4.0 у глобальній економічній системі. Робота складається із вступу, двох розділів, висновків, містить 75 сторінок тексту, 18 рисунків, 1 таблицю. Список джерел містить 53 найменування літератури.

Перший розділ роботи присвячений дослідженню теоретичних основ розвитку логістики 4.0. У другому розділі проведено аналіз розвитку логістичних інновацій у глобальному середовищі, визначено проблеми і перспективи розвитку логістики 4.0 у глобальному середовищі.

Ключові слова: логістика 4.0, логістичні інновації, глобальна економічна система, цифрові інноваційні технології.

ABSTRACT

Bilous A.K. Development of logistics 4.0 in the global economic system: bachelor's thesis [Manuscript]. Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University, 2025 - 75 p.

The bachelor's thesis is devoted to the study of the peculiarities of the development of logistics 4.0 in the global economic system. The work consists of an introduction, two chapters, conclusions, contains 75 pages of text, 18 figures, 1 table. The bibliography includes 53 references.

The first section of the paper is devoted to the study of the theoretical foundations of the development of logistics 4.0. The second section analyses the development of logistics innovations in the global environment, identifies problems and prospects for the development of logistics 4.0 in the global environment.

Keywords: logistics 4.0, logistics innovations, global economic system, digital innovative technologies.

ЗМІСТ

Вступ	5
Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІСТИКИ 4.0 У ГЛОБАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ	8
1.1. Сутність поняття «Логістика 4.0» як наукова категорія	8
1.2. Основні види сучасних інновацій у міжнародній логістиці	17
Висновки до першого розділу	23
Розділ 2. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИКИ 4.0 У ГЛОБАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ	25
2.1. Характеристика розвитку логістичних інновацій у світовій економіці	25
2.2. Аналіз сучасного стану та напрямів розвитку інновацій у логістиці 4.0 на міжнародному рівні	35
2.3. Виклики та стратегічні орієнтири розвитку логістики 4.0 у глобальному середовищі	49
Висновки до другого розділу	65
Висновки	67
Список використаних джерел	70

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасній економіці знань значну роль відіграють інновації суб'єкта господарювання задля забезпечення конкурентної переваги як національному ринку, і міжнародному. До таких інновацій відносяться вдосконалення та трансформація бізнес-процесів підприємства, насамперед це стосується логістичних процесів, а також використання нових інструментів та методів та нових комбінацій їх поєднань. Інновації дозволяють набуту конкурентних переваг новатора і є стратегічним інструментом розвитку суб'єкта господарювання. Сьогодні в умовах високої конкуренції практично у всіх галузях економіки інноваційні процеси особливо затребувані.

Технології в логістиці постійно розвиваються, і в 2024 році ми можемо очікувати серйозних змін. За даними Research and Markets, у 2023 році ринок оцінювався в 9407,5 млрд дол. США, і до 2032 року він, швидше за все, зросте до 15978,2 млрд дол. США, що становить CAGR 6,4%. Від нових логістичних інновацій до зміни поведінки споживачів, ландшафт буде зовсім іншим, ніж сьогодні.

Сучасні очікування щодо швидкої та доступної доставки заохочують більше досліджень і розробок логістичних технологій і автоматизації.

Логістичні інновації представляють собою зміни та вдосконалення логістичних послуг від складування до виконання замовлення та доставки на останню милю. Інтернет речей (IoT) дозволяє відстежувати та контролювати товари та активи в режимі реального часу, щоб підвищити видимість і ефективність ланцюга поставок. AI забезпечує прогнозну аналітику, оптимізацію маршрутів і рішення для прогнозування попиту, знижуючи витрати та покращуючи процес прийняття рішень. Логістичні компанії також інтегрують роботизовані системи та інші системи автоматизації, щоб оптимізувати виконання робіт, складські операції та доставку «останньої милі».

Блокчейн ще більше покращує видимість, безпеку та відстежуваність, тоді як великі дані та аналітика пропонують доступ у реальному часі до логістичних операцій. Такі рішення зменшують рівень шахрайства, підвищують довіру зацікавлених сторін, а також оптимізують маршрути, рівні запасів і загальну ефективність ланцюжка поставок. Хмарні обчислення відіграють вирішальну роль у зниженні витрат на інформаційні технології для бізнесу, а також надаючи оперативні дані в режимі реального часу. Нарешті, автономні транспортні засоби автоматизують доставку «останньої милі», а еластична логістика забезпечує стійкість і гнучкість операцій.

Ступінь вивченні проблеми. Питання розвитку інноваційної логістики привертає увагу багатьох дослідників, які аналізують як теоретичні засади, так і практичні аспекти її впровадження у сучасних умовах глобалізації та цифровізації економіки. Серед науковців, що зробили вагомий внесок у формування науково-методичного підґрунтя інноваційної логістики, варто відзначити таких авторів, як Алесінська Т.В., яка досліджує питання цифрової трансформації логістичних процесів і впровадження новітніх технологій у транспортно-логістичні системи; Анікін Б.А., котрий акцентує увагу на стратегічному управлінні логістикою в умовах мінливої економіки; Гаджинський А.М., відомий своїми працями у сфері економіки логістики та оптимізації логістичних витрат.

Ельдештейн Ю.М. вивчає особливості функціонування логістичних ланцюгів за умов інноваційного розвитку підприємств, а також формування ефективної логістичної інфраструктури. Моїсєєва Н.К. приділяє увагу проблемам інтеграції логістичних систем з інформаційними технологіями, а Уваров С.А. аналізує інноваційні підходи до управління матеріальними потоками на макро- та мікрорівнях.

Крім того, низка сучасних вітчизняних та зарубіжних науковців активно досліджують перспективи застосування штучного інтелекту, інтернету речей (IoT), блокчейн-технологій, цифрового моделювання та великих даних (Big

Data) у логістичних процесах, що створює передумови для формування нової парадигми логістики — інноваційної, адаптивної, стійкої до змін.

Метою дослідження є визначення особливостей розвитку логістики 4.0 у глобальній економічній системі.

Завдання дослідження:

- дослідити сутність поняття «Логістика 4.0»;
- охарактеризувати основні види сучасних інновацій у міжнародній логістиці;
- виокремити тенденції розвитку логістичних інновацій у глобальному середовищі;
- провести аналіз світового ринку інноваційних технологій у логістиці;
- визначити проблеми і перспективи розвитку логістики 4.0 у глобальній економічній системі.

Об’єктом дослідження є процес розвитку логістики 4.0 у глобальній економічній системі.

Предмет дослідження – особливості і перспективи розвитку логістики 4.0 у глобальній економічній системі.

Методологія дослідження. У процесі проведення дослідження було застосовано низку загальнонаукових підходів до пізнання. Зокрема, використано системно-логічний метод для уточнення понятійного апарату, пов’язаного з інноваційною логістикою. Метод аналізу та синтезу дав змогу виявити ключові тенденції, характерні риси та напрями розвитку цієї сфери. Статистичні методи використовувалися для оцінки поточного стану, визначення динаміки змін та формування прогнозів щодо зростання ролі інноваційної логістики в глобальній економіці.

Інформаційну основу дослідження становили офіційні ресурси європейських інституцій, зокрема Європейської комісії, Європейської ради та Європарламенту; аналітичні та статистичні матеріали міжнародних організацій, таких як Світовий банк; дані зі спеціалізованих статистичних

порталів (зокрема ОЕС); а також наукові публікації українських і зарубіжних фахівців у сфері логістики та сталого розвитку.

Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, містить 75 сторінок тексту, 18 рисунків, 1 таблицю. Список джерел містить 53 найменування літератури.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІСТИКИ 4.0 У ГЛОБАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ

1.1. Сутність поняття «Логістика 4.0» як наукова категорія

Технології трансформують логістичні системи та процеси, забезпечуючи більшу ефективність і автоматизацію логістичних операцій. В інноваційному складському господарстві технології суттєво впливають на логістичну галузь, оскільки «розумні» склади допомагають економити час, забезпечують безпомилкову роботу та є економічно вигідними. Використання сучасних технологій у логістичному секторі також сприяє сталому вирішенню екологічних питань. Завдяки стрімкому розвитку інформаційних технологій відкрився динамічний світ сучасної логістики, яка базується на новітніх ІТ-рішеннях.

Багато постачальників логістичних послуг вже інтегрували сучасні інформаційні технології у свою діяльність, а ті, хто ще цього не зробив, лише планують інтеграцію ІТ. Відсутність участі у цифровій трансформації призводить до втрати конкурентоспроможності та фінансових можливостей. Основна роль сучасних інформаційних технологій у сфері логістичних операцій полягає в аналізі рівня впливу ІТ, правильного їх використання та потенціалу для логістичних компаній. Вони дозволяють компаніям ефективно керувати своєю діяльністю та підвищувати продуктивність.

Сучасна логістична галузь активно розвивається завдяки впровадженню ІТ для покращення продуктивності та конкурентоспроможності. Ключовими досягненнями є використання ІТ та її можливостей для впровадження нових логістичних послуг [8]. Унаслідок технологічних зрушень у глобальній виробничій системі, зумовлених революцією Індустрії 4.0, постала необхідність створення нового виміру логістики на основі інформаційних технологій, що сприяє підвищенню ефективності й своєчасності реагування.

Багато розвинених країн уже впровадили сучасні ІТ у логістиці, однак досі стикаються з проблемами через відсутність належного застосування та наукових досліджень. Основними викликами та трендами у впровадженні інформаційних технологій у логістиці 4.0 є відсутність спільних нормативно-методичних основ, особливо в країнах, що розвиваються. Впровадження ІТ та концепцій Індустрії 4.0 у логістиці може принести значні вигоди. Такі сучасні логістичні технології, як блокчейн, Інтернет речей (IoT) та великі дані (Big Data), покращують ефективність логістики на глобальному рівні, але стикаються з труднощами впровадження через відсутність єдиної рамкової інфраструктури [10].

Інтегровані мережі забезпечують такі переваги, як зменшення витрат і підвищення задоволеності клієнтів. Однак є й недоліки, наприклад, високі початкові витрати на впровадження та ризики технологічних помилок [12]. Технологічні чинники є необхідними для покращення та оптимізації логістичних процесів. До таких технологій належать IoT, Big Data, хмарні обчислення та штучний інтелект. Вони також сприяють досягненню роботи з даними в режимі реального часу. Мережі 5G здатні задовольнити ці вимоги в логістичному секторі, що відкриває шлях до інтелектуальної логістики на зміну традиційній.

Логістика на основі фізичного інтернету (PI-based logistics) забезпечує можливість моніторингу та управління даними, характеристиками продукції, фінансовими потоками та відстеженням товарів. Така логістика також сприяє збору та використанню даних. Технологія блокчейн підвищує якість обслуговування клієнтів і забезпечує прозорість обігу продукції.

Найбільш поширеною системою збору інформації у виробничому процесі є ручне відстеження структури продукту працівниками за допомогою паперових носіїв [8]. З впровадженням логістики 4.0 очікується, що ефективність розподілу деталей працівниками буде максимізована, а ймовірність помилок зменшиться завдяки використанню технологічних засобів замість паперу. Метою інструментів логістики 4.0 є не лише заміна

людей у виконанні певних завдань, а й уникнення людських помилок, прискорення процесів, у яких інформація може легко передаватися та бути доступною в режимі реального часу в межах логістики 4.0. У [5] було розглянуто парадигму "Логістичний оператор 4.0", яка описує взаємозв'язки між машиною та оператором, що виникли внаслідок впровадження логістики 4.0. У [16] було проведено SWOT-аналіз (сильні та слабкі сторони, можливості й загрози), визначено рівні застосування та перспективи підприємств, що надають логістичні послуги, щодо логістики 4.0. У [17] було виявлено переваги логістики 4.0, а також перешкоди, з якими стикаються при її практичному впровадженні, шляхом аналізу наукової літератури. У [18] оцінювали якісні дані, зібрані від 12 логістичних експертів автомобільної промисловості Болгарії, та повідомляли, що прозорість виробництва та блокчейн-технології мають велику цінність для логістики. У [19] було переосмислено управління запасами з точки зору логістики 4.0, запропоновано відповідну методологію. У [20] було повідомлено про зростання продуктивності та ефективності, забезпечене штучним інтелектом у логістичних операціях сервісних компаній. У [21] зазначено, що логістичні витрати можуть бути оптимізовані шляхом моделювання використання автоматизованих керованих транспортних засобів (AGVs), які є однією з технологій Індустрії 4.0 для внутрішньої логістики.

Метою попереднього огляду досліджень було вивчення наукової літератури щодо сучасних досліджень, які аналізують вплив логістики. Для наукової спільноти є показовим той факт, що прикладні дослідження проводяться нечасто, незважаючи на зростаючу кількість публікацій, присвячених тематиці логістики 4.0.

Під час аналізу літератури з логістики 4.0 виявляється, що теоретичні дослідження становлять більшість. У [9] проаналізовано логістичні процеси за допомогою моделювання в контексті логістики 4.0 та надано відповідні рекомендації. У [10] запропоновано теоретичну основу для оцінки викликів і потенціалу управління ланцюгами постачання в умовах Індустрії 4.0. У [11]

висунуто припущення щодо майбутнього розвитку логістики шляхом визначення шести основних характеристик логістики у відповідній монографії. У [12] було розглянуто концепцію «Supply 4.0» у рамках Індустрії 4.0 та досліджено вплив технологій на ланцюг постачання за допомогою емпіричного підходу. Гофманн і [7] у концептуальному дослідженні проаналізували вплив Індустрії 4.0 на логістичні процеси. У [4] на основі теоретичного дослідження зазначено, що успіх логістики 4.0 буде досягнуто завдяки впровадженню Інтернету речей (IoT), що виник із розвитком Індустрії 4.0. У [13] наголошено на важливості застосування технологій великих даних та IoT у логістичній галузі. У [14] визначено основні риси логістики 4.0, які виникли в результаті впливу Індустрії 4.0, та обговорено її потенційний вплив. У [15] було систематично проаналізовано передові технології.

У сучасних умовах глобалізації та цифрової трансформації економіки логістика зазнає суттєвих змін, що зумовлює необхідність переосмислення її концептуальних основ. Однією з ключових тенденцій є поява та розвиток концепції «Логістика 4.0», яка відображає інтеграцію передових цифрових технологій у логістичні процеси та системи. Ця концепція виникла як відповідь на виклики четвертої промислової революції (Індустрія 4.0) і стала невід'ємною частиною сучасного логістичного дискурсу.

Історичний розвиток логістики можна умовно поділити на кілька етапів, кожен з яких характеризується певними технологічними та організаційними особливостями. Початкові форми логістики (Логістика 1.0) були орієнтовані на механізацію та оптимізацію фізичних потоків товарів. Згодом, з розвитком інформаційних технологій, виникла Логістика 2.0, яка передбачала автоматизацію обробки даних та управління ланцюгами постачання. Наступний етап, Логістика 3.0, акцентував увагу на гнучкості та адаптивності логістичних систем, інтегруючи елементи електронної комерції та глобалізації. Сьогодні ми спостерігаємо формування Логістики 4.0, яка базується на цифрових технологіях, таких як Інтернет речей (IoT), штучний

інтелект (AI), великі дані (Big Data), блокчейн та кіберфізичні системи (CPS)
 .Электронный архив КНУТДВикипедия

Логістика 4.0 — це концепція, що відображає інтеграцію сучасних цифрових технологій у логістичні процеси з метою підвищення ефективності, прозорості та адаптивності ланцюгів постачання. Вона передбачає створення інтелектуальних, взаємопов'язаних систем, здатних до самостійного прийняття рішень, адаптації до змін середовища та оптимізації ресурсів. Ключовими характеристиками Логістики 4.0 є:

- Цифровізація процесів: використання цифрових технологій для автоматизації та оптимізації логістичних операцій.
- Інтеграція IoT: застосування Інтернету речей для забезпечення взаємозв'язку між об'єктами логістичної системи.
- Аналітика великих даних: використання Big Data для прогнозування попиту, оптимізації маршрутів та управління запасами.
- Використання AI: застосування штучного інтелекту для прийняття рішень та адаптації до змінних умов.
- Кіберфізичні системи: інтеграція фізичних об'єктів з цифровими системами для забезпечення автономності та гнучкості логістичних процесів.

Як наукова категорія, Логістика 4.0 є міждисциплінарним поняттям, що поєднує елементи логістики, інформаційних технологій, інженерії та управління. Вона виступає як теоретична основа для дослідження та розробки нових моделей логістичних систем, що відповідають вимогам цифрової економіки. Наукове вивчення Логістики 4.0 сприяє формуванню нових підходів до управління ланцюгами постачання, розробці інноваційних технологій та методів оптимізації логістичних процесів.

У практичному вимірі Логістика 4.0 забезпечує підвищення ефективності логістичних операцій, зниження витрат, покращення якості обслуговування клієнтів та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Застосування цифрових технологій дозволяє компаніям швидко адаптуватися до змін ринку, забезпечувати прозорість ланцюгів постачання та приймати обґрунтовані рішення на основі аналізу даних.

Попри значні переваги, впровадження Логістики 4.0 супроводжується низкою викликів, серед яких:

- Інвестиційні витрати: високі початкові витрати на впровадження цифрових технологій.
- Кваліфікація персоналу: необхідність підготовки фахівців з відповідними компетенціями.
- Безпека даних: забезпечення кібербезпеки та захисту конфіденційної інформації.
- Інтеграція систем: складність інтеграції нових технологій з існуючими логістичними системами.

Перспективи розвитку Логістики 4.0 пов'язані з подальшим удосконаленням цифрових технологій, розвитком штучного інтелекту, впровадженням блокчейн-технологій для забезпечення прозорості та безпеки ланцюгів постачання, а також зростанням значення сталого розвитку та екологічної відповідальності у логістичних процесах.

Логістика 4.0 є сучасною концепцією, що відображає інтеграцію цифрових технологій у логістичні процеси з метою підвищення їх ефективності, гнучкості та адаптивності. Як наукова категорія, вона сприяє розвитку нових теоретичних підходів та практичних рішень у сфері логістики, відповідаючи на виклики цифрової економіки. Подальше дослідження та впровадження Логістики 4.0 є важливим кроком на шляху до створення інноваційних, стійких та конкурентоспроможних логістичних систем.

Попри те, що проблеми у внутрішньологістичних системах часто все ще можна вирішити за допомогою класичних підходів, це може бути менш витратним завдяки впровадженню технологій логістики 4.0. Нами проведено аналіз на прикладі реального випадку з метою кращого розуміння практик

внутрішньої логістики переміщення матеріалів від постачальника для підвищення загальної продуктивності та якості. У даному кейсі в майбутньому стані застосовувалася технологія PbS, що належить до логістики 4.0. У процесі внутрішньої логістики товари, вказані в замовленні, надходять від постачальника на склад, а потім розподіляються по місцях зберігання відповідно до даних, які заздалегідь завантажуються в мобільний сканер. Однією з найважливіших переваг системи PbS є те, що деталі, що надходять від постачальника, розміщуються на відповідній складській адресі згідно з інформацією, яку працівник отримує через мобільний сканер, прикріплений до пояса, що усуває необхідність прийняття рішення оператором. Іншою перевагою є автоматичне оновлення даних у центральній програмі SAP R/3 через автоматичне збільшення кількості одиниць на складі. Завдяки цій перевазі очікується, що використання PbS зменшить витрати на працю, простір та використання навантажувачів у внутрішній логістиці. Майбутній стан і продуктивність системи PbS від постачальника до виробничої лінії показано умовними позначками на рис. 1.1.

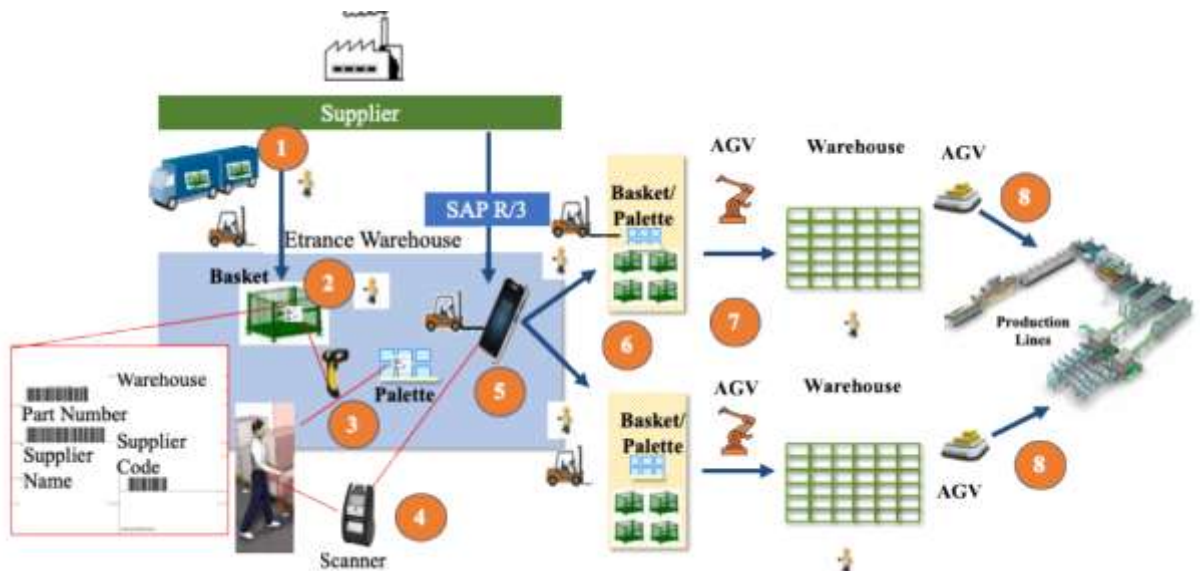


Рис. 1.1. Майбутній стан і продуктивність системи PbS від постачальника до виробничої лінії [15]

Згідно з рис. 1.1, після впровадження технологій логістики 4.0, таких як PbS, матеріали, що надходять від постачальника вантажівкою, розвантажуються на вхідному складі в кошиках, які були попередньо марковані на стороні постачальника. Оператор зчитує етикетку кошика за допомогою ручного сканера штрихкодів. Дані про матеріал передаються на мобільний сканер, закріплений на поясі оператора. Мобільний сканер передає дані на планшет оператора навантажувача. Оператор навантажувача транспортує матеріали до автоматизованих керованих транспортних засобів (AGV). На етапі виробництва AGV доставляють завантажений матеріал на виробничу лінію. Матеріал, що надходить від постачальника для виробництва, розміщується у найбільш відповідній зоні за допомогою AGV, які керуються технологією RFID. Важливою відмінністю між поточним і майбутнім станом є те, що інвестиції в інформаційні технології у майбутньому призводять до зростання витрат. Навіть попри високий обсяг інвестицій в ІТ, було зафіксовано досягнення економії за рахунок скорочення чисельності робочої сили, зменшення площі використовуваних приміщень, зменшення кількості користувачів SAP R/3, скорочення кількості навантажувачів і, відповідно, кількості операторів навантажувачів.

1.2. Основні види сучасних інновацій у міжнародній логістиці

Застосування сучасних технологій є необхідним для сталого розвитку у логістичному секторі. Існують докази того, що сучасні технології сприяють досягненню сталості в логістиці. Інформаційні технології допомагають сформувати процеси сталого розвитку та бізнес-модель для компаній, що надають логістичні послуги.

Сучасні технології сприяють покращенню обробки вантажів і операційних процесів завдяки системам ідентифікації та технологіям комплектування замовлень. Сучасний логістичний сектор тісно пов'язаний з

інформаційними технологіями та системами передачі даних. На конкурентному ринку логістика та ланцюги постачання стикаються з проблемами задоволення потреб клієнтів. Такі проблеми можливо вирішити лише завдяки використанню технологічних рішень і підвищенню якості послуг [11].

Згідно з дослідженнями, ринок логістики у 2024 році становив \$9407,5 мільярда. Очікується, що до 2032 року він зросте до \$15978,2 мільярда із середньорічним темпом зростання (CAGR) у 6,45%. Технологічні інновації в логістичному секторі змінюють поведінку споживачів [37]. Використання автоматизації, штучного інтелекту, блокчейну та Інтернету речей (IoT) свідчить про застосування передових технологій операторами логістичних послуг. Основна мета впровадження цих технологій — оптимізувати процеси, підвищити ефективність і задоволення клієнтів [18].

У логістиці товари транспортуються, зберігаються та управляються за допомогою технологій. Системи автоматизації виконують сортування, пакування, завантаження та розвантаження [19]. Основні технологічні напрямки, такі як великі дані (Big Data), хмарні обчислення, мережеві рішення, бізнес-аналітика, IoT та апаратне забезпечення, є ключовими компонентами Логістики 4.0. Подальший розвиток технологій означає розвиток логістичного сектору. Розвинені країни розумно впроваджують ці технології у свої логістичні системи.

Логістика 4.0 за підтримки інформаційних технологій орієнтована на забезпечення сталості процесів та формування ефективної бізнес-моделі для логістичного сектору. Інформаційні технології підкреслюють переваги для логістичних компаній, зокрема енергоефективність і зменшення кількості помилок. Роль технологій у логістичному секторі — забезпечити безперебійність логістичних процесів.

У сучасну епоху технології трансформували логістику 1.0 у логістику 4.0. Логістика 4.0 має на меті досягнення максимальної ефективності в логістичних процесах. Вона впливає на різні сектори. Лише логістика 4.0

здатна підвищити якість обслуговування завдяки впровадженню технологій [17]. Нові технології забезпечують економічну ефективність, екологічну результативність та соціальний вплив на логістичну галузь. Технології — це новий ландшафт сталої логістики. Вони допомагають забезпечити безперебійну роботу в логістиці.

Однією з найсучасніших технологій є автоматизація. Автоматизація здатна підвищити ефективність внутрішніх транспортних, передавальних і складських процесів. Це є важливою складовою автоматизації в логістичному секторі, що допомагає покращити ефективність, рівень обслуговування та конкурентоспроможність [21].

Інтелектуальний склад у сфері логістики відіграє ключову роль. Цифровізація внутрішньої логістики складу змінює ролі та завдання працівників, які виконують операції вручну. Роботу складу можна покращити завдяки сучасній науково-технічній системі.

У XXI столітті цифрові технології є нагальною потребою в логістиці. Технології сприяють розвитку логістичного сектору. Покращення логістики допомагає розвитку цифрової економіки. Розвиток теорії та методології трансформації логістики в сучасних умовах допомагає ідентифікувати бізнес-активність у сфері логістики [25].

Технологічні умови, можливості та виклики логістичного процесу залежать від постачальника послуг. Основна мета логістичних постачальників послуг повинна полягати у забезпеченні надійності та якості [27]. Належна якість, кількість, час, місце, умови, відповідний товар і ціна — це принципи 7R логістичного сектору. Щоб реалізувати ці 7R, немає альтернативи застосуванню сучасних технологій. Без сучасних технологій надзвичайно важко конкурувати на ринку.

Логістика є центральною опорою ланцюга створення цінності для промисловості. Застосування передових технологій, аналітика ланцюга постачання, управління порушеннями, адаптація до навколишнього

середовища та зміни клімату — це ключові чинники для виділення логістичного сектору.

Логістичний сектор розвинувся завдяки технологічному прогресу, зокрема завдяки таким інноваціям, як штучний інтелект (AI), машинне навчання (ML), інтелектуальні склади, робототехніка, кіберфізичні системи, великі дані, цифрові інструменти для закупівель тощо. Сьогодні логістика активно впроваджує системи управління складом (WMS) та програмовані логічні контролери (PLC) через протокол OPC UA для підвищення якості обслуговування.

Завдяки цифровій трансформації логістичний сектор значно покращив свою ефективність, гнучкість та рівень взаємозв'язку — ці чинники стали рушіями автоматизації галузі, обміну даними та інтеграції Інтернету речей (IoT).

У сучасних умовах трансформації економіки та впровадження концепції Індустрії 4.0 логістика переживає фундаментальні зміни, що зумовлені розвитком цифрових технологій, автоматизацією процесів, необхідністю підвищення ефективності та забезпечення сталого розвитку. Концепція Логістики 4.0 (Logistics 4.0) виникла як відповідь на виклики цифрової епохи та стала інтегрованою частиною Четвертої промислової революції. Вона охоплює широке коло інновацій, які трансформують традиційні логістичні процеси у динамічні, взаємозв'язані та інтелектуальні системи. Ці інновації забезпечують підвищення рівня автоматизації, гнучкості, прозорості та адаптивності логістичних систем до змін ринкового середовища.

Однією з ключових особливостей логістики 4.0 є використання Інтернету речей (IoT), що дозволяє об'єднати фізичні об'єкти з цифровими системами через датчики, ідентифікатори, комунікаційні пристрої та програмне забезпечення. У логістиці це означає, що транспортні засоби, складське обладнання, контейнери, вантажі можуть бути підключені до єдиної цифрової мережі, що забезпечує безперервний моніторинг та контроль над переміщенням товарів у реальному часі. Завдяки цьому досягається

точніше планування маршрутів, зниження витрат, зменшення кількості помилок і підвищення безпеки поставок.

Наступною критично важливою технологією є штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML), які відіграють вирішальну роль у прогнозуванні попиту, оптимізації запасів, плануванні поставок, управлінні ланцюгами постачання. Завдяки здатності AI-алгоритмів аналізувати великі обсяги даних та виявляти закономірності, компанії отримують можливість приймати обґрунтовані рішення в режимі реального часу. Наприклад, AI дозволяє передбачити затримки на маршрутах через погодні умови або затори, запропонувати альтернативні рішення та запобігти зриву термінів поставки.

Робототехніка є ще одним стратегічним напрямом логістичних інновацій. Впровадження автономних мобільних роботів (AMR), автоматичних керованих транспортних засобів (AGV), роботів-маніпуляторів на складах дозволяє значно зменшити потребу у ручній праці, підвищити точність обробки вантажів, скоротити час на комплектування замовлень. Роботи виконують функції сортування, пакування, переміщення товарів без участі людини, що забезпечує високий рівень продуктивності та безпеки.

Технології блокчейн у логістиці забезпечують прозорість і надійність обміну інформацією між учасниками ланцюгів постачання. Завдяки децентралізованій природі блокчейну, кожен етап логістичної операції може бути задокументований, верифікований і захищений від змін. Це особливо актуально для контролю якості, сертифікації продукції, перевірки походження товарів, запобігання підробкам та шахрайству. Блокчейн також полегшує ведення розрахунків між контрагентами шляхом використання смарт-контрактів, які автоматично виконують умови угоди при настанні певних подій.

Великі дані (Big Data) та аналітика є невід'ємною частиною логістики 4.0. Вони дозволяють обробляти масиви даних із різних джерел: GPS, RFID, сенсори, ERP-системи, CRM-системи. Аналітичні платформи дозволяють створювати точні прогнози попиту, виявляти вузькі місця в логістичних

ланцюгах, оптимізувати використання ресурсів. Застосування Big Data в логістиці дає можливість перейти від реактивного управління до проактивного, заснованого на передбаченні подій.

Хмарні технології (Cloud Computing) забезпечують гнучкий доступ до логістичних систем і додатків з будь-якого пристрою в будь-який час. Це спрощує інтеграцію між партнерами, дозволяє об'єднувати інформаційні потоки, знижує витрати на IT-інфраструктуру та забезпечує масштабованість рішень. Хмарні платформи дозволяють компаніям швидко реагувати на зміни, здійснювати централізоване управління, а також забезпечувати кібербезпеку даних.

Інтелектуальні склади (smart warehouses) є проявом інтеграції вищезазначених технологій у внутрішньологістичні процеси. Вони оснащені автоматизованими системами зберігання та відбору товарів, інтелектуальними стелажми, конвеєрами, які координуються за допомогою IoT, AI та WMS (Warehouse Management Systems). У таких складах знижуються операційні витрати, зменшується кількість помилок при обробці замовлень, а час циклу доставки суттєво скорочується.

Цифрові двійники (Digital Twins) у логістиці є ще одним перспективним напрямом. Вони створюють віртуальні копії фізичних об'єктів чи процесів (склад, вантажівка, логістичний центр) і дозволяють моделювати, аналізувати та оптимізувати логістичні сценарії без фізичних втручань. Наприклад, компанія може змодельовати відкриття нового складу чи зміну маршруту доставки, передбачивши потенційні ризики та економічний ефект.

Автоматизовані системи управління транспортом (TMS) є важливою складовою логістики 4.0. Вони дозволяють оптимізувати маршрути доставки, контролювати витрати пального, моніторити технічний стан транспорту, забезпечувати дотримання розкладу поставок. У поєднанні з GPS-навігацією та телематикою TMS формують базу для створення інтелектуального управління флотом [19].

5G технології відкривають нові горизонти для логістики завдяки надшвидкому обміну даними, низькій затримці сигналу та можливості обробки інформації в режимі реального часу. Вони особливо важливі для автономного транспорту, інтернету речей, роботизованих систем, які потребують надійного зв'язку з низькою латентністю.

Таким чином, логістика 4.0 є багатовимірною концепцією, що поєднує низку інноваційних технологій, які трансформують традиційні підходи до управління матеріальними потоками. Впровадження таких технологій вимагає значних інвестицій, кадрової підготовки, зміни організаційної культури, проте надає потужні конкурентні переваги: зменшення витрат, підвищення точності, швидкості, прозорості, а також відповідність вимогам сталого розвитку. Успішна реалізація логістики 4.0 є запорукою ефективного функціонування ланцюгів постачання в умовах цифрової економіки та глобальних викликів XXI ст.

Висновки до першого розділу

1. У сучасних умовах трансформації економіки та впровадження концепції Індустрії 4.0 логістика переживає фундаментальні зміни, що зумовлені розвитком цифрових технологій, автоматизацією процесів, необхідністю підвищення ефективності та забезпечення сталого розвитку. Концепція Логістики 4.0 (Logistics 4.0) виникла як відповідь на виклики цифрової епохи та стала інтегрованою частиною Четвертої промислової революції. Вона охоплює широке коло інновацій, які трансформують традиційні логістичні процеси у динамічні, взаємозв'язані та інтелектуальні системи. Ці інновації забезпечують підвищення рівня автоматизації, гнучкості, прозорості та адаптивності логістичних систем до змін ринкового середовища.

2. Згідно з дослідженнями, ринок логістики у 2024 році становив \$9407,5 мільярда. Очікується, що до 2032 року він зросте до \$15978,2 мільярда із середньорічним темпом зростання (CAGR) у 6,45%. Технологічні інновації в логістичному секторі змінюють поведінку споживачів (Spector, 2024). Використання автоматизації, штучного інтелекту, блокчейну та Інтернету речей (IoT) свідчить про застосування передових технологій операторами логістичних послуг. Основна мета впровадження цих технологій — оптимізувати процеси, підвищити ефективність і задоволення клієнтів [18].

3. Логістика 4.0 є багатовимірною концепцією, що поєднує низку інноваційних технологій, які трансформують традиційні підходи до управління матеріальними потоками. Впровадження таких технологій вимагає значних інвестицій, кадрової підготовки, зміни організаційної культури, проте надає потужні конкурентні переваги: зменшення витрат, підвищення точності, швидкості, прозорості, а також відповідність вимогам сталого розвитку. Успішна реалізація логістики 4.0 є запорукою ефективного функціонування ланцюгів постачання в умовах цифрової економіки та глобальних викликів XXI ст.

РОЗДІЛ 2. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИКИ 4.0 У ГЛОБАЛЬНІЙ ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ

2.1. Характеристика розвитку логістичних інновацій у світовій економіці

Концепція Логістики 4.0 базується на інтеграції передових цифрових технологій у сферу логістики та управління ланцюгами постачання, що дає змогу створювати нові моделі ефективності, гнучкості та взаємодії. Ця трансформація виникає завдяки впровадженню кіберфізичних систем, Інтернету речей (IoT), великих даних, штучного інтелекту (ШІ), блокчейну та автоматизації, що разом формують фундамент для розвитку інновацій у логістиці [32].

Важливим елементом цифровізації є використання Інтернету речей (IoT) — мережі підключених пристроїв, що взаємодіють один з одним без участі людини. До таких пристроїв належать датчики температури, вологості, вібрації, RFID-мітки, GPS-трекери та інші сенсори, які моніторять і передають дані про товари та транспортні засоби в режимі реального часу. Наприклад, RFID-мітки дозволяють автоматизувати процес ідентифікації товарів на складі або під час транспортування без необхідності ручного сканування, що значно прискорює операції та зменшує ймовірність людських помилок [33].

GPS-трекери дають змогу відслідковувати місцезнаходження вантажів та транспортних засобів по всьому маршруту доставки. Це не лише підвищує прозорість процесу, але й дозволяє оптимізувати логістичні операції, уникати заторів, планувати маршрути з урахуванням поточного трафіку і, відповідно, скорочувати час і вартість доставки [37]. Крім того, підключені датчики можуть повідомляти про умови зберігання вантажів, що є критично важливим для продуктів харчування, фармацевтики та інших чутливих до навколишнього середовища товарів.

Цифрові технології також дозволяють створювати так звані «цифрові двійники» (digital twins) — віртуальні копії фізичних об’єктів чи процесів, які відображають їхній стан у режимі реального часу. Це дає змогу моделювати різні сценарії, прогнозувати можливі збої і приймати проактивні рішення для оптимізації логістичних операцій. Наприклад, за допомогою цифрового двійника складу можна прогнозувати навантаження на окремі ділянки, оптимізувати розміщення товарів і підвищити ефективність обробки замовлень [39].

Інтеграція IoT та цифрових платформ сприяє формуванню єдиної екосистеми, де фізичні об’єкти та цифрові сервіси тісно переплітаються. Це забезпечує безперебійну взаємодію між різними учасниками ланцюга постачання — від постачальників сировини до кінцевих споживачів. Такі системи дозволяють швидко виявляти проблеми, наприклад, затримки у доставці, пошкодження вантажу або збої у роботі обладнання, та оперативно реагувати на них [31].

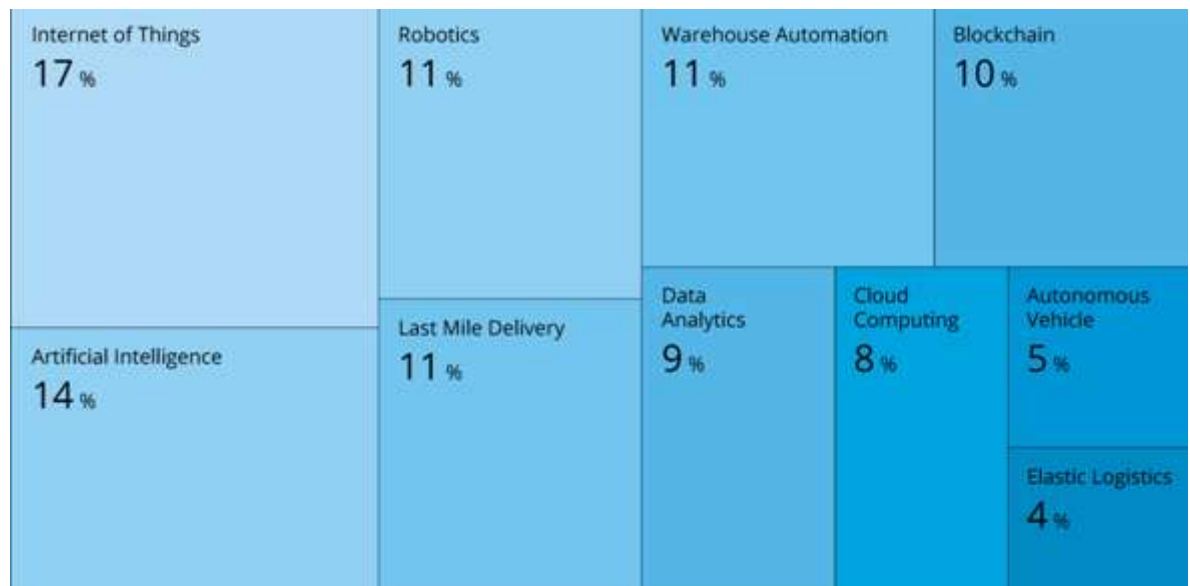


Рис. 2.1. Основні тренди впровадження інноваційних технологій у логістиці 4.0 у 2024 р. [53]

Велике значення має і аналітика великих даних (Big Data Analytics), що у поєднанні з IoT дозволяє аналізувати величезні масиви інформації для покращення управління логістикою. На основі зібраних даних можна

розробляти прогнози попиту, оптимізувати запаси, планувати ефективні маршрути доставки і автоматизувати прийняття управлінських рішень. Наприклад, використання штучного інтелекту (ШІ) у логістичних аналітичних системах допомагає виявляти закономірності, які не завжди очевидні для людини, і передбачати зміни на ринку або в ланцюзі постачання [33].

Протягом 2023-2024 років, за даними компанії DHL, понад 70% великих логістичних операторів у світі вже активно впроваджують IoT-технології у свої операції. Це свідчить про стрімке зростання рівня цифровізації у галузі. При цьому зростає і використання аналітичних платформ для обробки отриманих даних, що сприяє прийняттю більш обґрунтованих рішень.

Автоматизація є одним із найважливіших напрямків інновацій у сучасній логістиці та відіграє центральну роль у концепції Логістики 4.0. Вона ґрунтується на використанні робототехнічних систем, автоматизованих транспортних засобів, інтелектуальних програмних рішень і хмарних платформ для значного підвищення ефективності логістичних операцій. Завдяки автоматизації зменшується залежність від ручної праці, знижуються людські помилки, а також підвищується безпека праці, що особливо важливо у великих складських комплексах та транспортних хабах [34].

Сучасні системи управління складом (Warehouse Management Systems, WMS) часто інтегруються з автоматизованими рішеннями, такими як робототехніка і автономні транспортні засоби. Роботизовані комплекси здатні швидко виконувати рутинні операції — сортування, пакування, вантажно-розвантажувальні роботи — які раніше виконувалися виключно людьми. Це не лише пришвидшує процеси, а й значно знижує ризики травматизму працівників, особливо при роботі з важкими або небезпечними вантажами [34].

Одним із важливих аспектів автоматизації є інтеграція хмарних платформ, що дозволяють централізовано зберігати та обробляти величезні обсяги даних, які генеруються численними IoT-пристроями, роботами та

системами управління. Хмарні технології забезпечують гнучкість і масштабованість IT-інфраструктури, а також полегшують доступ до інформації для всіх учасників ланцюга постачання в режимі реального часу [36].

Хмарні платформи надають можливість застосовувати складні алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для оптимізації логістичних процесів. Наприклад, за допомогою аналітики великих даних можна прогнозувати попит, оптимізувати маршрути доставки, планувати запасні частини і навіть запобігати поломкам обладнання, що значно підвищує загальну продуктивність. У 2024 році, за даними McKinsey, компанії, які використовують хмарні платформи для управління логістикою, демонструють в середньому на 20% вищу продуктивність і на 15% нижчі операційні витрати у порівнянні з традиційними системами.

Перспективи розвитку автоматизації у Логістиці 4.0 пов'язані з подальшим впровадженням інтелектуальних роботів (рис. 2.2), автономних транспортних систем, використанням доповненої реальності для підвищення точності операцій, а також інтеграцією блокчейн-технологій для забезпечення прозорості та безпеки транзакцій. У поєднанні з новими телекомунікаційними технологіями, такими як 5G, автоматизація відкриває шлях до створення повністю автономних, саморегульованих логістичних систем майбутнього [38].

Таким чином, автоматизація у Логістиці 4.0 є комплексним процесом, який об'єднує робототехніку, програмні рішення, хмарні технології та інші інновації для підвищення ефективності, безпеки і прозорості логістичних операцій. Хоча існують виклики, пов'язані з вартістю, сумісністю та кібербезпекою, потенціал автоматизації для трансформації глобальної логістики є надзвичайно великим.

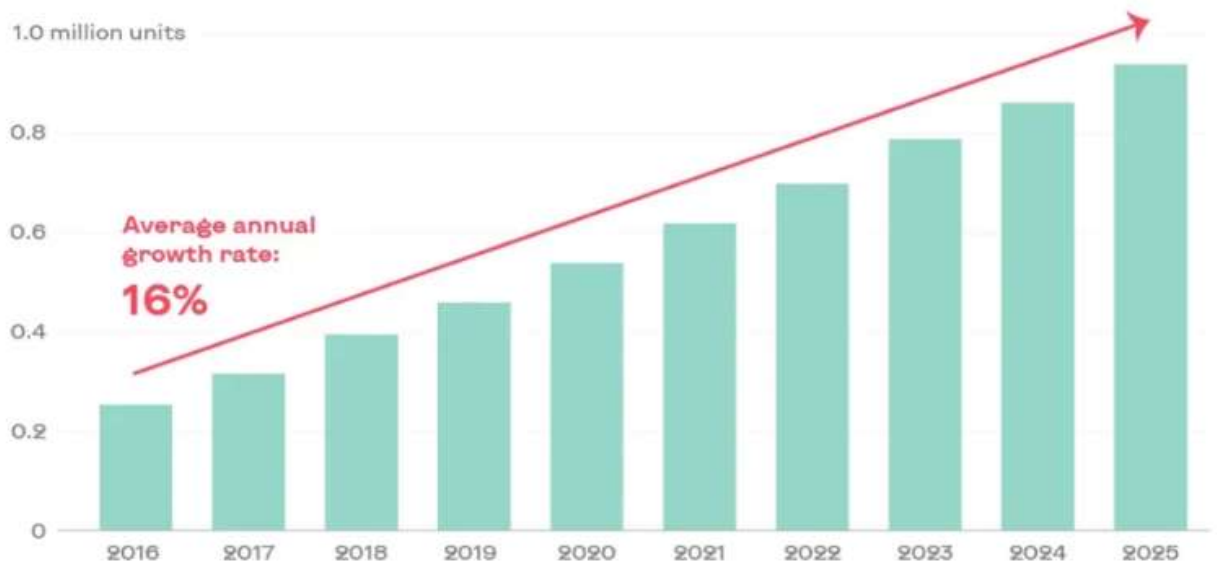


Рис.2.2. Прогноз зростання частки робототехніки на логістичних складах у світі, % [45-49]

Важливим аспектом розвитку інновацій у сфері Логістики 4.0 є широке впровадження аналітики великих даних (Big Data Analytics) та штучного інтелекту (ШІ). Ці технології відіграють ключову роль у трансформації традиційних логістичних процесів, забезпечуючи більш глибоке розуміння операцій та прийняття обґрунтованих рішень на основі даних [42].

Однією з найважливіших переваг використання аналітики великих даних є можливість обробки величезних обсягів інформації, що надходить із різних джерел у режимі реального часу. В логістиці це можуть бути дані від IoT-пристроїв, GPS-трекерів, систем управління складом, ERP-систем, а також зовнішні дані, такі як погодні умови, економічні індикатори чи зміни в політичному середовищі. Завдяки ефективному збору, зберіганню та аналізу цих даних підприємства отримують змогу краще прогнозувати майбутній попит, виявляти закономірності та тренди, що раніше були недоступними для традиційних аналітичних методів [42].

Ще однією важливою сферою застосування аналітики є оптимізація управління запасами. Аналітичні моделі на основі великих даних можуть враховувати багато факторів, таких як терміни придатності, сезонність

товарів, логістичні витрати, час доставки від постачальників тощо. Це дозволяє створювати більш гнучкі та ефективні системи поповнення запасів, що знижує ризики прострочення або дефіциту товарів [43].

Оптимізація маршрутів доставки — ще один напрямок, у якому аналітика великих даних і ШІ забезпечують значні вигоди. Завдяки аналізу великої кількості факторів — трафік, дорожні умови, погодні зміни, доступність транспортних засобів, часові обмеження — системи можуть підбирати найкоротші та найекономніші маршрути в реальному часі. Це дозволяє зменшити витрати на паливо, скоротити час доставки та підвищити задоволеність клієнтів. За дослідженнями DHL, використання інтелектуальних маршрутних систем призвело до зниження витрат на доставку в середньому на 15%.

Прогнозування технічного обслуговування (predictive maintenance) — ще одна революційна сфера, в якій ШІ та аналітика великих даних допомагають зменшити експлуатаційні витрати і уникнути простоїв обладнання. Машинне навчання аналізує дані з сенсорів, що відслідковують стан машин, транспортних засобів, конвеєрів тощо, визначаючи закономірності та аномалії, які можуть свідчити про майбутні поломки. Це дає можливість планувати технічне обслуговування завчасно, що зменшує ризики аварій і скорочує витрати на ремонт. За даними PwC, підприємства, які впровадили системи прогнозного обслуговування, знизили витрати на ремонт на 25–30% і збільшили час безперебійної роботи обладнання на 20%.

Технологія блокчейн стала революційним рішенням для підвищення прозорості, безпеки та ефективності у сфері логістики. Цей інноваційний підхід базується на децентралізованому розподіленому реєстрі, який забезпечує незмінність та надійність записів про всі транзакції у ланцюгу постачання [44]. На відміну від традиційних централізованих систем, блокчейн розподіляє інформацію по багатьох вузлах мережі, що унеможливорює її підробку або зміну без консенсусу між учасниками.

Однією з найважливіших переваг блокчейну у логістиці є забезпечення прозорості. Кожен учасник ланцюга постачання має доступ до однакової інформації про рух товарів, стан замовлень та виконання операцій у режимі реального часу. Це дозволяє знизити ризики непорозумінь, помилок і шахрайства, а також підвищує довіру між партнерами — виробниками, постачальниками, перевізниками, дистриб'юторами та кінцевими споживачами.

Крім того, блокчейн сприяє автоматизації та оптимізації бізнес-процесів через використання «розумних контрактів» (smart contracts). Це самовиконувані контракти, в яких умови угоди закладені у вигляді програмного коду. Розумні контракти автоматично виконуються, коли виконуються певні умови, що мінімізує людський фактор, скорочує час узгодження операцій і знижує бюрократичні витрати. Наприклад, після підтвердження доставки вантажу інформація автоматично оновлюється у реєстрі, і відбувається автоматична оплата постачальнику.

Впровадження блокчейну також значно покращує відстеження товарів та їх сертифікацію. У традиційних системах відстеження часто виникають проблеми через розрізненість інформації, фальсифікацію документів та затримки у передачі даних. За допомогою блокчейн-технології можна створити незмінний цифровий паспорт кожного товару, що містить всю інформацію про його походження, транспортування, умови зберігання, митне оформлення тощо [45]. Це особливо важливо для фармацевтичної, харчової та інших галузей, де необхідний суворий контроль якості та безпеки продукції.

Ще одним перспективним напрямком є поєднання блокчейну з іншими технологіями Логістики 4.0. Наприклад, інтеграція блокчейн-рішень із IoT дозволяє автоматично записувати інформацію про стан вантажу у розподілений реєстр без участі людини, підвищуючи точність і достовірність даних. Поєднання з штучним інтелектом сприяє автоматичному аналізу записів, виявленню аномалій та прогнозуванню ризиків.

Таким чином, блокчейн у логістиці є не просто технологією збереження даних, а складною екосистемою, що забезпечує прозорість, безпеку та ефективність у глобальних ланцюгах постачання. Його впровадження сприяє побудові довіри між учасниками ринку, автоматизації бізнес-процесів та зниженню операційних ризиків. Попри технічні та регуляторні виклики, потенціал блокчейну для розвитку Логістики 4.0 залишається надзвичайно високим, що робить його одним із ключових драйверів інновацій у цій сфері.

Важливим трендом у розвитку Логістики 4.0 є сталий розвиток та екологічна відповідальність, які набувають дедалі більшого значення у світовій економіці. В умовах глобальних викликів, пов'язаних зі зміною клімату, виснаженням природних ресурсів і зростанням суспільної уваги до екологічної безпеки, логістичні компанії змушені впроваджувати інноваційні технології для зменшення негативного впливу своєї діяльності на навколишнє середовище. Саме Логістика 4.0 зі своїми цифровими рішеннями відкриває нові можливості для ефективного управління ресурсами і мінімізації екологічних ризиків.

Однією з найважливіших складових сталого розвитку у логістиці є інтелектуальна оптимізація маршрутів доставки із застосуванням штучного інтелекту (ШІ). Алгоритми машинного навчання аналізують величезні масиви даних про трафік, погодні умови, стан доріг, час доставки і навіть поведінку споживачів, що дозволяє розробляти найбільш ефективні маршрути. Таке планування сприяє значному зниженню споживання пального транспортними засобами і, відповідно, зменшенню викидів парникових газів, зокрема CO₂, що є однією з ключових причин глобального потепління [34]. За даними досліджень, впровадження систем оптимізації маршрутів може скоротити витрати пального на 15-30%, а викиди CO₂ – на 20-40%, що має вагоме значення для зниження екологічного сліду логістичних операцій.

Другим важливим фактором є розвиток та використання електричних транспортних засобів (Е-ВТ) і автономних машин у логістиці.

Електротранспорт характеризується нульовими прямими викидами шкідливих речовин під час експлуатації, що робить його екологічно безпечним вибором для доставки в міських і густонаселених районах. Завдяки інтеграції сучасних систем управління флотом, які контролюють заряд акумуляторів, маршрути руху та технічний стан електромобілів, компанії можуть оптимізувати використання транспортних засобів і забезпечувати їх ефективне функціонування [32]. Водночас автономні транспортні засоби зменшують ймовірність людських помилок, що часто призводять до аварій і надмірних витрат пального. Згідно з прогнозами, до 2030 року частка електричного транспорту у логістиці зросте до 40%, що позитивно вплине на екологічну ситуацію у глобальному масштабі.

Інтернет речей (IoT) виступає ще одним інструментом сталого розвитку в логістиці. Завдяки мережі взаємопов'язаних сенсорів і пристроїв можна здійснювати точний моніторинг запасів, стану вантажів, умов зберігання і транспортування, що дозволяє уникати надлишків товарів, зменшувати втрати та оптимізувати виробничі і складські процеси. Наприклад, датчики можуть своєчасно інформувати про необхідність переупаковки або регулювання температури у рефрижераторних контейнерах, що сприяє збереженню якості продукції і зменшенню відходів [39]. Точне прогнозування попиту, яке базується на аналізі великих даних і поведінкових моделей споживачів, допомагає компаніям планувати виробництво і постачання так, щоб уникати надвиробництва та перевантаження складів.

Варто також зазначити, що сталий розвиток у Логістиці 4.0 підтримується впровадженням зелених технологій у інфраструктуру, наприклад, використанням відновлюваних джерел енергії для живлення складських комплексів, автоматизованих систем освітлення та вентиляції, а також енергоефективного обладнання. Екологічно відповідальні практики включають мінімізацію використання пакувальних матеріалів, переробку відходів і зменшення кількості транспортних пересувань за рахунок концентрації доставок та розвитку мультимодальних перевезень [46].

Підсумовуючи, можна стверджувати, що інтеграція принципів сталого розвитку в Логістику 4.0 є необхідною умовою для довгострокового успіху та конкурентоспроможності підприємств у глобальній економіці. Інтелектуальні системи управління, електротранспорт, IoT та великі дані створюють умови для більш відповідального і раціонального використання ресурсів, зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище і забезпечуючи економічну стабільність. Впровадження таких інновацій має підтримуватися державною політикою, міжнародними стандартами і активною участю бізнес-спільноти.

Інновації в технологіях доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) стають потужним інструментом для підвищення точності операцій на складах. Використання AR-окулярів дозволяє працівникам швидко знаходити потрібні товари, отримувати покрокові інструкції щодо комплектації замовлень та зменшувати кількість помилок. Водночас VR-тренінги допомагають новим співробітникам безпечніше та швидше опановувати складські процеси, імітуючи реальні ситуації без ризику для продукції чи обладнання. Це не лише підвищує ефективність, але й знижує витрати на навчання персоналу.

Одним із найперспективніших напрямків Логістики 4.0 є використання дронів та автономних роботів для доставки товарів, особливо на так званому «останньому кілометрі» — останньому етапі транспортування від складу до кінцевого споживача. Пілотні проєкти в різних країнах демонструють значний потенціал цих технологій у підвищенні швидкості та зниженні витрат доставки [31]. Дрони здатні швидко долати міські затори, доставляючи невеликі вантажі в межах населених пунктів, а автономні роботи можуть працювати в складних внутрішніх середовищах, наприклад, у великих торговельних центрах або офісних комплексах. Ці технології не лише підвищують якість обслуговування, але й сприяють зниженню людського контакту, що особливо актуально в умовах пандемій та епідемій.

Крім того, впровадження цифрових платформ дозволяє створювати персоналізовані пропозиції та послуги, які враховують індивідуальні уподобання клієнтів. Аналітика великих даних, штучний інтелект і машинне навчання аналізують поведінку споживачів, пропонуючи оптимальні варіанти доставки, спеціальні знижки та рекомендації, що сприяє підвищенню рівня задоволеності і утриманню клієнтів [34].

Нарешті, інтеграція таких інноваційних технологій у Логістиці 4.0 стимулює появу нових бізнес-моделей, наприклад, логістики як послуги (Logistics as a Service – LaaS), яка передбачає гнучкий доступ до логістичних ресурсів за моделлю підписки або оренди. Це дозволяє компаніям будь-якого розміру ефективно управляти ланцюгами постачання без необхідності великих капіталовкладень у власну інфраструктуру.

Отже, розвиток інновацій у логістиці в контексті Логістики 4.0 характеризується цифровізацією, впровадженням штучного інтелекту, блокчейну, автоматизації, орієнтацією на сталий розвиток та клієнтоцентризмом. Ці тенденції фундаментально змінюють логістичні операції, роблячи їх більш прозорими, ефективними та адаптивними. Водночас необхідно долати виклики щодо інвестицій, сумісності систем, кібербезпеки та людського фактора, аби реалізувати повний потенціал Логістики 4.0 у глобальній економіці.

2.2. Аналіз сучасного стану та напрямів розвитку інновацій у логістиці 4.0 на міжнародному рівні

Глобальний сектор логістики нині переживає трансформацію, що базується на інтеграції передових технологій, відомих під загальним поняттям Логістика 4.0. Ця нова ера у логістиці відображає впровадження принципів Індустрії 4.0 — цифровізацію, автоматизацію, коннективність та аналітику на основі великих даних, що забезпечує підвищення ефективності,

прозорості та адаптивності у керуванні ланцюгами поставок. Станом на 2024 рік впровадження інноваційних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ), блокчейн та автономні системи, докорінно змінює операційні процеси, породжуючи суттєві економічні та стратегічні наслідки у всьому світі.

Одним із найпомітніших технологічних трендів у Логістиці 4.0 є використання Інтернету речей (IoT) — технології, що забезпечує зв'язок і обмін даними між фізичними пристроями, сенсорами та цифровими системами. Взаємопов'язані IoT-пристрої, такі як сенсори, RFID-мітки (радіочастотні ідентифікатори) та GPS-трекери, дозволяють відстежувати рух, місцезнаходження та стан товарів у реальному часі. Завдяки цьому підприємства отримують можливість ефективніше управляти ланцюгами поставок, підвищувати прозорість операцій та оперативно реагувати на непередбачені ситуації.

Використання IoT у логістиці охоплює широкий спектр застосувань. Одним із ключових є відстеження вантажів і транспортних засобів. Сенсори, встановлені на контейнерах, палетах або вантажівках, збирають дані про їхнє точне розташування, температуру, вологість, вібрації та інші параметри, що важливо для збереження якості продукції, особливо чутливої до умов транспортування (наприклад, фармацевтики чи харчових продуктів). Це дозволяє контролювати весь маршрут доставки, запобігати крадіжкам і втратам, а також оперативно інформувати клієнтів [22].

Іншим важливим напрямом застосування IoT є прогнозування технічного обслуговування (predictive maintenance). Завдяки безперервному моніторингу стану транспортних засобів і обладнання на складах системи можуть передбачати ймовірність поломок або необхідність ремонту до того, як вони стануть критичними. Це дозволяє уникати незапланованих простоїв, знижує витрати на ремонт і підвищує загальну продуктивність [20]. За даними McKinsey, впровадження IoT-рішень для прогнозного

обслуговування здатне зменшити технічні витрати на 10-20% і підвищити продуктивність обладнання на 25%.

Ще одним напрямом є автоматизація управління запасами. IoT-системи дають змогу відстежувати наявність товарів на складах у режимі реального часу, аналізувати швидкість обороту та оптимізувати процеси поповнення запасів. Це мінімізує ризики надлишкових запасів або дефіциту продукції, що сприяє більш точному плануванню і підвищенню ефективності ланцюгів поставок [12]. Системи автоматичного обліку на основі IoT особливо корисні для великих логістичних операторів із розгалуженою мережею складів.

Світовий ринок IoT у логістиці має величезний потенціал росту: очікується, що його обсяг досягне 52,2 млрд доларів США до 2028 року, демонструючи середньорічний темп зростання (CAGR) 15,5% у період з 2023 по 2028 роки [53]. Це свідчить про високий попит на інноваційні рішення, які підвищують ефективність і прозорість логістичних процесів.

Основними драйверами зростання є потреба у покращенні контролю за ланцюгами постачання, зниження операційних витрат і підвищення рівня обслуговування клієнтів. В умовах глобалізації, зростання обсягів електронної комерції та все більш складних ланцюгів поставок, традиційні методи управління стають недостатньо ефективними. IoT-технології допомагають компаніям перейти від реактивного до проактивного управління, що сприяє зниженню ризиків і підвищенню конкурентоспроможності.

Прикладами успішного впровадження IoT у логістиці є Amazon та DHL. Amazon широко використовує IoT-сенсори у своїх автоматизованих центрах обробки замовлень, що дозволяє відслідковувати рух товарів на складі і оптимізувати процеси комплектації. DHL реалізувала проєкт Smart Truck — використання IoT для моніторингу температурного режиму під час перевезення фармацевтичних товарів, що значно знижує ризик псування вантажу.

Отже, IoT у Логістиці 4.0 — це не просто інструмент відстеження, а комплексна платформа для трансформації логістичних процесів. Вона забезпечує прозорість, гнучкість та ефективність у ланцюгах поставок, що є критично важливими у сучасних умовах глобальної економіки. Ріст ринку IoT-технологій у логістиці свідчить про їхню важливість та перспективність, а також стимулює подальші інновації у цій сфері.

Поряд з Інтернетом речей (IoT), штучний інтелект (ШІ) стає одним із ключових рушіїв трансформації логістичних операцій у межах концепції Логістики 4.0. ШІ радикально змінює традиційні методи управління ланцюгами поставок, автоматизуючи складні процеси, забезпечуючи глибоку аналітику та підтримуючи прийняття рішень на основі прогнозів. Завдяки використанню алгоритмів машинного навчання, нейронних мереж і глибокого навчання компанії отримують змогу аналізувати величезні масиви даних, що генеруються у процесі логістики, і на цій основі оптимізувати свої операції [35].



Рис. 2.4. Вплив використання штучного інтелекту на зниження витрат і зростання доходів, 2024 р. [53]

Одним із найважливіших напрямків застосування ШІ у логістиці є прогнозна аналітика. Алгоритми машинного навчання здатні виявляти складні закономірності у даних, враховуючи історичні тренди, сезонні коливання, зовнішні фактори (наприклад, погоду чи економічну ситуацію) і навіть поведінку споживачів. Це дозволяє прогнозувати попит із високою точністю, що вкрай важливо для ефективного управління запасами та планування закупівель [32]. Точні прогнози допомагають мінімізувати ризики надлишкових запасів або дефіциту, що знижує операційні витрати і підвищує рівень задоволеності клієнтів.

Ще одним критично важливим напрямком є оптимізація маршрутів доставки. Використання ШІ дозволяє враховувати велику кількість змінних — дорожню ситуацію, погодні умови, час доби, пріоритети замовлень тощо. Завдяки цьому формуються оптимальні маршрути, що скорочують час і вартість транспортування. Впровадження таких систем, зокрема на основі методів глибокого навчання та евристичних алгоритмів, допомагає логістичним компаніям значно підвищити ефективність доставки [26]. Наприклад, такі гіганти, як UPS і FedEx, активно впроваджують AI-платформи для динамічного планування маршрутів, що дозволяє їм економити мільйони літрів пального щороку.

Обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP) — ще одна сфера, у якій ШІ активно змінює логістичний бізнес. Автоматизовані чатботи і віртуальні асистенти здатні ефективно взаємодіяти з клієнтами, обробляти запити щодо статусу замовлень, надсилати повідомлення про доставку та навіть приймати замовлення без участі людини [24]. Це значно підвищує рівень обслуговування, знижує навантаження на кол-центри і дозволяє компаніям зосередитися на більш стратегічних завданнях.

Важливою складовою автоматизації є роботизація бізнес-процесів, або RPA (Robotic Process Automation). RPA використовує ШІ для виконання рутинних завдань, таких як обробка документів, створення звітності, реєстрація даних та інші адміністративні операції. У логістиці це дозволяє

значно скоротити час обробки замовлень, підвищити точність операцій та знизити витрати на персонал [23]. Наприклад, застосування RPA у великих логістичних компаніях дозволяє автоматизувати процеси обробки митних декларацій і звітів, що раніше займало дні або тижні.

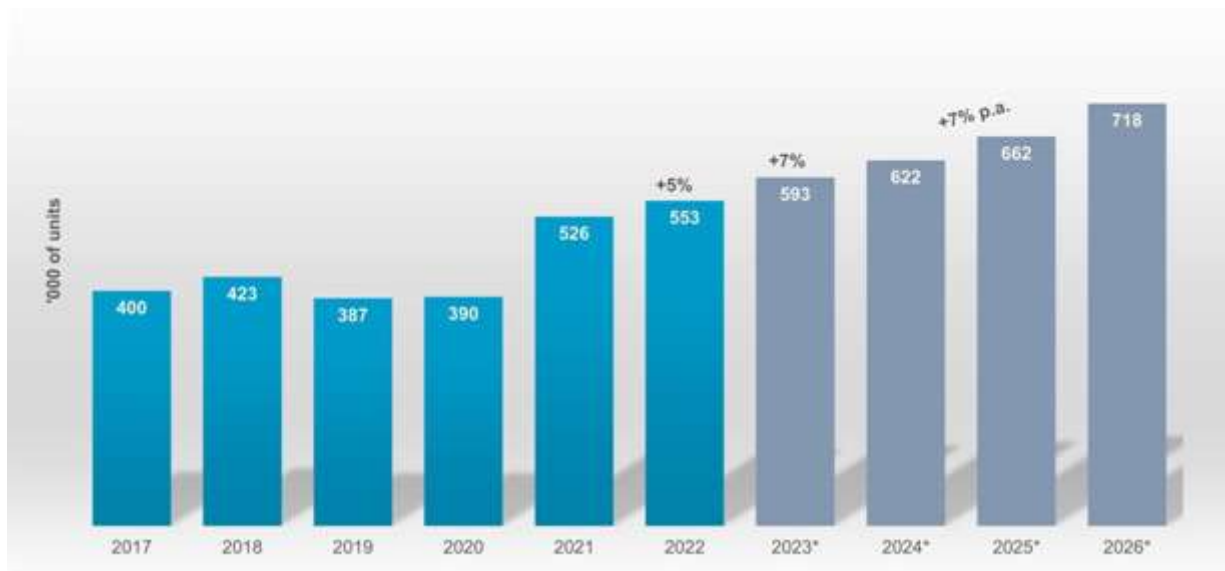


Рис. 2.5. Щорічний світовий приріст робототехніки у 2017-2023 рр., прогноз на 2024-2026 рр. [45-49]

За прогнозами International Data Corporation, глобальні витрати на впровадження штучного інтелекту у сфері управління ланцюгами поставок перевищать 10 млрд доларів США до 2025 року. Основними напрямками інвестицій будуть прогнозна аналітика, обробка природної мови для покращення взаємодії з клієнтами, а також роботизація бізнес-процесів. Зростання цих інвестицій відображає важливість ШІ для підвищення оперативності, гнучкості та стійкості логістичних систем у світі, що стрімко змінюється.



Рис. 2.6. Зниження витрат і зростання доходів від використання штучного інтелекту у міжнародній логістиці, 2024 р., % [50, 53]

Впровадження ШІ не тільки оптимізує існуючі процеси, але й відкриває нові можливості для розвитку логістики. Наприклад, автоматизовані склади, оснащені роботами, які використовують AI для орієнтації та вибору оптимальних маршрутів у межах складської території, вже стають нормою у провідних компаніях. Amazon Robotics — один із піонерів у цій галузі, впроваджуючи автономні роботи для швидкої обробки замовлень [53]. Такі роботи можуть працювати 24/7, підвищуючи продуктивність і знижуючи ризики людських помилок.



Рис. 2.7. Частка робототехніки на логістичних складах у 2024 р. [45-49]

Крім того, штучний інтелект сприяє підвищенню гнучкості ланцюгів поставок. У сучасному світі, де швидкість змін і непередбачуваність зростають, здатність швидко адаптуватися до нових умов стає конкурентною перевагою. AI-системи допомагають не лише передбачати можливі проблеми, але й автоматично коригувати плани, розподіляти ресурси, змінювати маршрути в режимі реального часу.

Automated Mobile Robots (AMRs)	Automated Guided Vehicles (AGVs)
Trackless navigation	Requires tracks
Can go around obstacles	Obstacles stop it
Can be easily re-mapped	Difficult to re-map
No depots needed	Needs depots
Delivers to users location	Delivers to a pre-programmed place
Travels around people	Travels in dedicated areas
Easy to expand or change	Difficult to expand

Рис. 2.8. Переваги використання автоматизованої робототехніки у логістиці [3]

Технологія блокчейн також набуває все більшої ваги в Логістиці 4.0, забезпечуючи децентралізовані та незмінні записи транзакцій, що суттєво підвищує прозорість, безпеку та ефективність операцій у складних ланцюгах поставок. Однією з ключових переваг блокчейну є його здатність створювати єдине джерело правди, де всі учасники мають доступ до однакової інформації у реальному часі, що значно знижує ризики шахрайства, помилок або маніпуляцій з даними. Це особливо важливо у сфері логістики, де задіяні численні партнери, включно з виробниками, постачальниками, транспортними компаніями, митними органами та роздрібними продавцями.

Використання «розумних контрактів» — програмованих договорів, які автоматично виконують умови угоди без необхідності втручання людини — допомагає значно спростити і прискорити процеси в логістиці. Наприклад, оплата може бути автоматично проведена одразу після підтвердження доставки товару, а митне оформлення — швидко проходити за наявності усіх необхідних документів, закріплених у блокчейні. Ці інновації не лише знижують бюрократичні витрати, але й зменшують потенційні конфлікти між сторонами.

Згідно з дослідженням Deloitte, застосування блокчейну у логістичній галузі зросло на 35% між 2022 та 2023 роками, причому найбільше впровадження відбувалося у сферах фінансування торгівлі, митного оформлення та відстеження походження товарів. Так, наприклад, у секторі харчових продуктів блокчейн використовується для відстеження шляху продуктів від ферми до магазину, що дозволяє швидко реагувати на випадки забруднення або підробки. Відповідно, такі системи підвищують довіру споживачів і створюють додаткову цінність для брендів.

Аналітики прогнозують, що глобальний ринок блокчейн-технологій у логістиці зростатиме зі середньорічним темпом (CAGR) понад 25% у період 2023–2028 років і досягне вартості понад 4 млрд доларів США до кінця цього періоду [53]. Цей динамічний розвиток обумовлений не лише потребою в автоматизації й безпеці транзакцій, а й зростаючим інтересом до екологічної стійкості — блокчейн допомагає фіксувати і звітувати про викиди CO₂ та інші екологічні параметри у ланцюгах поставок, сприяючи реалізації цілей сталого розвитку.

На практиці все більше логістичних компаній і операторів починають застосовувати гібридні підходи, де блокчейн поєднується з іншими технологіями Логістики 4.0 — IoT, штучним інтелектом, робототехнікою. Наприклад, сенсори IoT збирають дані про температуру і вологість вантажів, які одразу ж записуються у блокчейн, гарантуючи їхню достовірність. Це особливо важливо для фармацевтичних та харчових продуктів, де умови зберігання мають бути строго контрольованими.

Таким чином, технологія блокчейн у логістиці є не просто модним трендом, а важливим фундаментом для побудови прозорих, безпечних і ефективних ланцюгів поставок у глобальній економіці. Подальший розвиток технологій, стандартизація підходів і нормативне регулювання сприятимуть її широкому впровадженню, відкриваючи нові можливості для оптимізації бізнес-процесів та підвищення конкурентоспроможності компаній.

Інтеграція цих технологій підтримується аналітикою великих даних і платформами для обробки структурованої та неструктурованої інформації, що допомагає отримувати цінні інсайти. Наприклад, прогнозне технічне обслуговування за допомогою ШІ зменшує час простою обладнання, а динамічна оптимізація маршрутів знижує споживання пального і викиди CO₂. Екологічний аспект стає все більш значущим: Міжнародне енергетичне агентство прогнозує зниження викидів CO₂ у сфері логістики на 10-15% до 2030 року завдяки технологічним інноваціям.

Втім, незважаючи на стрімкий розвиток, ринок інноваційних логістичних технологій зіштовхується із низкою викликів. Високі капіталовкладення, особливо для малого та середнього бізнесу, обмежують масове впровадження інновацій. Кібербезпека залишається критичною проблемою, оскільки взаємопов'язані системи стають вразливими до кібератак, що вимагає посилення заходів із захисту. Крім того, регуляторна невизначеність та відсутність єдиних стандартів ускладнюють розвиток інновацій у міжнародних ланцюгах постачання.

Географічний розподіл розвитку Логістики 4.0 вказує на значні регіональні відмінності, пов'язані з рівнем економічного розвитку, інвестиційними можливостями, доступом до сучасних технологій та законодавчою підтримкою. Північна Америка та Європа безперечно утримують лідерські позиції у впровадженні інноваційних рішень у логістиці, зокрема Логістики 4.0. Основними чинниками, що сприяють цьому, є розвинена транспортна і цифрова інфраструктура, високий рівень кваліфікації робочої сили, а також наявність чітких правових рамок і державної підтримки інновацій.

У США та Канаді значну роль відіграє активна участь як великих корпорацій, так і стартапів у галузі розробки і впровадження передових логістичних технологій. Важливою є підтримка з боку федеральних і місцевих органів влади, які вкладають кошти у створення «розумних» транспортних мереж, розвиток Інтернету речей (IoT) та автоматизацію

складських процесів. Наприклад, у 2023 році американські інвестиції в логістичні технології перевищили 12 млрд доларів, що становить близько 28% світового обсягу [53].

Європейський союз послідовно просуває політику цифрової трансформації, яка включає і транспортно-логістичний сектор. Програми Horizon Europe та цифрові стратегії, такі як Європейська хмарна ініціатива (European Cloud Initiative), сприяють інтеграції передових технологій у ланцюги постачання. Значна увага приділяється також питанням екологічної стійкості, тому багато проєктів спрямовані на зниження викидів вуглецю та впровадження електричного транспорту [53]. За даними Eurostat, у 2023 році обсяги інвестицій у цифровізацію логістики в країнах ЄС досягли 8,5 млрд євро, демонструючи зростання понад 15% порівняно з попереднім роком.

Водночас, Азіатсько-Тихоокеанський регіон демонструє найбільш інтенсивне зростання у впровадженні інновацій у сфері логістики. Цей регіон не лише слідує глобальним трендам, але й активно формує власні технологічні стандарти. Зокрема, Китай, Індія та Сінгапур виступають як локомотиви розвитку Логістики 4.0 в регіоні. Китайський уряд реалізує масштабні національні програми цифровізації логістики в рамках ініціативи «Цифровий Шовковий шлях», що включає розвиток інтелектуальних транспортних систем, автономних вантажівок і дронів для доставки [53].

У 2023 році обсяг ринку інноваційних логістичних технологій у Китаї сягнув приблизно 14 млрд доларів, з прогнозованим щорічним зростанням понад 20% у найближчі п'ять років [53]. Цей імпульс підтримується стрімким розвитком електронної комерції: лише у 2023 році обсяги онлайн-продажів у Китаї збільшилися на 13,4%, що створює величезний попит на інноваційні логістичні рішення для швидкої та надійної доставки.

Індія також демонструє значний прогрес у впровадженні Логістики 4.0. Завдяки реформам у транспортній інфраструктурі та розвитку технологічного сектору, країна залучає великі інвестиції у цифрові платформи для управління ланцюгами поставок. Держава активно підтримує розвиток IoT,

автоматизації і блокчейну в логістиці, а також стимулює розвиток стартапів через національні інноваційні фонди [53]. Згідно з дослідженням TechSci Research (2024), ринок інноваційних логістичних рішень в Індії у 2023 році оцінювався приблизно у 5 млрд доларів із прогнозом зростання понад 18% до 2027 року.

Сінгапур, завдяки стратегічному розташуванню та статусу світового логістичного хабу, є прикладом інтенсивної інтеграції технологій Логістики 4.0. Держава активно інвестує у «розумні» порти, автоматизовані склади та цифрові платформи для моніторингу і оптимізації вантажних потоків. До 2024 року частка інвестицій у логістичні інновації в структурі національного ВВП сягнула 3,8%, що є одним із найвищих показників у регіоні.

Крім того, в Азійсько-Тихоокеанському регіоні спостерігається активне застосування хмарних технологій та штучного інтелекту для управління складськими та транспортними операціями. Згідно з дослідженнями Gartner, понад 60% компаній у регіоні вже інтегрували AI-технології у свої логістичні процеси, що значно підвищує точність планування та знижує операційні витрати.

Окрему увагу варто приділити країнам Близького Сходу та Африки, де розвиток Логістики 4.0 тільки набирає обертів, але вже демонструє значний потенціал. В ОАЕ, Саудівській Аравії та Ізраїлі активно впроваджують автономні транспортні засоби, робототехніку для складів та цифрові системи управління ланцюгами постачання. Наприклад, у 2023 році обсяг інвестицій у логістичні інновації у регіоні перевищив 2 млрд доларів із прогнозом зростання 17% щороку [53]. У Африці основними викликами залишаються недостатня інфраструктура та нестача кваліфікованих кадрів, однак інвестиції у цифрову трансформацію, зокрема в електронну комерцію, створюють попит на інноваційні логістичні рішення.

Нарешті, варто відзначити важливість глобальної координації та стандартизації в розвитку Логістики 4.0. Незважаючи на активне впровадження технологій у різних регіонах, відсутність єдиних технічних і

нормативних стандартів може обмежувати інтеграцію та масштабування інновацій у міжнародних ланцюгах поставок. Ініціативи, такі як Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) та Європейська агенція з кібербезпеки (ENISA), активно працюють над розробкою відповідних рекомендацій, що забезпечать безпеку, сумісність і надійність логістичних систем Логістики 4.0.

Таким чином, географічний розподіл розвитку Логістики 4.0 відображає складний комплекс факторів: від економічного рівня і технічного потенціалу до політичної волі та регуляторного середовища. Північна Америка і Європа утримують лідерство завдяки комплексному підходу та інвестиціям у інфраструктуру, тоді як Азіатсько-Тихоокеанський регіон є найбільш динамічним і перспективним ринком із найвищими темпами зростання. Регіони Близького Сходу, Африки та Латинської Америки поступово інтегруються у цей процес, що свідчить про глобальну трансформацію логістичної індустрії у напрямку Логістики 4.0.

Підсумовуючи, глобальний ринок інноваційних технологій у Логістиці 4.0 характеризується швидким розвитком і високим потенціалом трансформації. Інтернет речей, штучний інтелект, блокчейн та автоматизація формують нові стандарти ефективності, прозорості та стійкості ланцюгів поставок. Попри існуючі перешкоди, зокрема для малого бізнесу і в країнах, що розвиваються, тенденція до цифровізації та екологічної відповідальності буде тільки посилюватись. Подальші інвестиції, координація між державним і приватним секторами, а також гармонізація регуляторних норм залишаються ключовими чинниками успішного впровадження інновацій Логістики 4.0.

2.3. Виклики та стратегічні орієнтири розвитку логістики 4.0 у глобальному середовищі

Логістика 4.0, що виникла в рамках Індустрії 4.0, є результатом інтеграції передових цифрових технологій у логістичні процеси. Вона обіцяє значні переваги, зокрема підвищення ефективності, прозорості та стійкості ланцюгів постачання. Однак її впровадження супроводжується низкою викликів, які потребують уваги з боку бізнесу, урядів та наукової спільноти.

Впровадження концепції Логістики 4.0 супроводжується значними технологічними викликами, які охоплюють як технічні, так і організаційні аспекти. Основою цієї трансформації є інтеграція передових цифрових технологій, таких як Інтернет речей (ІоТ), штучний інтелект (ШІ), великі дані (Big Data), блокчейн, хмарні обчислення, автономні транспортні засоби та роботизовані системи управління складом. Ці інструменти здатні радикально змінити структуру й функціонування ланцюгів постачання, забезпечуючи вищий рівень автоматизації, оперативності й точності рішень.

Однак перехід до Логістики 4.0 не є одномоментним і вимагає глибокої трансформації інформаційної, технічної та управлінської інфраструктури підприємств. Зокрема, підприємства повинні інтегрувати нові цифрові рішення в уже існуючі логістичні системи, що часто базуються на застарілому програмному забезпеченні або ручних процесах. Така інтеграція ускладнюється через відсутність уніфікованих стандартів, що забезпечують сумісність різних цифрових платформ. Це може призводити до фрагментації даних, порушень у комунікації між підсистемами та зниження ефективності автоматизованих процесів.

Особливо гостро ці проблеми проявляються в малих та середніх підприємствах (МСП), які обмежені у фінансових та людських ресурсах. Для багатьох із них високі початкові витрати на впровадження ІТ-інфраструктури, закупівлю обладнання, ліцензування програмного забезпечення та навчання персоналу можуть бути непосильними. Крім того,

недостатній рівень цифрової компетентності менеджменту та технічного персоналу значно уповільнює процес прийняття рішень щодо модернізації логістичних процесів.

Ще одним аспектом технологічного виклику є питання масштабованості. Багато цифрових рішень створюються з урахуванням потреб великих корпорацій і не завжди адаптовані до реалій МСП. Наприклад, системи управління складом з використанням IoT-датчиків та автоматизованих роботів можуть бути надто складними та дорогими для невеликих підприємств. Відповідно, виникає потреба в розробці модульних, гнучких рішень, які можуть масштабуватись відповідно до розміру та потреб компанії.

Крім цього, необхідно забезпечити безперервність роботи під час переходу до нових технологій. У багатьох випадках впровадження нових систем потребує часткового або повного призупинення логістичних операцій, що не завжди є можливим з огляду на високий рівень конкуренції та вимоги клієнтів до швидкості доставки. Таким чином, впровадження Логістики 4.0 потребує ретельно спланованого поетапного підходу, який дозволяє уникнути перебоїв у діяльності підприємства.

Особливу роль у впровадженні нових технологій відіграють хмарні обчислення та API-інтеграція, які дають змогу під'єднувати нові сервіси без повної заміни існуючої IT-інфраструктури. Наприклад, платформи управління транспортом (TMS) або складом (WMS), які базуються на хмарних технологіях, можуть бути інтегровані із системами ERP та CRM через стандартні програмні інтерфейси. Це дає змогу зменшити витрати на модернізацію та забезпечити гнучкість у розширенні функціональності.

З технічної точки зору одним із ключових викликів є забезпечення надійної передачі та обробки даних у режимі реального часу. Робота з великими обсягами інформації (Big Data) вимагає потужних аналітичних інструментів та обчислювальних потужностей. Використання машинного навчання та штучного інтелекту в логістиці передбачає обробку динамічних

даних з різних джерел — GPS, RFID, сенсори температури, дані про трафік тощо. У зв'язку з цим зростає значення мереж з низькою затримкою, таких як 5G, та систем обробки даних на краю мережі (edge computing), які дозволяють зменшити навантаження на центральні сервери.

Окремо варто зазначити, що технологічна інтеграція потребує міждисциплінарної підготовки фахівців, які одночасно володіють знаннями в галузі IT, логістики та бізнес-аналізу. Брак таких кадрів є глобальною проблемою і стримує цифрову трансформацію в логістиці.

Узагальнюючи, можна сказати, що технологічні виклики в контексті Логістики 4.0 стосуються не лише закупівлі обладнання та програмного забезпечення, а й глибших процесів — стандартизації, організаційної адаптації, підготовки персоналу, забезпечення масштабованості та гнучкості систем. Без вирішення цих проблем цифрова трансформація логістики залишатиметься фрагментарною та неефективною.

У міру розвитку Логістики 4.0, з її широким впровадженням Інтернету речей (IoT), хмарних технологій, штучного інтелекту (ШІ) та великих даних, кібербезпека набуває ключового значення. Збільшення кількості підключених пристроїв, автоматизованих систем управління, цифрових платформ і сервісів призводить до експоненціального зростання точок доступу, які можуть стати мішенню для кібератак. Згідно з дослідженням DHL, сучасні логістичні системи, які використовують пристрої IoT для відстеження вантажів, є особливо вразливими через відсутність уніфікованих стандартів безпеки та захисту інформації.

Однією з головних проблем є відсутність адекватного рівня захисту на рівні пристроїв IoT. Багато сенсорів, трекерів або автономних логістичних об'єктів (наприклад, роботизованих візків на складах або безпілотних транспортних засобів) мають обмежені обчислювальні ресурси, що не дозволяє впроваджувати повноцінні криптографічні алгоритми захисту. Як наслідок, зловмисники можуть отримати несанкціонований доступ до системи через найслабші її елементи — наприклад, перехопивши пакети

даних з GPS-трекера або підмінивши інформацію про місцезнаходження вантажу.

Також проблемним є людський фактор. Працівники часто використовують слабкі паролі, нехтують оновленням програмного забезпечення або здійснюють підключення до ненадійних мереж. У поєднанні з недостатнім рівнем обізнаності щодо кібербезпеки це створює додаткові ризики. За даними IBM, до 95% кіберінцидентів пов'язані з людськими помилками, зокрема фішинговими атаками або неавторизованим використанням облікових даних.

У контексті Логістики 4.0, цілісність та достовірність даних мають критичне значення. Ланцюги постачання все більше покладаються на автоматичні системи прийняття рішень, які базуються на даних, що надходять у режимі реального часу. Якщо ці дані будуть сфальсифіковані або спотворені, це може призвести до серйозних операційних збоїв, зупинок виробництва, неправильного розподілу вантажів або навіть створення загроз для життя і здоров'я (наприклад, у логістиці медичних товарів чи продуктів харчування).

Щоб протидіяти цим ризикам, необхідно впроваджувати всебічні стратегії кіберзахисту, які охоплюють такі елементи:

1. Шифрування даних — як при передачі, так і при зберіганні, щоб запобігти перехопленню або викраденню конфіденційної інформації.
2. Аутентифікація та управління доступом — використання багатофакторної аутентифікації (MFA), біометричних рішень або сертифікатів безпеки для обмеження доступу лише авторизованим користувачам.
3. Постійний моніторинг мережі — застосування систем виявлення вторгнень (IDS) та аналізу поведінки користувачів (UEBA) для оперативного реагування на підозрілі активності.

4. Сегментація мережі — створення ізольованих віртуальних середовищ для обмеження розповсюдження шкідливого коду.

5. Регулярне оновлення програмного забезпечення та патчів — щоб закривати відомі вразливості.

6. Навчання персоналу — розробка внутрішніх політик інформаційної безпеки та проведення тренінгів із запобігання фішингу, соціальної інженерії та неправильного поводження з даними.

Особливо важливо забезпечити відповідність міжнародним та національним стандартам захисту даних, таким як GDPR (Загальний регламент захисту даних у ЄС), ISO/IEC 27001, а також локальним законодавчим вимогам щодо зберігання та обробки персональних та комерційно чутливих даних. Порушення таких норм може призвести до серйозних штрафів та втрати довіри з боку партнерів і споживачів.

Однією з перспективних технологій у сфері кібербезпеки логістики є блокчейн. Завдяки своїй децентралізованій структурі та незмінності записів, блокчейн може забезпечити прозорість і достовірність транзакцій у ланцюгу постачання. Наприклад, кожен рух товару — від виробника до кінцевого споживача — може бути зафіксований у блокчейні з цифровим підписом, що унеможливорює фальсифікацію або приховування інформації. Однак масове впровадження цієї технології поки що обмежене високою складністю інтеграції та недостатньою правовою визначеністю.

Також варто враховувати специфіку інцидентного реагування у сфері логістики. У разі кібернападу потрібно не лише відновити роботу IT-систем, а й мінімізувати ризики фізичного впливу — збоїв у транспортуванні, втрат вантажів, простоїв у виробництві тощо. Це потребує створення планів реагування на інциденти (IRP), які враховують специфіку логістичних процесів.

Узагальнюючи, можна сказати, що кібербезпека в епоху Логістики 4.0 є не просто допоміжною функцією, а ключовим фактором сталого та

безперервного функціонування логістичних ланцюгів. Її недооцінка може призвести до втрат, що перевищують інвестиції в безпеку в десятки разів.

Впровадження Логістики 4.0 вимагає значних інвестицій у нові технології, навчання персоналу та оновлення інфраструктури. Для багатьох підприємств, особливо малих та середніх, ці витрати можуть бути непосильними. Однак, з часом, завдяки підвищенню ефективності та зменшенню витрат, ці інвестиції можуть окупитися.

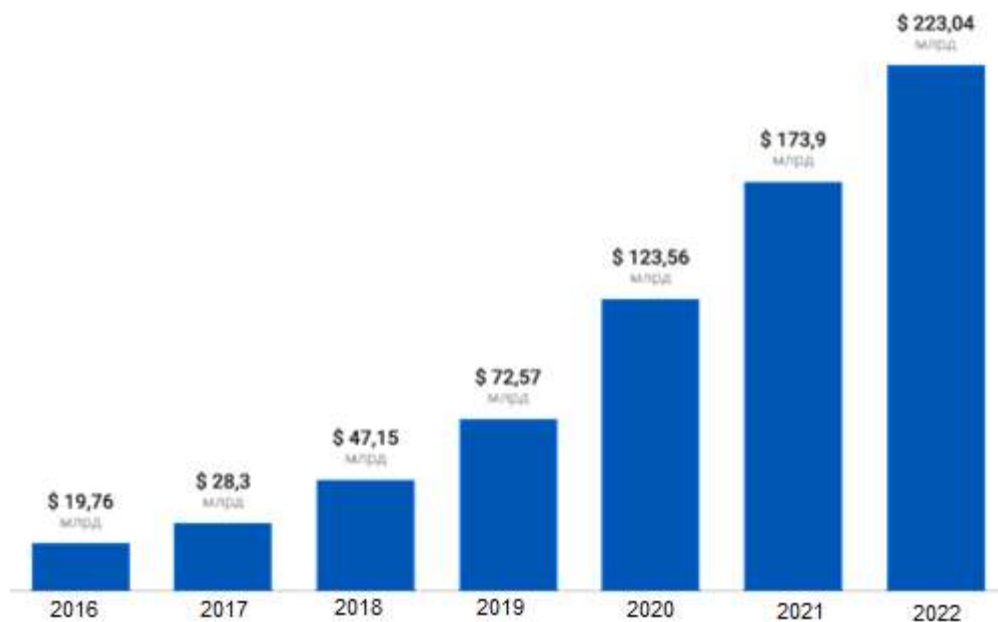


Рис. 2.9. Світові інвестиції в інноваційні технології у логістиці, 2016-2022 рр. [45-48, 53]

1. Інвестиції у цифрову трансформацію

Згідно з даними Worldmetrics.org (2024), 65% компаній вважають цифрову трансформацію критично важливою для свого майбутнього успіху в логістичній галузі. Це включає інвестиції в автоматизацію, штучний інтелект, аналітику даних та інші технології, що дозволяють підвищити ефективність та знизити витрати.

2. Витрати на автоматизацію складів

Згідно з даними Vogue Business (2023), компанії, такі як Harrods, LVMH та Hugo Boss, інвестують значні кошти в автоматизацію своїх складів.

Наприклад, Hugo Boss планує подвоїти кількість автоматизованих систем у своєму центральному розподільчому центрі в Європі протягом наступних трьох років, після того як вже інвестував "трицифрову суму в мільйонах євро" в робототехніку за останнє десятиліття.

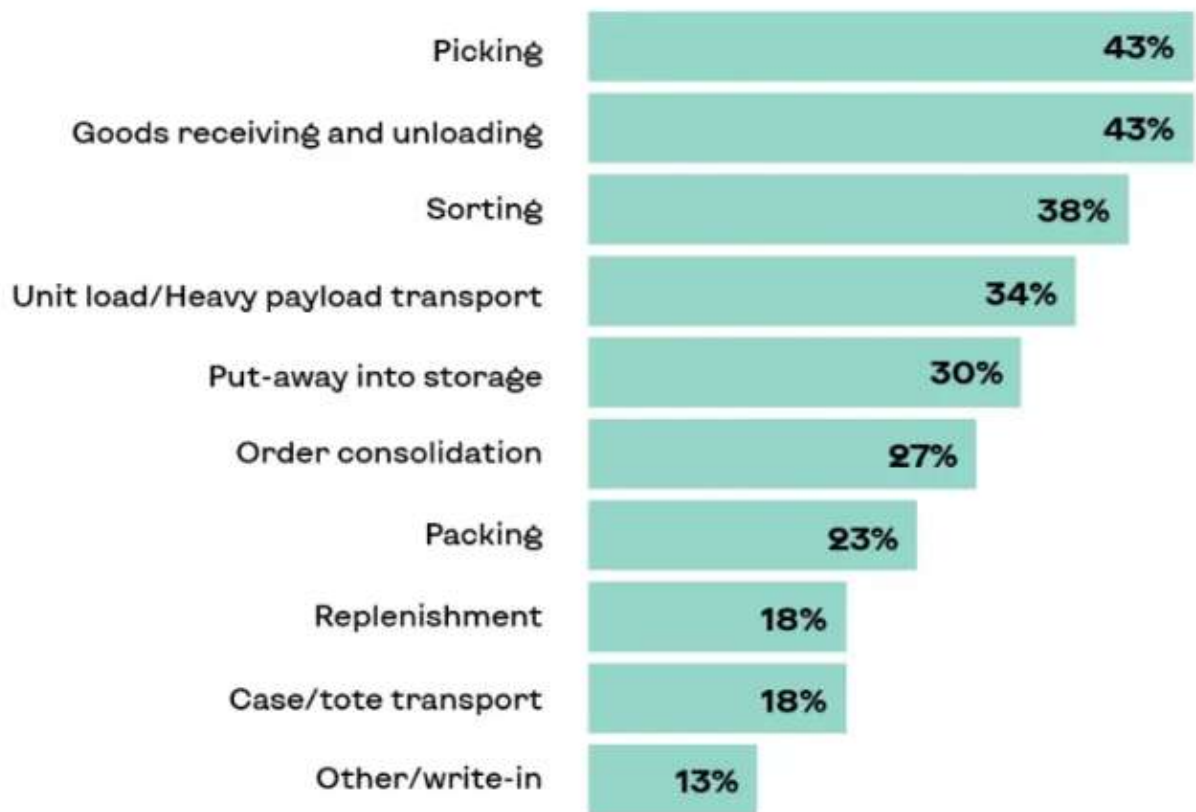


Рис. 2.10. Доля інвестицій у різні види робототехніки у міжнародній логістиці [45-49]

3. Вартість кіберінцидентів

Згідно з даними Gitnux (2025), 58% порушень безпеки в ланцюгах постачання у 2023 році були спричинені кіберзагрозами. Середня вартість одного інциденту з кібербезпеки в логістичній галузі становить 184 мільйони доларів США, що підкреслює важливість інвестицій у кібербезпеку.

4. Підвищення ефективності та зниження витрат

Згідно з даними Worldmetrics.org (2024), цифрова трансформація може призвести до 20% зниження витрат на логістику та 30% зростання задоволеності клієнтів. Це свідчить про те, що початкові інвестиції можуть

окупитися завдяки підвищенню ефективності та покращенню обслуговування клієнтів.

5. Інвестиції в інфраструктуру

Згідно з даними Statista (2024), у 2023 році інвестиції в індустріальну та логістичну нерухомість у Європі склали 32 мільярди євро, що є зниженням порівняно з піковими значеннями у 2021 році, коли вони досягли 68,4 мільярда євро. Це може свідчити про тимчасове уповільнення інвестицій, однак довгострокова тенденція до зростання залишається.

6. Інвестиції в людський капітал

Згідно з даними Economist Impact (2024), 87% вантажовідправників збільшили використання послуг третіх осіб (3PL) у 2024 році, що на 25% більше порівняно з попереднім роком. Це свідчить про зростання попиту на послуги з управління ланцюгами постачання та необхідність у кваліфікованих кадрах для управління новими технологіями.

7. Підтримка малих та середніх підприємств

Згідно з даними Vogue Business (2023), компанії, такі як GXO, інвестують у технології, що дозволяють навіть малим брендам використовувати переваги автоматизації. Наприклад, GXO витрачає до 50 мільйонів доларів США на один проєкт автоматизації та до 10 мільйонів доларів США на програмне забезпечення. Це дозволяє малим та середнім підприємствам залишатися конкурентоспроможними в умовах цифрової трансформації.

8. Прогнозоване зростання ринку

Згідно з даними Procurement Tactics (2025), ринок автоматизації складів у глобальному масштабі зросте з 32,7 мільярда доларів США у 2023 році до 51,2 мільярда доларів США до 2028 року, що відповідає середньорічному темпу зростання (CAGR) 9,3%. Це свідчить про стійкий інтерес до інвестицій у технології автоматизації.

Інвестиції в Логістику 4.0 є необхідними для забезпечення конкурентоспроможності та ефективності підприємств у сучасному світі.

Хоча початкові витрати можуть бути значними, довгострокові переваги у вигляді зниження витрат, підвищення ефективності та покращення обслуговування клієнтів можуть забезпечити швидку окупність цих інвестицій. Важливою складовою є також інвестиції в людський капітал та підтримка малих та середніх підприємств, що дозволяє забезпечити рівні умови для всіх учасників ринку.

Використання технологій Логістики 4.0 може сприяти зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Наприклад, оптимізація маршрутів за допомогою штучного інтелекту (ШІ) може знизити витрати пального та викиди CO₂. Однак початкові етапи впровадження технологій можуть супроводжуватися високим споживанням енергії та ресурсів, що ставить під питання їхній загальний екологічний ефект.

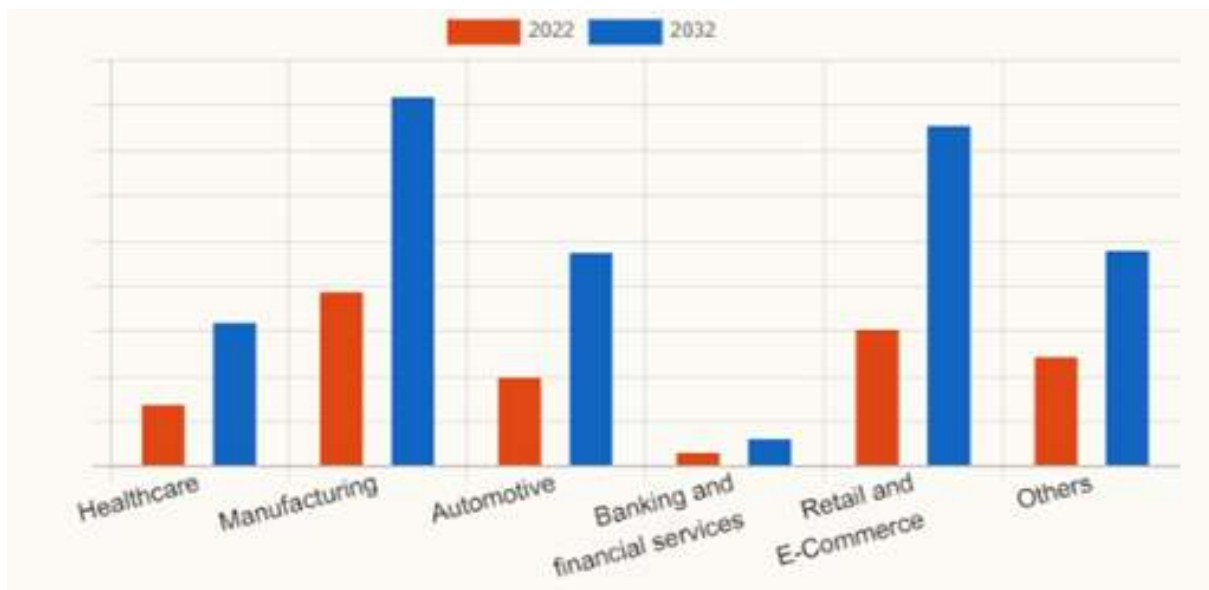


Рис. 2.11. Світовий ринок зеленої логістики у 2022р., прогноз на 2032 р. [50, 53]

1. Оптимізація маршрутів та зменшення викидів CO₂

Штучний інтелект та Інтернет речей (IoT) дозволяють здійснювати реальну оптимізацію маршрутів транспорту, що веде до зменшення витрат пального та викидів CO₂. Наприклад, використання оптимізованих маршрутів може знизити пройдену відстань на 10%, витрати пального на

11% та викиди CO₂ на 10% щомісяця. Це свідчить про значний потенціал технологій Логістики 4.0 у зменшенні екологічного сліду транспортування вантажів.

2. Вплив штучного інтелекту на енергоспоживання

Незважаючи на переваги, впровадження ШІ вимагає значних енергетичних ресурсів. Наприклад, тренування великих мовних моделей, таких як GPT-3, може призвести до викиду до 552 метричних тонн CO₂, що еквівалентно річним викидам 123 бензинових автомобілів. Крім того, зростаючі обчислювальні вимоги до ШІ можуть призвести до збільшення споживання води для охолодження серверів, що вимагає додаткових ресурсів та може мати негативний вплив на навколишнє середовище.

3. Технології для зменшення викидів у зворотній логістиці

Використання ШІ для оптимізації маршрутів у зворотній логістиці може значно знизити викиди CO₂. Наприклад, застосування алгоритмів ШІ для планування зворотних маршрутів дозволяє зменшити непотрібні поїздки, покращити управління вантажем та знизити споживання пального, що веде до зменшення викидів парникових газів.

4. Використання відновлювальних джерел енергії в складах

Інтеграція відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі на дахах складів, може значно знизити викиди CO₂. Наприклад, компанія GMG встановила сонячну електростанцію потужністю 3,515 кВт на своєму складі в зоні вільної торгівлі Джебель-Алі, що дозволяє покрити понад 80% споживаної енергії та зменшити викиди CO₂ на 70,000 тонн.

5. Використання електричних транспортних засобів

Перехід на електричні транспортні засоби може значно знизити викиди CO₂. Однак високі початкові витрати на електричні вантажівки, які можуть бути в 1,5–2 рази дорожчими за дизельні, є значним бар'єром для впровадження цієї технології. Крім того, обмежена інфраструктура для зарядки електричних транспортних засобів у деяких регіонах може ускладнити їх впровадження.

6. Викиди від авіап перевезень

Збільшення використання авіап перевезень може призвести до зростання викидів CO₂. Наприклад, компанія Inditex, власник бренду Zara, зафіксувала збільшення викидів від транспортування на 10% у 2024 році через збільшення використання авіап перевезень для доставки одягу з Азії до Іспанії. Це підкреслює необхідність балансування між швидкістю доставки та екологічною стійкістю.

7. Підвищення ефективності холодних ланцюгів постачання

Інтеграція цифрових технологій у холодні ланцюги постачання може зменшити енергоспоживання та відходи. Наприклад, використання IoT сенсорів для моніторингу температури та вологості під час транспортування дозволяє зменшити втрати продуктів через псування, що веде до зниження енергоспоживання та викидів CO₂.

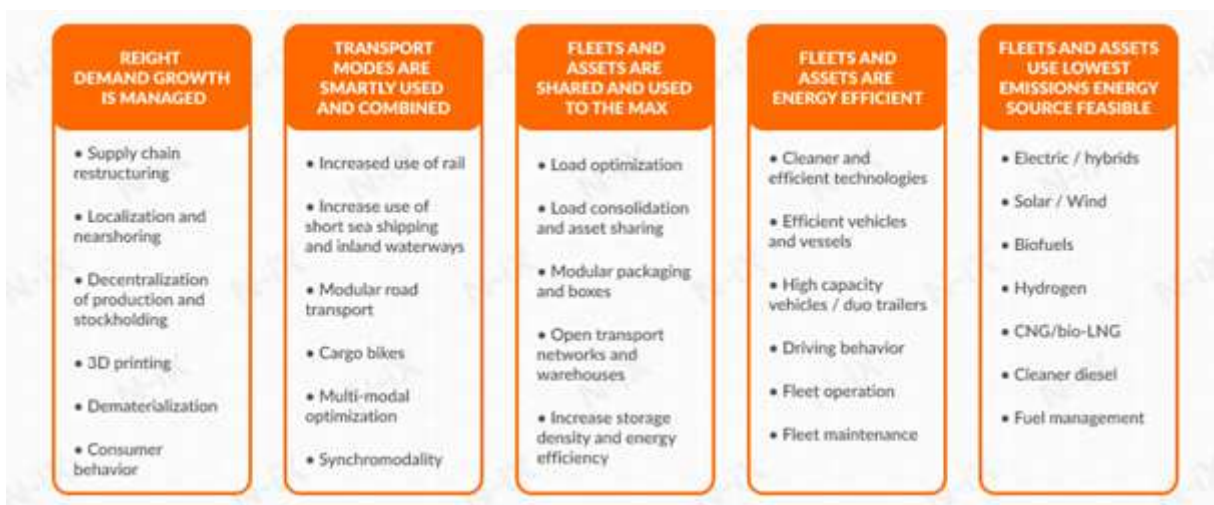


Рис. 2.12. Шляхи декарбонізації логістики [50, 53]

Технології Логістики 4.0 мають значний потенціал для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище через оптимізацію маршрутів, використання відновлювальних джерел енергії та електричних транспортних засобів. Однак важливо враховувати початкові витрати та енергоспоживання, пов'язані з впровадженням цих технологій. Для досягнення сталого розвитку необхідно балансувати між економічними та

екологічними аспектами, враховуючи специфіку кожного підприємства та регіону.

Логістика 4.0, що поєднує передові технології, такі як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ), великі дані та автоматизація, відкриває нові можливості для розвитку логістичних систем. Однак для реалізації цих можливостей необхідно подолати ряд викликів та впровадити стратегічні ініціативи. Розглянемо ключові напрямки розвитку Логістики 4.0 у 2023–2024 роках.

1. Стандартизація та інтеграція

Розробка єдиних стандартів та протоколів є критично важливою для забезпечення сумісності між різними технологіями та системами. У 2024 році понад 75% великих підприємств планують впровадити автоматизовані системи на складах, що вимагає інтеграції різноманітних технологій, таких як RFID, робототехніка, дрони та блокчейн. Для ефективної інтеграції необхідно створити єдині стандарти обміну даними та взаємодії між системами.

2. Співпраця та партнерство

Зміцнення співпраці між урядами, підприємствами та науковими установами є важливим аспектом розвитку Логістики 4.0. Наприклад, компанія GXO інвестує до 50 мільйонів доларів США в автоматизацію складів, співпрацюючи з брендами для впровадження смарт-технологій, доступних навіть для малих підприємств. Такі партнерства сприяють обміну знаннями та ресурсами, що дозволяє малим та середнім підприємствам (МСП) впроваджувати передові технології.

3. Підтримка МСП

Забезпечення доступу МСП до нових технологій є ключовим для їх конкурентоспроможності. У 2024 році понад 50% малих підприємств планують інвестувати в автоматизацію складів. Однак високі початкові витрати можуть бути бар'єром для впровадження цих технологій. Для підтримки МСП необхідно розробити фінансові механізми, такі як субсидії,

пільгові кредити та програми навчання, що дозволять малим підприємствам впроваджувати передові технології без значних фінансових витрат.

4. Сталий розвиток

Впровадження екологічно чистих технологій та практик є важливим напрямком розвитку Логістики 4.0. У 2024 році компанія DHL планує скоротити свої викиди CO₂ до нуля до 2050 року, впроваджуючи альтернативні види пального, електричні транспортні засоби та програми компенсації викидів. Крім того, компанії активно впроваджують інновації у пакуванні, використовуючи біорозкладні матеріали та оптимізуючи процеси для зменшення відходів.

5. Адаптивність до змін

Розробка гнучких логістичних стратегій, здатних швидко реагувати на зміни в глобальному середовищі, є необхідною для забезпечення стійкості ланцюгів постачання. У 2024 році понад 57% глобальних компаній планують впровадити стратегії nearshoring, що передбачають перенесення виробництва та розподілу ближче до кінцевих ринків. Це дозволить зменшити залежність від глобальних ланцюгів постачання, які можуть бути вразливими до геополітичних подій та пандемій.

Логістика 4.0 відкриває нові можливості для розвитку логістичних систем, однак для їх реалізації необхідно подолати ряд викликів. Розробка єдиних стандартів, зміцнення співпраці між різними секторами, підтримка МСП, впровадження сталих практик та розробка гнучких стратегій є ключовими напрямками розвитку Логістики 4.0 у 2023–2024 роках. Реалізація цих ініціатив сприятиме створенню ефективних, стійких та екологічно чистих логістичних систем, здатних задовольнити зростаючі вимоги глобальної торгівлі та споживачів.

Розвиток Логістики 4.0 є важливим етапом у трансформації глобальної економіки. Вона пропонує значні переваги, зокрема підвищення ефективності, прозорості та стійкості ланцюгів постачання. Однак для реалізації її потенціалу необхідно подолати численні виклики, зокрема

технологічні, економічні, екологічні та геополітичні. Лише за умови скоординованих зусиль усіх учасників процесу можна досягти успіху в розвитку Логістики 4.0.

У ході дослідження нами розроблено науково-практичні рекомендації для розвитку Логістики 4.0 в умовах глобальної економіки

1. Забезпечення взаємодії і сумісності технологій

Однією з основних умов успішної реалізації Логістики 4.0 є забезпечення сумісності різних систем і платформ, що використовуються в логістиці. Сьогодні багато компаній працюють із різноманітним програмним забезпеченням, апаратними засобами та стандартами, які не завжди легко інтегруються один з одним. Це створює інформаційні розриви, підвищує витрати і знижує швидкість реакції на зміни.

Щоб уникнути таких проблем, важливо сприяти розробці єдиних міжнародних стандартів і протоколів, які б регламентували обмін даними, взаємодію пристроїв і програмного забезпечення. Залучення до цього процесу таких організацій, як ISO, ITU та інших галузевих консорціумів, дозволить створити універсальні рішення, які полегшать інтеграцію різноманітних технологій та зроблять систему більш гнучкою і масштабованою.

2. Розвиток компетенцій і управління змінами

Впровадження нових технологій неможливе без підготовленого персоналу. Для ефективної роботи з автоматизованими системами, аналітикою великих даних і штучним інтелектом потрібно навчати як технічних спеціалістів, так і менеджерів логістичних процесів. Це вимагає створення сучасних навчальних програм і безперервного професійного розвитку.

Окрім технічних навичок, важливо приділяти увагу управлінню змінами, оскільки адаптація до нових технологій часто зустрічає опір з боку працівників через побоювання втрати робочих місць або незнання нових процесів. Прозоре інформування, залучення персоналу до процесів

трансформації і демонстрація того, як технології покращують роботу, сприяють більш швидкому і гладкому переходу.

3. Підвищення кібербезпеки і захисту даних

Зі збільшенням кількості підключених пристроїв і потоку даних зростає і ризик кіберзагроз. Атаки на логістичні системи можуть мати серйозні наслідки — від затримок у доставці до фінансових збитків і шкоди репутації. Тому кібербезпека має стати пріоритетом.

Організації повинні впроваджувати комплексні заходи захисту: шифрування інформації, двофакторну аутентифікацію, постійний моніторинг загроз і регулярне тестування систем на вразливості. Також важливо дотримуватися міжнародних стандартів з безпеки і конфіденційності, таких як GDPR, щоб гарантувати захист персональних та комерційних даних.

4. Екологічна відповідальність та стале зростання

Окрім економічної ефективності, Логістика 4.0 повинна враховувати екологічний аспект. Технології, які допомагають оптимізувати маршрути доставки, знижують витрати пального і викиди CO₂, сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля. Водночас важливо оцінювати екологічний слід від впровадження нових цифрових рішень, оскільки дата-центри і автоматизовані системи можуть споживати значну кількість енергії.

Підприємствам рекомендовано інвестувати в відновлювані джерела енергії, електротранспорт і більш екологічні матеріали для пакування. Ведення прозорої звітності щодо екологічних показників допоможе контролювати прогрес і підвищувати довіру партнерів і клієнтів.

5. Гнучкість і стійкість ланцюгів постачання

Сучасна глобальна економіка характеризується високою мінливістю — геополітичні конфлікти, пандемії, зміни клімату створюють нові виклики для логістики. Логістика 4.0 дозволяє підвищити адаптивність ланцюгів постачання за допомогою систем моніторингу в реальному часі і аналітики ризиків.

Компаніям слід розробляти стратегії диверсифікації постачальників, розглядати варіанти nearshoring — перенесення виробництва ближче до кінцевих споживачів, а також створювати резервні маршрути і альтернативні логістичні канали. Це дозволить швидше реагувати на форс-мажори і підтримувати стабільність постачання.

6. Співпраця і формування екосистем

Розвиток Логістики 4.0 вимагає тісної взаємодії між різними учасниками ринку — від виробників і перевізників до технологічних компаній і державних органів. Обмін знаннями, ресурсами та інноваціями пришвидшує впровадження нових рішень і знижує ризики.

Публічно-приватне партнерство має особливе значення для створення інфраструктури, підтримки малого і середнього бізнесу, а також запуску навчальних ініціатив. Створення кластерів і інноваційних хабів дозволяє тестувати нові технології у реальних умовах і масштабувати найкращі практики.

7. Використання аналітики даних для підвищення ефективності

Дані, що генеруються у Логістиці 4.0, відкривають нові горизонти для оптимізації. Проте важливо не лише збирати інформацію, а й ефективно її аналізувати за допомогою машинного навчання і штучного інтелекту.

Аналітика допомагає прогнозувати попит, оптимізувати запаси, передбачати збої у роботі обладнання та вибирати найкращі маршрути. Прозорість, яку дає спільний доступ до даних між партнерами, покращує координацію і знижує надлишкові витрати.

8. Етичні та соціальні аспекти

Важливо враховувати, що автоматизація і ШІ можуть викликати соціальні виклики, такі як скорочення робочих місць і непрозорість прийняття рішень. Відповідальний підхід передбачає створення політик підтримки працівників, що втратили роботу через автоматизацію, а також забезпечення зрозумілості та справедливості алгоритмів.

Впровадження етичних стандартів у сфері обробки даних і використання технологій допоможе зберегти довіру споживачів і партнерів, а також знизить ризики конфліктів і репутаційних втрат.

Таким чином, Логістика 4.0 — це не просто набір технологій, а цілісна система, яка змінює правила гри у глобальних ланцюгах постачання. Для успішного розвитку цього напрямку потрібен комплексний підхід, що включає технічні інновації, розвиток людського капіталу, забезпечення безпеки, екологічну відповідальність та соціальну справедливість. Співпраця між державними і приватними структурами, а також безперервне впровадження аналітичних інструментів дозволять створити ефективні, гнучкі та стійкі логістичні системи майбутнього.

Висновки до третього розділу

1. Розвиток інновацій у логістиці в контексті Логістики 4.0 характеризується цифровізацією, впровадженням штучного інтелекту, блокчейну, автоматизації, орієнтацією на сталий розвиток та клієнтоцентризмом. Ці тенденції фундаментально змінюють логістичні операції, роблячи їх більш прозорими, ефективними та адаптивними. Водночас необхідно долати виклики щодо інвестицій, сумісності систем, кібербезпеки та людського фактора, аби реалізувати повний потенціал Логістики 4.0 у глобальній економіці.

2. Одним із найпомітніших технологічних трендів у Логістиці 4.0 є використання Інтернету речей (IoT) — технології, що забезпечує зв'язок і обмін даними між фізичними пристроями, сенсорами та цифровими системами. Взаємопов'язані IoT-пристрої, такі як сенсори, RFID-мітки (радіочастотні ідентифікатори) та GPS-трекери, дозволяють відстежувати рух, місцезнаходження та стан товарів у реальному часі. Завдяки цьому підприємства отримують можливість ефективніше управляти ланцюгами

поставок, підвищувати прозорість операцій та оперативно реагувати на непередбачені ситуації. Іншим важливим напрямом застосування IoT є прогнозування технічного обслуговування (predictive maintenance). Завдяки безперервному моніторингу стану транспортних засобів і обладнання на складах системи можуть передбачати ймовірність поломок або необхідність ремонту до того, як вони стануть критичними. Особливу роль у впровадженні нових технологій відіграють хмарні обчислення та API-інтеграція, які дають змогу під'єднувати нові сервіси без повної заміни існуючої IT-інфраструктури. Однією з перспективних технологій у сфері кібербезпеки логістики є блокчейн. Завдяки своїй децентралізованій структурі та незмінності записів, блокчейн може

3. Світовий ринок IoT у логістиці має величезний потенціал росту: очікується, що його обсяг досягне 52,2 млрд доларів США до 2028 року, демонструючи середньорічний темп зростання (CAGR) 15,5% у період з 2023 по 2028 роки [53]. Це свідчить про високий попит на інноваційні рішення, які підвищують ефективність і прозорість логістичних процесів.

4. У ході дослідження нами розроблено науково-практичні рекомендації для розвитку Логістики 4.0 в умовах глобальної економіки. Основними напрямками вважаємо:

- Забезпечення взаємодії і сумісності технологій
- Розвиток компетенцій і управління змінами
- Підвищення кібербезпеки і захисту даних
- Екологічна відповідальність та стале зростання
- Гнучкість і стійкість ланцюгів постачання
- Співпраця і формування екосистем
- Використання аналітики даних для підвищення ефективності
- Етичні та соціальні аспекти

ВИСНОВКИ

1. Логістика 4.0 — це нова парадигма, яка кардинально змінює управління ланцюгами постачання завдяки інтеграції таких технологій, як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ), великі дані, роботизація та блокчейн. Вона відкриває широкі можливості для підвищення ефективності, прозорості і гнучкості логістичних процесів. Проте для повноцінного впровадження та використання цих інноваційних технологій необхідно врахувати низку науково обґрунтованих і практичних аспектів. Логістика 4.0 є сучасною концепцією, що відображає інтеграцію цифрових технологій у логістичні процеси з метою підвищення їх ефективності, гнучкості та адаптивності. Як наукова категорія, вона сприяє розвитку нових теоретичних підходів та практичних рішень у сфері логістики, відповідаючи на виклики цифрової економіки. Подальше дослідження та впровадження Логістики 4.0 є важливим кроком на шляху до створення інноваційних, стійких та конкурентоспроможних логістичних систем.

2. Впровадження концепції Логістики 4.0 супроводжується значними технологічними викликами, які охоплюють як технічні, так і організаційні аспекти. Основою цієї трансформації є інтеграція передових цифрових технологій, таких як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ), великі дані (Big Data), блокчейн, хмарні обчислення, автономні транспортні засоби та роботизовані системи управління складом. Ці інструменти здатні радикально змінити структуру й функціонування ланцюгів постачання, забезпечуючи вищий рівень автоматизації, оперативності й точності рішень.

3. Розвиток інновацій у логістиці в контексті Логістики 4.0 характеризується цифровізацією, впровадженням штучного інтелекту, блокчейну, автоматизації, орієнтацією на сталий розвиток та клієнтоцентризмом. Ці тенденції фундаментально змінюють логістичні операції, роблячи їх більш прозорими, ефективними та адаптивними. Водночас необхідно долати виклики щодо інвестицій, сумісності систем,

кібербезпеки та людського фактора, аби реалізувати повний потенціал Логістики 4.0 у глобальній економіці.

4. Одним із найпомітніших технологічних трендів у Логістиці 4.0 є використання Інтернету речей (IoT) — технології, що забезпечує зв'язок і обмін даними між фізичними пристроями, сенсорами та цифровими системами. Взаємопов'язані IoT-пристрої, такі як сенсори, RFID-мітки (радіочастотні ідентифікатори) та GPS-трекери, дозволяють відстежувати рух, місцезнаходження та стан товарів у реальному часі. Завдяки цьому підприємства отримують можливість ефективніше управляти ланцюгами поставок, підвищувати прозорість операцій та оперативно реагувати на непередбачені ситуації. Іншим важливим напрямом застосування IoT є прогнозування технічного обслуговування (predictive maintenance). Завдяки безперервному моніторингу стану транспортних засобів і обладнання на складах системи можуть передбачати ймовірність поломок або необхідність ремонту до того, як вони стануть критичними. Особливу роль у впровадженні нових технологій відіграють хмарні обчислення та API-інтеграція, які дають змогу під'єднувати нові сервіси без повної заміни існуючої IT-інфраструктури. Однією з перспективних технологій у сфері кібербезпеки логістики є блокчейн. Завдяки своїй децентралізованій структурі та незмінності записів, блокчейн може

Світовий ринок IoT у логістиці має величезний потенціал росту: очікується, що його обсяг досягне 52,2 млрд доларів США до 2028 року, демонструючи середньорічний темп зростання (CAGR) 15,5% у період з 2023 по 2028 роки [53]. Це свідчить про високий попит на інноваційні рішення, які підвищують ефективність і прозорість логістичних процесів.

5. У ході дослідження нами розроблено науково-практичні рекомендації для розвитку Логістики 4.0 в умовах глобальної економіки. Основними напрямками вважаємо:

- Забезпечення взаємодії і сумісності технологій
- Розвиток компетенцій і управління змінами

- Підвищення кібербезпеки і захисту даних
- Екологічна відповідальність та стале зростання
- Гнучкість і стійкість ланцюгів постачання
- Співпраця і формування екосистем
- Використання аналітики даних для підвищення ефективності
- Етичні та соціальні аспекти

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abdirad, M., Krishnan, K. (2020). Industry 4.0 in logistics and supply chain management: A systematic literature review. *Engineering Management Journal*, 33(3), 187–201. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935>
2. Aćimović, S., Mijušković, V., Bugarčić, F. Ž. (2022). Logistics system as a factor of business development: the case of the Republic of Serbia. *Ekonomika preduzeća*. 70(5–6), 325–334. <https://doi.org/10.5937/EKOPRE2206325A>
3. Adeitan, A. D., Aigbavboa, C., Agbenyeku, E. E. O. (2019). Global Logistics in the Era of Industry 4.0. In: Arai, K., Bhatia, R., Kapoor, S. *Proceedings of the Future Technologies Conference 2019*, 652–660. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32523-7_48
4. Aiken, L. S., West, S. G. (1991). *Multiple Regression: Testing and Interpreting Interactions*. Thousand Oaks: Sage.
5. Akram, R., Ibrahim, R. L., Wang, Z., et al. (2023). Neutralizing the surging emissions amidst natural resource dependence, eco-innovation, and green energy in G7 countries: Insights for global environmental sustainability. *Journal of Environmental Management*, 344, 118560.
6. Alibekova, G., Medeni, T., Panzabekova, A., et al. (2020). Digital Transformation Enablers and Barriers in the Economy of Kazakhstan. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(7), 565–575. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no7.565>
7. Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., et al. (2022). An exploratory survey on the impacts of Logistics 4.0 on Italian manufacturing companies. *International Journal of Integrated Supply Management*, 15(2), 121–150. <https://doi.org/10.1504/IJISM.2022.121909>
8. Arvis, J. F., Ojala, L., Wiederer, C., et al. (2018). *Connecting to compete 2018: trade logistics in the global economy*. World Bank Working Paper No. 128355.

9. Bag, S., Gupta, S., Luo, Z. (2020). Examining the role of logistics 4.0 enabled dynamic capabilities on firm performance. *The International Journal of Logistics Management*, 31(3), 607–628. <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2019-0311>
10. Baron, R. M., Kenny, D. A. (1986). The moderator–mediator variable distinction in socialpsychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of personality and social psychology*, 51(6), 1173–1182. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173>
11. Barreto, L., Amaral, A., Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>
12. Bıçakcıoğlu-Peynirci, N., Hizarci-Payne, A. K., Özgen, Ö., et al. (2020). Innovation and export performance: a meta-analytic review and theoretical integration. *European Journal of Innovation Management*, 23(5), 789–812. <https://doi.org/10.1108/EJIM-06-2019-0149>
13. Bugarčić, F. Ž., Skvarciany, V. (2023). Logistics Influence on FDI: “hard” versus “soft” Infrastructure Components. *European Journal of International Management*. <https://doi.org/10.1504/EJIM.2022.10051618>
14. Bugarčić, F. Ž., Skvarciany, V., Stanišić, N. (2020). Logistics performance index in international trade: case of Central and Eastern European and Western Balkans countries. *Business: Theory and Practice*, 21(2), 452–459. <https://doi.org/10.3846/btp.2020.12802>
15. Çemberci, M., Civelek, M. E., Canbolat, N. (2015). The moderator effect of global competitiveness index on dimensions of logistics performance index. *Procedia – Social And Behavioral Sciences*, 195, 1514–1524. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.453>
16. D’Aleo, V., Sergi, B. S. (2017). Does logistics influence economic growth? The European experience. *Management Decision*, 55(8), 1613–1628. <https://doi.org/10.1108/md-10-2016-0670>

17. Dallasega, P., Rauch, E., Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205–225. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
18. Delfmann, W., Ten Hompel, M., Kersten, W., et al. (2018). Logistics as a science: Central research questions in the era of the fourth industrial revolution. *Logistics Research*, 11(9), 1–13. https://doi.org/10.23773/2018_9
19. Edeh, J. N., Obodoechi, D. N., Ramos-Hidalgo, E. (2020). Effects of innovation strategies on export performance: New empirical evidence from developing market firms. *Technological Forecasting and Social Change*, 158, 120167. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120167>
20. Ekici, Ş. Ö., Kabak, Ö., Ülengin, F. (2016). Linking to compete: Logistics and global competitiveness interaction. *Transport Policy*, 48, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.01.015>
21. Ekici, Ş. Ö., Kabak, Ö., Ülengin, F. (2019). Improving logistics performance by reforming the pillars of Global Competitiveness Index. *Transport Policy*, 81, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.06.014>
22. Facchini, F., Oleśków-Szłapka, J., Ranieri, L., et al. (2019). A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research. *Sustainability*, 12(1), 86. <https://doi.org/10.3390/su12010086>
23. Gani, A. (2017). The Logistics Performance Effect in International Trade. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33(4), 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.12.012>
24. Hausman, W. H., Lee, H. L., Subramanian, U. (2013). The impact of logistics performance on trade. *Production and Operations Management*, 22(2), 236–252. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2011.01312.x>
25. Hofmann, E., Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>

26. Jagtap, S., Bader, F., Garcia-Garcia, G., et al. (2020). Food logistics 4.0: Opportunities and challenges. *Logistics*, 5(1), 2. <https://doi.org/10.3390/logistics5010002>
27. Kayikci, Y. (2018). Sustainability impact of digitization in logistics. *Procedia Manufacturing*, 21, 782–789. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2018.02.184>
28. Lai, K. H., Wong, C. W. Y., Cheng, T. C. E. (2010). Bundling digitized logistics activities and its performance implications. *Industrial Marketing Management*, 39(2), 273–286. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2008.08.002>
29. Luttermann, S., Kotzab, H., Halaszovich, T. (2020). The impact of logistics performance on exports, imports and foreign direct investment. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 9(1), 27–46. <https://doi.org/10.1504/WRITR.2020.106444>
30. Martí, L., Puertas, R., García, L. (2014). The importance of the Logistics Performance Index in international trade. *Applied economics*, 46(24), 2982–2992. <https://doi.org/10.1080/00036846.2014.916394>
31. Mičić, V. (2020). Industry 4.0 development conditions in the Republic of Serbia. *FACTA UNIVERSITATIS– Economics and Organization*, 17(2), 97–112.
32. Moldabekova, A., Philipp, R., Satybaldin, A. A., et al. (2021). Technological readiness and innovation as drivers for logistics 4.0. *The Journal of Asian Finance, Economics, and Business*, 8(1), 145–156. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no1.145>
33. Mostafiz, M. I., Sambasivan, M., Goh, S. K. (2021). Antecedents and consequences of market orientation in international B2B market: role of export assistance as a moderator. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 36(6), 1058–1075. <https://doi.org/10.1108/JBIM-09-2019-0411>
34. Núñez-Merino, M., Maqueira-Marín, J. M., Moyano-Fuentes, J., et al. (2020). Information and digital technologies of Industry 4.0 and Lean supply chain

management: a systematic literaturereview. *International Journal of Production Research*, 58(16), 5034–5061.<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1743896>

35. Puertas, R., Martí, L., García, L. (2014). Logistics performance and export competitiveness: Europeanexperience. *Empirica*, 41(3), 467–480.
<https://doi.org/10.1007/s10663-013-9241-z>

36. Richey Jr., R. G., Davis-Sramek, B. (2020). Supply Chain Management and Logistics: An EditorialApproach for a New Era. *Journal of Business Logistics*, 41(2), 90–93.<https://doi.org/10.1111/jbl.12251>

37. Schwab, K. (2017). The fourth industrial revolution. New York: Currency. ISBN 978-1524758868.

38. Sergi, B. S., D'Aleo, V., Konecka, S., et al. (2021). Competitiveness and the Logistics PerformanceIndex: The ANOVA method application for Africa, Asia, and the EU regions. *Sustainable Citiesand Society*, 69, 102845.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102845>

39. Ślusarczyk, B., Tvaronavičienė, M., Haque, A. U., et al. (2020). Predictors of Industry 4.0 technologiesaffecting logistic enterprises' performance: international perspective from economic lens.Technological and economic development of economy, 26(6), 1263–1283.<https://doi.org/10.3846/tede.2020.13376>

40. Strange, R., Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, global value chains and international business.*Multinational Business Review*, 25(3), 174–184.
<https://doi.org/10.1108/MBR-05-2017-0028>

41. Timm, I. J., Lorig, F. (2015). Logistics 4.0-A challenge for simulation. In: IEEE. 2015 Winter SimulationConference (WSC), 3118–3119.
<https://doi.org/10.1109/WSC.2015.7408428>

42. Torbacki, W., Kijewska, K. (2019). Identifying Key Performance Indicators to be used in Logistics 4.0and Industry 4.0 for the needs of sustainable municipal logistics by means of the DEMATELmethod. *Transportation Research Procedia*, 39, 534–543.<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.055>

43. Udeagha, M. C., Ngepah, N. (2021). The asymmetric effect of trade openness on economic growth in South Africa: a nonlinear ARDL approach. *Economic Change and Restructuring*, 54(2), 491–540. <https://doi.org/10.1007/s10644-020-09285-6>
44. Ullah, S., Adebayo, T. S., Irfan, M., et al. (2023). Environmental quality and energy transition prospects for G-7 economies: The prominence of environment-related ICT innovations, financial and human development. *Journal of Environmental Management*, 342, 118120. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118120>
45. WEF (2017). *Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains*. Genève: World Economic Forum.
46. WEF (2019). *Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains*. Genève: World Economic Forum.
47. WEF (2020). *Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains*. Genève: World Economic Forum.
48. WEF (2022). *Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains*. Genève: World Economic Forum.
49. Winkelhaus, S., Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistic system. *International Journal of Production Research*, 58(1), 18–43. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964>
50. Zaninović, P. A., Zaninović, V., Skender, H. P. 2020. The effects of logistics performance on international trade: EU15 vs CEMS. *Economic Research – Ekonomska Istraživanja*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1844582>
51. Офіційний сайт Державної статистики України (2024), <https://ukrstat.gov.ua>
52. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України (2023), <https://mtu.gov.ua/>
53. World Bank (2024.) *Logistics Performance Index*, <https://lpi.worldbank.org/>