

УДК 656.01:658.286:656.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.270-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.270-285)

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, **С.Ю. Тищенко**, асп., **А.В. Гриньків**, ст. дослідник, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: AulinVV@gmail.com

Інноваційні рішення в складській логістиці

В статті розглядаються сучасні тенденції в складській логістиці, такі як автоматизація, цифровізація, омніканальність, екологічна сталість та зростання електронної комерції. Основні проблеми галузі включають високі витрати на автоматизацію, недостатню кваліфікацію персоналу для роботи з інноваційними технологіями, складнощі адаптації до глобальних змін у ланцюгах постачання та необхідність дотримання екологічних стандартів. Проведено аналіз останніх досліджень щодо використання інтелектуальних систем, великих даних, штучного інтелекту та Інтернету речей для оптимізації складських операцій. Розроблено заходи інноваційного підходу для підвищення ефективності управління складськими процесами та конкурентоспроможності складських підприємств і комплексів. Запропоновано підходи для оцінки впливу новітніх технологій на управління складською логістикою та досягнення сталого розвитку складського господарства.

склад, логістика, інновація, технологія, управління, інтелектуальні системи

Постановка проблеми. Проблеми сучасних тенденцій в складській логістиці пов'язані з низкою викликів та можливостей, що виникають у контексті глобалізації, цифровізації та змін у споживчій поведінці [1]. Ключовими аспектами та проблемами, з якими стикається складська логістика в сучасних умовах, є наступні:

- автоматизація та роботизація;
- цифровізація та великі дані;
- глобалізація та зміна ланцюгів постачання;
- екологічні виклики та сталість;
- зростання електронної комерції;
- омніканальність.

Сучасні технології дозволяють значно підвищити ефективність складів та їх комплексів завдяки автоматизованим системам управління, роботам та дронам. Однак це вимагає значних інвестицій, що є проблематичним для малих і середніх підприємств. При цьому основною проблемою є високі початкові витрати на автоматизацію та інтеграцію нових технологій. Найвизначнішим ризиком, який полягає у неправильному впровадженні або обслуговуванні автоматизованих систем, що може призвести до збоїв у роботі складу та складських комплексів.

Зростання обсягів інформації, яку обробляють підприємства, фірми, компанії, вимагає вдосконалення систем управління складськими процесами та господарством. В даній ситуації цифрові інструменти допомагають краще відстежувати запаси, прогнозувати попит і оптимізувати ресурси. В той час вимагається необхідність адаптації до нових технологій, таких як Інтернет речей (IoT) і штучний інтелект (ШІ) [2]. На практиці стикаються з недостатньою кваліфікацією персоналу для роботи з цифровими інструментами та управлінням великими даними.

На сьогодні глобалізація змінює структуру логістичних мереж, що вимагає від складів та складських комплексів швидкого реагування на зміни у світовій економіці,

пов'язані з коливаннями цін на енергію, політичну нестабільність або природні катастрофи. Це обумовлює проблему складності адаптації до змін у глобальних ланцюгах постачання і ризик перебоїв в постачанні, що не може не вплинути на роботу складських комплексів.

Оскільки сучасні тенденції зосереджуються на зниженні вуглецевого сліду та екологічних впливах, то в складській практиці слід приділити увагу використанню екологічних матеріалів для пакування, та зниження енергоспоживання складів. Це свідчить про необхідність вкладу значних інвестицій у модернізацію складів та їх комплексів, щоб відповідати чинним екологічним стандартам. Недотримання екологічних норм може призвести до штрафів і втрати конкурентоспроможності.

Останнім часом зростання електронної комерції призводить до зміни вимог до функціонування складів та їх комплексів. При цьому більше уваги слід приділяти обробці індивідуальних замовлень, що ускладнює управління запасами та доставку товарів(вантажів). Це викликає необхідність швидкого реагування на зростання обсягів замовлень, особливо в пікові періоди. Затримки в обробці обсягів замовлень можуть призвести до втрати клієнтів [3,11].

Спостережувана тенденція омніканальності функціонування складів та їх комплексів, вимагає від них гнучкості у роботі з різними каналами збуту — від роздрібних магазинів до електронної комерції. Це ускладнює управління запасами та процесами виконання замовлень, а тому є потреба в інтеграції всіх каналів збуту в єдину логістичну систему. Якщо інтеграція каналів збуту неперспективна, то це може призвести до плутанини в управлінні запасами та виникненню незадоволення клієнтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій, що стосується учасних тенденцій в складській логістиці свідчить про значний інтерес до проблем автоматизації, цифровізації, сталого розвитку та омніканальності [2]. В публікаціях відображаються як наукові, так і практичні підходи вирішення нових питань і завдань, пов'язаних із глобалізацією, зростанням електронної комерції та розвитком сучасних технологій в складській логістиці.

Автоматизація є одним з основних напрямків досліджень. Роботизація складів та автоматизовані системи управління запасами дозволяють суттєво скоротити витрати на обробку товарів та підвищити ефективність операцій. Згідно з доповіддю McKinsey (2022) [4], рівень автоматизації складів зростає, і до 2030 року 50% усіх складів можуть бути повністю автоматизованими [5,25,26]. У доповіді також акцентується на важливості інвестицій у роботизовані системи для великих компаній, а також на ризики для малого та середнього бізнесу через значні початкові витрати. Компанії Amazon та Alibaba активно впроваджують роботи для виконання складських операцій, що дозволяє прискорити процеси збору вантажів(товарів) та їх пакування.

Дослідження у цій галузі цифровізації зосереджуються на використанні великих даних, штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (IoT) для оптимізації процесів управління функціонування складом та складськими комплексами [2,27,28].

У звіті PwC (2023) [6] досліджується роль цифрових рішень у логістиці. Показано, що підприємства, фірми, компанії, які впроваджують аналітику великих даних та ШІ для прогнозування попиту, можуть скоротити втрати через надлишок або нестачу товарів на 10...20% [7,26]. При цьому програмне забезпечення для управління складом WMS дозволяє підприємствам, фірмам, компаніям краще контролювати запаси, покращувати точність обліку та підвищувати продуктивність персоналу, задіяних в роботі складських господарств і комплексів [8,29,30].

Тенденція до екологічної сталості є важливою темою в сучасній складській логістиці. У багатьох дослідженнях підкреслюється потреба у зменшенні вуглецевого

слідують та екологічних впливів [9]. Згідно з публікацією Harvard Business Review (2023) [10,13], підприємства, фірми, компанії, що впроваджують стратегії сталого розвитку, зокрема використання відновлюваних джерел енергії для складів, можуть знизити операційні витрати та покращити репутацію бренду [9,10]. Скандинавська мережа магазинів ІКЕА, яка в 2017 році мала 411 магазинів в 49 країнах, в тому числі в Україні, створює "зелені склади", що використовують енергію від сонячних панелей та впроваджує екологічно чисті матеріали для пакування товарів (вантажів) [12-15].

Зростання обсягів онлайн-замовлень в електронній комерції викликає великий інтерес у дослідженнях щодо управління складськими операціями. У звіті Gartner (2023) зазначено, що до 2025 року майже 70% складів будуть спеціально адаптовані для виконання індивідуальних замовлень електронної комерції [16]. Це потребує нових підходів до управління запасами та збільшення швидкості обробки замовлень. Усі основні гравці ринку електронної комерції, такі як Amazon, Walmart, та інші, впроваджують багатоканальні стратегії, щоб забезпечити швидке обслуговування клієнтів та мінімізувати час доставки товарів [21,22].

Значна увага приділяється інтеграції омніканальних систем для забезпечення єдиного процесу управління продажами через різні канали (онлайн і офлайн). Дослідження, проведене Deloitte (2022) [17], вказує на те, що омніканальні склади з єдиною інтегрованою системою управління запасами дозволяють підприємствам, фірмам, компаніям краще управляти попитом споживачів і мінімізувати витрати на транспортування [23,24]. Багато ритейлерів (наприклад, Target, Zara) активно інтегрують онлайн та офлайн системи для підвищення якості обслуговування клієнтів і скорочення часу доставки товарів.

Цифровізація та автоматизація підвищують потребу в дослідженнях щодо захисту даних і кібератак на логістичні системи [18]. Згідно зі звітом Cybersecurity Ventures (2023)[25], складські логістичні системи стають ціллю для кібератак, особливо через зростання використання IoT-пристроїв. Необхідність впровадження надійних систем кіберзахисту є критичною для сучасних складів [12,13,19,20].

Таким чином, в даній роботі передбачається комплексне дослідження сучасних тенденцій у складській логістиці та надання практичних рекомендацій для бізнесу щодо підвищення їх ефективності в умовах швидких змін.

Постановка завдання. Метою завдання є розробка інноваційних рішень підвищення продуктивності та конкурентоспроможності логістичних складських господарств та комплексів на підприємствах, фірмах, компаніях.

Для реалізації мети в даній роботі розв'язуються наступні завдання:

1. Дати аналіз ключових тенденцій, що відбуваються у сфері складської логістики, та свідчить про їх ефективність.

2. Визначити проблеми та виклики, які постають перед складськими логістичними системами та комплексами в умовах швидкого розвитку ринку та глобальних змін, впровадженням інноваційних технологій, адаптації їх функціонування до нових умов роботи та забезпечення кібербезпеки.

3. Виявити вплив новітніх технологій на ефективність управління складськими операціями та оптимізацію процесів зберігання, транспортування і обробки товарів та розробити метод оцінювання цього впливу.

4. Вивчити екологічні вимоги та їх вплив на операційну діяльність складів та з'ясувати шлях досягнення сталого розвитку у складській логістиці.

Виклад основного матеріалу. Відомо [1,5,9,20], що у логістиці прийнято вважати, що чим краще налагоджені складські системи і комплекси, тим більше товарообіг, вище рентабельність обігового капіталу і відповідно більше обігових

коштів. На підприємствах, фірмах, компаніях, складські системи і комплекси можуть працювати більш ефективно, що дає їм нові ринкові можливості.

Ефективне управління складським господарством вимагає ретельного планування, яке включає визначення розташування стелажів для зберігання, зон навантаження та розвантаження, а також вибір відповідного обладнання. Це безпосередньо впливає на продуктивність складських операцій. Наприклад, якщо часто використовуваний товар знаходиться далеко від зон прийому і відвантаження, на його переміщення витрачається багато часу. Крім того, для ефективного контролю роботи складу важливо здійснити оптимізацію складських логістичних процесів.

На сьогодні позитивному розвитку складської логістики перешкоджають наступні фактори:

- відсутність кваліфікованих кадрів;
- слабка логістична інфраструктура складських систем і комплексів;
- застарілі технології складської логістики;
- недостатнє розуміння керівництвом підприємств, фірмах, компаній логістичних складських проблем;
- недостатня база знань логістичного управління складськими системами та комплексами, особливо це стосується впровадження інтелектуальних елементів.

Під час проектування складу завдання аналізу складської роботи вирішують за допомогою аналітичних методів, заснованих передусім на середніх величинах добових товаропотоків прибуття та відправлення товарів. Однак ці потоки є величинами змінними, оскільки вони залежать від численних факторів організаційного, технологічного, фінансового, юридичного характеру.

На практиці при проектуванні складських систем і комплексів, зазвичай застосовується аналітичний метод оцінки за середніми величинами товаропотоків та запасів зберігання.

При цьому спочатку визначають середній добовий товаропотік, палети/добу:

$$\bar{Q}_{\text{дв}} = \frac{Q_{\text{рв}}}{T_{\text{р}}} \quad , \quad (1)$$

де $Q_{\text{рв}}$ – річний товаропотік (річна переробна здатність складу), палети/рік;

$T_{\text{р}}$ – кількість діб роботи складу на рік, діб/рік.

Запаси зберігання та необхідна ємність складу визначаються з використанням середнього терміну зберігання вантажів $T_{\text{зб}}$, на добу:

$$\bar{R}_{\text{зб}} = \frac{Q_{\text{рв}}}{T_{\text{зб}}} \quad , \quad (2)$$

У ланцюгах постачань наявними є склади різного типу та призначення, для яких за досвідом їх проектування та експлуатації існують певні нормативні терміни зберігання $T_{\text{зб}}$. Для складів матеріально-технічного постачання промислових підприємств $T_{\text{зб}}$ становить 20...25 діб, для виробничих технологічних складів промислових підприємств – від 4...6 годин до 1 доби, для складів готової продукції промислових підприємств – 3...5 діб, для оптових торгових складів – 30...40 діб, для складів роздрібною торгівлі – 5...10 діб, для складів експедиторських компаній – 5...15 діб, для перевалочних складів на магістральному транспорті – 2...7 діб, для складів сезонних товарів – до 180 діб.

Страховий запас товарів для постачального складу визначається як різницю максимальної видачі товарів за добу та мінімального їх прибуття:

$$I_{c3} = \max(S_j = 1.2m) - \min(q_v, i = 1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

При цьому розглядають всі можливі поєднання прибуття та відправлення товарів зі складу та по кожному поєднанню визначають запас зберігання товарів та ймовірність цього запасу. Величину запасу зберігання для кожного k -го поєднання добових товаропотоків прибуття та відправлення товарів, визначають таким чином:

$$I_k = I_{c3} + q_k - S_k, \quad (4)$$

де I_{c3} – страховий запас товарів, палет;

q_k – добовий товаропотік прибуття в k -ту добу, палет;

S_k – добовий товаропотік відправлення в k -ту добу, палет.

Ймовірність запасу зберігання товарів на k -у добу визначається за формулою добутку ймовірностей двох незалежних випадкових подій:

$$P_k = a(q_k) \cdot B(S_k). \quad (5)$$

Шуканий запас зберігання товарів на складі визначається як математичне очікування всіх можливих поєднань добових товаропотоків прибуття та відправлення товарів, число яких дорівнює $n \cdot m$.

Поповнення запасів тягне за собою фінансові вкладення. При досягненні оптимального співвідношення між необхідним рівнем запасів та витратами обчислюють економічний розмір замовлення (economic order quantity) за формулою:

$$EOQ = \frac{2A_{вв} D_{pn}}{V_{нвв} R_{св}}, \quad (6)$$

Де D_{pn} – рівень попиту, $A_{вв}$ – виробничі витрати, $R_{св}$ – складські витрати, $V_{нвв}$ – величина питомих виробничих витрат [26,27].

Крім того, потрібно також врахувати наступні фактори:

– стрибкоподібне збільшення товарного попиту протягом усього терміну його реалізації;

– непостійність термінів поповнення запасів;

– політика, що проводиться підприємством, фірмою, компанією щодо обслуговування своїх клієнтів.

Розрахунок та аналіз складських систем та комплексів необхідно проводити тільки в сукупності з роботою суміжних підрозділів: постачання, продажу, сервісу, транспорту та ін.

Для ефективного запуску організації складського господарства, перш за все, важливо визначити пріоритетні ключові показники ефективності. Це можна зробити, уточнюючи та перевіряючи стратегічні та оперативні цілі підприємства, фірми і компанії. Мета повинна бути сформульована таким чином, щоб не обов'язково відображати фінансовий показник як основний критерій успішності. Пріоритетні показники ефективності зведені до таблиці 1.

Після сформулювання цілей складської логістики підприємства, фірми, компанії, матеріальні потоки на складах мають бути організовані за допомогою технологічних операцій, що базуються на кількох ключових показниках:

1. Швидкість обороту товарів відображає те, як часто за звітний період поповнюється і вичерпується запас на складі. Його нормативний показник визначається залежно від функціональних особливостей складу та умов постачання. Збільшення оборотності досягається автоматизацією процесів та підвищення продуктивності

робітників складського комплексу.

2. Безпека споживчих властивостей товарів є ключовою для складської логістики. Цей показник визначається порівнянням втрат через природні фактори і технічні недоліки. Технологічні процеси, матеріально-технічна база підприємства, фірми, компанії, та якість упаковки впливають на збереження товарів на складі.

3. Економічність складських технологічних процесів вимірюється витратами на обробку середнього обсягу товарів. Оптимізація цього показника досягається через удосконалення всієї системи переміщення товарів, що впливає на ефективність ланцюга постачання через зменшення загальних витрат на переміщення матеріальних цінностей.

Таблиця 1 – Ключові показники ефективності управління складом на підприємстві, фірмі, компанії

Найменування ключових показників	Методика розрахунку показників по групах	Одиниці виміру
Група "Якість"		
Частка виконаних замовлень	Частка виконаних замовлень без рекламаций через склад	95%
Норматив на обробку рекламаций товару	Середній встановлений час на опрацювання рекламаций якості складських операцій	10 днів
Група "Ефективність процесів"		
Продуктивність персоналу складу (KPI)	Середня кількість замовлень, відвантаженого складом, за одиницю робочого часу у звітному періоді	500Зам./змiна
Норматив на оприбуткування товару	Середня кількість часу, витраченого на оприбуткування нормативної кількості товару	8 год/доба
Група "Недоліки"		
Собівартість складських операцій	Середня собівартість обробки одиниці товару (по відвантаженню)	грн./шт.

Джерело: розроблено авторами на підставі [17]

У методології логістичної оптимізації складів підприємств, фірм, компаній широко використовується правило Паретто. Іноді це правило називають Закон 80/20. На базі правила Паретто 80/20 будується ціла галузь математичного аналізу, тобто ABC-аналіз [22]. В основі цього аналізу лежить поділ об'єкта аналізу на три групи за ступенем їх важливості та ефективності за певним критерієм.

У складській логістиці методики реалізації аналізу 80/20 та ABC є аксіомами. На практиці дуже добре працюють у практичному застосуванні наступні співвідношення:

- 20% товарів мають 80% товарного запасу;
- 20% операцій мають 80% трудомісткості складської товарообробки;
- 20% клієнтів приносять 80% обороту підприємства, фірми, компанії.

На основі ABC-аналізу за критерієм "кількість звернень до товару" будується стратегія розміщення товару за адресними осередками складу. При цьому оптимізацію складської логістики необхідно проводити, використовуючи поділ товарів, контрагентів на класифікаційні групи по ABC-аналізу, з метою оптимального розподілу ресурсів і витрат. Щоб оптимізувати склад потрібно оптимізувати кожен ланку у складському логістичному ланцюзі постачання, тобто, необхідна оптимізація кожного з

бізнес-процесів, кожної операції рівня дій, кожного співробітника складу.

Оптимальна робота складу та його параметри повністю залежать від суміжних ланок ланцюга постачань: процесів закупівлі та продажу товару. Усі логістичні процеси ланцюга мають бути чітко пов'язані, скоординовані, синхронізовані, регламентовані та нормовані.

Оптимізація складу здійснюється для досягнення наступних результатів:

- зниження складських витрат;
- підвищення рівня сервісу складу;
- підвищення продуктивності праці;
- автоматизація складу.

Оптимізація витрат – це не мінімізація, а пошук оптимальної величини у витратах для забезпечення роботи складу із заданим рівнем якості та продуктивності праці. Рівень обслуговування клієнтів є основною конкурентною перевагою підприємства, фірми, компанії. Дуже часто склад стає "вузьким місцем" у підприємстві, фірмі, компанії, що не дозволяє збільшувати обсяги продажу. Автоматизація складу здійснюється за допомогою програмного забезпечення управління складом, WMS. Будь-яка система WMS потребує розробки алгоритму для налаштування та доопрацювання. Потрібно чітко розуміти, що система WMS – це лише програмний інструмент, яким необхідно навчитися користуватись. Перед використанням будь-якої системи WMS необхідно розробити оптимальний алгоритм роботи складу у вигляді логістичної бізнес-моделі з логічно описаних складських бізнес-процесів.

Оптимізація складської логістики передбачає проведення наступних заходів:

1. Вилучення застарілого обладнання та матеріалів.

Швидкий технологічний розвиток призводить до накопичення застарілих апаратів та обладнання у більшості промислових підприємств, фірм і компаній. Щоб звільнити простір і заощадити кошти, рекомендується відмовитися від цих ресурсів. Продаж такого майна може також приносити певні фінансові вигоди.

2. Реалізація залишків непроданих товарів.

Надмірно заповнені склади не лише не приносять доходу, а й вимагають додаткових витрат. Важливо провести аналіз усіх товарів і визначити, які з них вже вважаються неліквідами, оскільки критерії цього поняття можуть варіюватися. Також варто вивчити причини нагромадження цих товарів і вжити заходів для запобігання їх подальшому накопиченню.

3. Зменшення витрат на персонал.

Спочатку необхідно з'ясувати, які конкретно обов'язки виконують співробітники відділу складської логістики і складу. Це може здійснюватися за допомогою фотозйомки під час робочого процесу. Однак варто уникати масштабних звільнень та спочатку розглядати можливості оптимізації та змін у роботі персоналу, а також звільняти лише тих працівників, чия робота не пов'язана з основними завданнями відділу.

4. Оптимізація запасів.

Багато підприємств, фірм і компаній неефективно управляють запасами, підтримуючи надмірні обсяги товарів на складах для уникнення можливого дефіциту. Ефективне управління запасами є критичним для забезпечення їх економічної стабільності.

5. Розробка ефективної системи управління запасами.

Основне завдання логістики – це створення ефективної системи управління запасами. Керівництво може розглядати можливість самостійного розроблення такої системи або звернутися за консультацією до спеціалістів у цій області. Для успішної

реалізації проєкту ефективної системи управління запасами необхідно виконати наступні кроки:

- класифікувати складську продукцію (методика ABC/XYZ);
- розрахувати обсяг і рівень запасів без нестачі і надлишку товарів;
- визначити політику управління закупок у кожному разі;
- розробити способи контролю і планування поповнення резервів.

Економічний прорив забезпечує оптимізацію і контроль не лише у сфері запасів продукції і управління складською логістикою у постачальників.

6. Відповідність категорії складу потребам підприємства, фірми, компанії.

Існують різні категорії складів, наприклад категорії А. В той час далеко не всякий товар потребує використання саме цих приміщень. Іноді це просто розкіш. Однак, надмірна економія на тому, якого рівня склад підприємство може призвести до суттєвих втрат:

- буде зіпсований товар, оскільки опиниться у невідповідних умовах зберігання;
- недостатньо кваліфіковані працівники складу можуть також призвести до непридатності продукції;
- у сховищах з поганою системою обліку товарів та лінивою охороною часто відбуваються розкрадання товарів;
- помилки в процесі формування замовлень можуть призвести до штрафів та конфліктів із клієнтами;
- вибрати не тільки приміщення, а й все обладнання та машини лише відповідно до логістичних цілей.

7. Ефективне розміщення запасів на складі.

Ефективне розміщення запасів на складі є ключовим аспектом складської логістики, який потребує детального аналізу умов зберігання товарів. Часто товари, які не рухаються, займають цінне місце, тоді як швидкозростаючі товари розташовуються стратегічно. Щоб оптимізувати роботу складу, підвищити використання його потужностей та поліпшення комплектування замовлень, необхідно переглянути систему розміщення товарів відповідно до їх класифікації. Розумне зонування забезпечує оптимізацію процесів на підприємстві.

8. Поліпшення якості роботи персоналу.

Поліпшенням якості роботи персоналу є важливою складовою організації складської логістики підприємства, що відповідає японській практиці кайдзен. Якщо персонал відчуває, що його ідеї важливі, це надає керівництву цінну інформацію для оптимізації процесів. Співробітники можуть самі сприяти зменшенню помилок, покращенню обслуговування, прискоренню роботи та зниженню витрат.

9. Задокументування усіх нововведень та прописання їх у регламенті.

Після завершення оптимізації складської логістики важливо задокументувати всі нововведення та прописати їх у регламенті. Слід також визначити час і процедури прийому та відправлення товарів, розподіл персоналу за зонами, та необхідно провести навчання для персоналу.

Більшість сучасних складських комплексів використовують системи управління складом WMS, які отримують інформацію від штрих-кодів і RFID-міток на товарах. На вищому рівні працюють системи контролю складу WCS, що відслідковують не тільки товари, але й роботу складського обладнання за допомогою сенсорів. Дані цих систем допомагають оптимізувати складські процеси (рис.1). Окремі склади впроваджують системи автоматизації будівель BAS, що керують освітленням, вентиляцією, кондиціонуванням, а також забезпечують безпеку та контроль доступу.

Сучасні системи WMS, WCS і BAS мають інтерактивні дашборди, які

дозволяють складським операторам ефективно керувати процесами. Технології Інтернету речей (IoT) об'єднують дані цих систем, забезпечуючи їхню взаємодію для вирішення складних завдань. Наприклад, для продукції, що потребує спеціальних температурних умов, система BAS може відслідковувати температурні коливання за допомогою сенсорів і, у разі досягнення критичних значень, передавати сигнал в систему WMS, яка повідомить працівників про проблему.

IoT у логістиці представлений різноманітними технологіями, від сенсорів, датчиків, міток і роботів до засобів комунікації між ними. Зв'язок між пристроями та системами керування забезпечується за допомогою бездротових технологій, таких як Bluetooth, RFID, ZigBee, WiFi, а також мобільних мереж 3G і LTE, що інтегрують усі пристрої в єдину мережу.

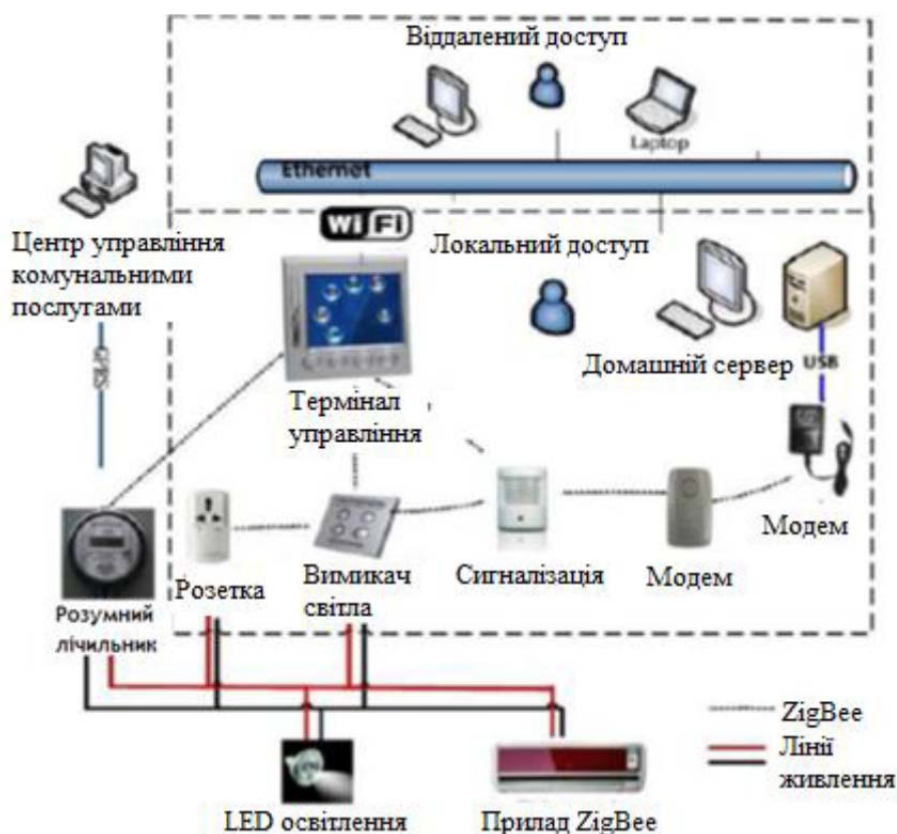


Рисунок 1 – Структурна схема роботи технології "розумний дім" стосовно складських споруд
Джерело: розроблено авторами напідставі [4]

Складська логістика, де щодня мільйони об'єктів маркуються і транспортуються на різні відстані, ідеально підходить для впровадження Інтернету речей (IoT). На складах IoT-пристрої використовуються для збору інформації про матеріальні активи на всіх етапах ланцюга постачань, з подальшою обробкою та аналізом цих даних. Це дає змогу логістичним компаніям, а також торговим і виробничим підприємствам, які самостійно виконують деякі логістичні функції, застосовувати IT-інструменти для підвищення операційної ефективності, створюючи нові автоматизовані сервіси як для внутрішнього використання, так і для зовнішніх клієнтів.

Ефективність складських процесів, обіг складів, контроль за наповненням та залишками стають важливими інструментами у конкурентній боротьбі. Насправді контроль за складом та складськими комплексами, де одночасно знаходяться сотні та тисячі одиниць різноманітних товарів з різними умовами зберігання – це справжній

виклик. На сьогодні просто маркування товарів на складі вже недостатньо для його ідеальної роботи. Існує багато "прихованих" активів – від полиць до навантажувачів, які можна зробити ефективнішими та об'єднати в єдину систему за допомогою сучасних технологій.

Перша сфера застосування технологій IoT на складах – це "розумне" управління інвентарем (smart inventory management). Дані сенсорів та датчиків надходять у систему WMS, дозволяючи в реальному часі відстежувати, що зберігається на складі, у якій кількості, і виправляти помилки в зберіганні.

IoT-рішення також сприяють підвищенню ефективності складського обладнання – від навантажувачів до транспортерних стрічок. Вони можуть бути обладнані сенсорами для оптимізації їхньої пропускної здатності та швидкості роботи. Наприклад, компанія Swisslog пропонує рішення Smart LIFT, яке використовує сенсори на підйомниках та штрих-коди на полицях, а дані передаються до системи WMS за допомогою локальної системи GPS. Це дозволяє водіям навантажувачів отримувати завдання з актуальним місцезнаходженням товарів. Це рішення було впроваджено на складі Bobcat, де компанія змогла збільшити обробку палет на 30% на годину без помилок.

Інтернет речей також допомагає ретельніше контролювати роботу складських працівників і підвищувати їхню безпеку. За даними Асоціації промислового транспорту ІТА США, у країні використовується понад 855 тис. вилкових навантажувачів, і щороку трапляється понад 100 тис. нещасних випадків, пов'язаних із ними. Більшість таких інцидентів стосуються "пішоходів", тобто інших працівників, які перебувають поруч.

Друга сфера – контроль за цілісністю товарів та інших матеріальних активів. Це обширна область. Наприклад, система може контролювати умови зберігання товарів, яка потребує особливих умов. Крім того, за допомогою камер на складі та в зоні відвантаження можна виявляти пошкодження упаковки або товарів.

Третя сфера – підвищення якості обслуговування клієнтів. Датчики в зоні відвантаження можуть забезпечити додаткову перевірку, щоб гарантувати, що вантаж направляється потрібному клієнту, зменшуючи ризик помилок і пересортування. Для великих клієнтів можна організувати послуги з онлайн-моніторингу їхніх товарів, що сприятиме зростанню їхньої лояльності. Можливість відстежувати вантаж по всьому ланцюгу підвищує довіру клієнтів до логістичного оператора.

Використання сенсорів, мікропроцесорів та бездротових технологій на складах і транспорті вже стало нормою, а штрих-коди та RFID-мітки застосовуються протягом багатьох років. Логістичні компанії стали одними з піонерів промислового Інтернету речей, використовуючи широкий спектр обладнання — від ручних сканерів до сенсорів, що відслідковують рух техніки. Проте це реалізується лише початковий потенціал системи IoT від обсягу загального потенціалу, який можливий на сучасних складах і комплексах. (рис. 2).

Слід пам'ятати, що у центрі кожної складної технології завжди присутня більш проста основа. Для "розумного" складу такою основою є RFID-технологія (Radio Frequency Identification). Радіочастотна ідентифікація, яка дозволяє отримувати дані з транспондерів (RFID-міток). З розвитком цієї технології з'явилися нові її можливості: RFID-мітки можуть передавати не тільки основну інформацію, але й значно більший обсяг додаткових даних. Для розумних складів це може бути інформація про термін придатності товару, виробника, колір, вагу, умови зберігання тощо.

Крім RFID, важливу роль відіграє система управління складом WMS (Warehouse Management System), яка автоматизує процеси управління складом. Основні її функції

включають управління трудовими ресурсами, складськими операціями (прийом, комплектація, відправка товару), складування, управління замовленнями, поповнення запасів, вибір оптимальних варіантів упаковки, автоматичне ведення документації та управління персоналом.



Рисунок 2 – Схема роботи технології "Розумний склад"

Джерело: розроблено авторами на підставі [18]

Інноваційний підхід до технологій "Розумного складу" передбачає наступні запропоновані технологічні рішення:

1. Автоматизований облік та документообіг. Це включає автоматизацію всіх складських операцій і документів, що значно підвищує ефективність процесів.

2. Інтеграція з обліковими системами та датчики для автоматизації. На складі використовуються радіотермінали, через які дані про надходження та замовлення надходять безпосередньо з облікових систем клієнта, що спрощує процеси та зменшує кількість помилок.

3. Системи бізнес-процесів. Бізнес-процеси прописуються за задалегідь встановленими правилами. Ці правила налаштовуються один раз вручну, а далі система автоматично їх застосовує для оптимізації роботи. Крім того, система зберігає велику кількість даних, що відкриває нові можливості для аналітики.

4. Поєднання технології "Розумний склад" з бізнес-процесами. Це дає можливість покращити внутрішні процеси складу: система аналізує поточні бізнес-процеси, визначає "вузькі місця" та пропонує користувачам найкращі практики з різних галузей.

5. Підтримка нових технологій та систем в організації бізнес-процесів. До цих технологій і систем належать: "pick-by-light"; "pick-to-light"; "pick-by-voice"; "pick-by-vision"; біотелеметрія; відеологістика; віртуальна реальність.

6. Автоматизація процесів на прикладі складів Amazon і Knapp. Ці склади використовують дронів та роботів для виконання всіх завдань з максимальною точністю. Проте такі системи вимагають великих інвестицій та високої стабільності

економіки. Автоматизовані склади – це дороге рішення, яке можуть собі дозволити лише великі компанії.

7. Машинне навчання та нейромережі, які є технологіями штучного інтелекту в складських системах. Хоча повноцінного алгоритму для повної автоматизації бізнес-процесів ще немає, машинне навчання вже впроваджується в окремі модулі сучасних WMS. Очікується, що в майбутньому ці технології значно вдосконалять роботу складських систем.

Розумний склад (Smart warehouse) – це технічний продукт, де важливо поєднати інфраструктуру з технологіями для оптимізації процесів, таких як розвантаження, транспортування, комплектування полиць, обробка замовлень і відправлення. Чим швидше виконуються ці операції, тим ефективнішим є склад. При проектуванні Smart warehouse основна увага надається програмному забезпеченню (ПЗ), яке пов'язує у собі воедино не тільки ядро програми, що безпосередньо управляє складом, а й потенційні замовники та виробники. Про момент закінчення певного товару, згідно з історією попиту обов'язково повідомляються клієнти, які регулярно купують цей товар. Вони повідомляють адміністратора Smart warehouse про свої плани, а він автоматично формує заявку постачальникам.

Після цього ПЗ заздалегідь визначає майданчики для розміщення товару, враховуючи попит, умови зберігання та оптимальні маршрути доставки до пунктів відвантаження. Якщо товар потребує зберігання за низьких температур, його спрямовують до спеціалізованих холодильників.

Зазначимо, що попит на ті чи інші групи товарів найчастіше має певну логіку. При цьому до уваги беруться моменти зростання інтересу до товару і, відповідно, частіше замовляють, тим ближче до пунктів обробки товарів переміщуються стелажі із "запасами" – у так звану гарячу зону. Як тільки свята проходять, одразу товари переміщуються углиб складської зали у зв'язку з падінням запитів – уже у холодну зону.

Навіть якщо спеціальної техніки немає, і доставку до пунктів обробки виконують складські працівники, час на це скорочується значно. У простих випадках, коли стелажі стаціонарні, контейнери з найбільш популярним товаром для наступного дня автотранспортом переміщують за вказівкою спеціальної програми після завершення робочого дня.

Також система Smart warehouse повинна забезпечити місце для зберігання браку. Це дозволяє одночасно обробляти товари та прокладати найоптимальніші маршрути. В результаті заповнюваність полиць досягає 80-95%. Зазначимо, що на звичайних дилерських складах замовлення виконуються послідовно, а заповнюваність полиць із найзатребуванішими товарами не перевищує 50%. При цьому енергоефективність складу як мінімум удвічі вища, ніж у стандартних центрах.

Організувати роботу звичайного складу за принципом технології та системи Smart warehouse може невелика група досвідчених фахівців. Практика показує, що кожна гривня, вкладена у "розумну логістику", приносить складу 1,5 гривні додаткового прибутку і дозволяє економити близько 50% оборотних коштів, що обслуговуються у такому інноваційному центрі зберігання. Це суттєво підвищує конкурентоспроможність.

Перехід до концепції і системи "розумного" складу вимагає дослідження статистики переміщення товарів щонайменше протягом одного кварталу. Цього часу достатньо для формування загального уявлення про стан справ і специфіку роботи клієнта.

Крім того, знадобиться спеціальне обладнання, включаючи системи автоматизації обліку на основі штрих-кодів, мобільні промислові сканери, а також промисловий Wi-Fi

для обміну даними між терміналами збору даних і співробітниками складу.

Сьогодні "розумними" стають логістичні комплекси, де замовлення обробляються за алгоритмами інтелектуального ПЗ. У таких складах застосовують спеціалізовану робототехніку, термінали збору даних, RFID-мітки та штрих-коди. Управління товарними потоками здійснюється автоматично за пріоритетами адміністратора складу, на відміну від рутинної роботи традиційного комірника.

Оцінити вартість впровадження такого проєкту складно, оскільки кожен склад має свою специфіку. За американськими стандартами інвестиції повинні складати не менше 2...4% річної виручки логістичного центру, а прибуток може досягати 25% від замовлення.

Іншою інновацією Smart warehouse є їх автоматизація, що дозволяє значно знизити складські витрати, збільшити продуктивність, стабільність та якість роботи складу.

Модель складу в описаних бізнес-процесах дозволяє створити об'єктивну розрахункову систему роботи складу, де всі процеси і системи взаємопов'язані. При цьому оптимізацію можливо проводити, з погляду трудомісткості і часу виконання всіх бізнес-процесів, операцій, дій кожного співробітника, на основі системи нормування.

Висновки: 1. Аналіз ключових тенденцій у складській логістиці підтвердив їх значний вплив на підвищення ефективності логістичних процесів. Зокрема, автоматизація, цифровізація та омніканальність є основними напрямками розвитку, які дозволяють оптимізувати операційну діяльність складів. Інноваційні технології сприяють швидкому обміну інформацією та скороченню витрат на логістику, що позитивно впливає на продуктивність підприємств.

2. Визначено, що проблеми та виклики у складській логістиці включають потребу в значних інвестиціях для модернізації інфраструктури, забезпеченні кібербезпеки та адаптації до швидко мінливих умов ринку. Для підтримки конкурентоспроможності необхідно інтегрувати інноваційні рішення, які можуть задовольнити нові вимоги клієнтів, а також враховувати глобальні зміни та економічні коливання.

3. Розглянуто, що новітні технології мають позитивний вплив на управління складськими операціями, сприяючи оптимізації процесів зберігання, транспортування і обробки товарів. Визначено, що екологічні вимоги та сталий розвиток стають важливими чинниками в складській логістиці. Підприємства повинні впроваджувати екологічно чисті технології та практики, щоб відповідати сучасним стандартам сталого розвитку. Важливо забезпечити зниження енергоспоживання, мінімізацію відходів і використання екологічних матеріалів для досягнення сталого розвитку.

4. Розроблено метод оцінювання впливу технологій на ефективність логістичних операцій, що дозволяє визначати економічну доцільність впровадження конкретних інновацій. Запропонована типова структурна декомпозиція такої системи та її організаційна і функціональна структура.

5. Теоретично обґрунтовано запропоновані рекомендації для бізнесу які включають впровадження інтегрованих автоматизованих систем управління складами, інвестиції в новітні технології для підвищення ефективності логістичних операцій та реалізацію екологічно чистих технологій та тари. Це дозволить підвищити продуктивність складських господарств і зміцнити їхню конкурентоспроможність в умовах швидких змін ринку.

Список літератури

1. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія / під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.

2. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін та ін.; під заг. ред. В. В. Ауліна. Кропивницький: Лисенко В. Ф., 2020. 428с.
3. Біліченко В. В, Антонюк О. П. Підвищення ефективності експлуатації рухомого складу АТП шляхом прогнозування потреби в запасних частинах. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: V- а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 13-14 квітня 2017 р.: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 5 - 7.
4. Ballou, R.H. (2007) The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*. 19(4).P. 332-348.
5. Biniasz D. Logistyka dystrybucji u dostawcy przemysłowego: studium przypadku. *Logistyka*. 2015. № 3. P. 404-412.
6. Brix-Asala, C. Hahn R. Seuring S. Reverse logistics and informal valorisation at the Base of the Pyramid: A case study on sustainability synergies and trade-offs. *European Management Journal*. Vol. 34. № 4. 2016. P. 414-423.
7. Вуйак А., Gubskaya N. Innovations and changes in the logistics tasks implementations. *Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*. 2012. P. 45-58.
8. Juan A. Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*. 2016. Vol. 9.
9. Rakovska M. The impact of strategy and logistics on performance: a methodological framework. *Research in logistics and production*.2013. Vol. 3, № 3. P. 213-223.
10. Крикавський Є.В. Логістичне управління: Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2005. 684 с.
11. Литвишко Л. О. Управління формуванням та розподілом запасних частин для транспортних засобів: дис. канд. ек. наук: 08.00.04 / Литвишко Лілія Олександрівна Київ, 2013. 181 с.
12. Сумець О.М. Організаційне проектування логістичної системи підприємства. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. № 6(177). Ч.2. 2012. С. 76-81.
13. Тридід О. М., Логістика : монографія. Київ : Знання. 2008. 566 с.
14. Якименко Н. В. Застосування логістичного підходу в діяльності транспортної системи. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2014. № 45. С. 259-262.
15. Городко М.В. Передумови та закономірності використання логістичного менеджменту. *Економіка та держава*. 2017. № 8. С. 80-83.
16. Ballou, R. H. (2007). *Business logistics management*. Pearson Education.
17. *Manufacturing and Logistics IT, 1463-1172 / Interactive Business Communications, Ltd., UK: Latimer House, February 2008. 68 p.*
18. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The handbook of logistics and distribution management*. Kogan Page Publishers.
19. Mentzer, J. T., Stank, T. P., & Esper, T. L. (2008). Supply chain management and its relationship to logistics, marketing, production, and operations management. *Journal of Business Logistics*, 29(1).P. 31-46.
20. Денисенко М. П. Організація та проектування логістичних систем: монографія. Київ: Центр учбової літератури. 2010. 336 с.
21. Григорак М.Ю. Інноваційна логістика: концепції, моделі, механізми. Київ: НАУ, 2015. С. 31-68.
22. Біліченко В. В.,Цимбал С. В.,Антонюк О. П.Особливості застосування методу ABC для забезпечення запасними частинами рухомого складу автотранспортного підприємства. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: XII-а Міжн. наук.-практ. конф., м.Вінниця, 21-23 жовтня 2019 р.: тези доповіді. м.Вінниця, 2019. С.16-21.*
23. Аулін В.В., Солових А.Є., Дігтяр Б. Економіко-математичне моделювання процесів управління підприємством в умовах господарського ризику і невизначеності. *Наук. праці КДТУ. Екон. науки*.2000. Вип.8. С.151-156.
24. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Дьяченко В.О. Теоретичний системно-спрямований підхід до визначення інтегрального показника ефективності реалізації операцій в транспортних системах // *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2021. Вип. 4(35). С.232-247.
25. Андрушкевич З.М. Маркетинг-логістичне забезпечення діяльності машинобудівних підприємств: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.04 "Економіка та управління підприємствами". Хмельницький, 2011. 20 с.
26. Аулін В. В., Лисенко С. В.,Гриньків А. В.,Голуб Д. В.,Головатий А. О. Логістика постачання транспортних і виробничих підприємств, фірм, компаній: Навчальний посібник під заг. ред. д.т.н.,

- проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. 325 с.
27. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С.8-11.
 28. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1(7). 49с.
 29. Устенко М. О., Івашкевич В. С. Перспективи розвитку транспортно-логістичних систем України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. № 59. С. 84-90.
 30. В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, А.В. Гриньків, О.П. Цьонь, В.З. Гудь, А.О. Головатий, С.Ю.Тищенко, А.А. Сергійчук, Формування логістичної інформаційної системи ефективного управління транспортними і виробничими підприємствами// *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 9(40).

References

1. Teoretychni i metodolohichni osnovy lohistyky transportnykh i vyrobnychykh system: monohrafiia / pid zah. red. d.t.n., prof. Aulina V.V. Kropyvnytskyi: Vydavets Lysenko V.F., 2021. 503 p.[in Ukrainian].
2. Metodolohichni osnovy proektuvannia ta funktsionuvannia intelektualnykh transportnykh i vyrobnychykh system : monohrafiia / V. V. Aulin ta in.; pid zah. red. V. V. Aulina. Kropyvnytskyi: Lysenko V. F., 2020. 428 p.[in Ukrainian].
3. Bilichenko V. V, Antoniuk O. P. Pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii rukhomoho skladu ATP shliakhom prohnozuvannia potreby v zapasnykh chastynakh. Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu: V- a Mizhn. nauk.-prakt. internet-konf., m. Vinnytsia, 13-14 kvitnia 2017 r.: tezy dopovidi. Vinnytsia, 2017. P. 5-7[in Ukrainian].
4. Ballou, R.H. (2007) The evolution and future of logistics and supply chain management. *European Business Review*. 19(4).P. 332-348[in English].
5. Biniasz D. Logistyka dystrybucji u dostawcy przemysłowego: studium przypadku. *Logistyka*. 2015. № 3. P. 404-412 [in English].
6. Brix-Asala, C. Hahn R. Seuring S. Reverse logistics and informal valorisation at the Base of the Pyramid: A case study on sustainability synergies and trade-offs. *European Management Journal*. Vol. 34. № 4. 2016. P. 414-423 [in English].
7. Bujak A., Gubskaya N. Innovations and changes in the logistics tasks implementations. *Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*. 2012. P. 45-58 [in English].
8. Juan A. Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. *Energies*. 2016. Vol. 9 [in English].
9. Rakovska M. The impact of strategy and logistics on performance: a methodological framework. *Research in logistics and production*. 2013. Vol. 3, № 3. P. 213-223 [in English].
10. Krykavskiy Ye.V. Lohistychno upravlinnia: Lviv: Vyd-vo Nats. un-tu "Lvivska politekhnik", 2005. 684.P.[inUkrainian].
11. Lytvyshko L. O. Upravlinnia formuvanniam ta rozpodilom zapasnykh chastyn dlia transportnykh zasobiv: dys. kand. ek. nauk: 08.00.04 / Lytvyshko Liliia Oleksandrivna – Kyiv, 2013. 181 p[inUkrainian].
12. Sumets O.M. Orhanizatsiine proektuvannia lohistychnoi systemy pidpriemstva. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*. № 6(177). Ch.2. 2012. P. 76-81.
13. Trydid O. M., Lohistyka : monohrafiia. Kyiv : Znannia. 2008. 566 p[in Ukrainian].
14. Yakymenko N. V. Zastosuvannia lohistychnoho pidkhopu v diialnosti transportnoi systemy. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*. 2014. № 45. P. 259-262[in Ukrainian].
15. Horodko M.V. Peredumovy ta zakonornosti vykorystannia lohistychnoho menedzhmentu. *Ekonomika ta derzhava*. 2017. № 8. P. 80-83[in Ukrainian].
16. Ballou, R. H. (2007). *Business logistics management*. Pearson Education [in English].
17. *Manufacturing and Logistics IT, 1463-1172 / Interactive Business Communications, Ltd., UK: Latimer House, February 2008. 68 p. [in English].*
18. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2017). *The handbook of logistics and distribution management*. Kogan Page Publishers [in English].
19. Mentzer, J. T., Stank, T. P., & Esper, T. L. (2008). Supply chain management and its relationship to logistics, marketing, production, and operations management. *Journal of Business Logistics*, 29(1). P. 31-46 [in English].
20. Denysenko M. P. Orhanizatsiia ta proektuvannia lohistychnykh system: monohrafiia. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury. 2010. 336 p.[in Ukrainian].

21. Hryhorak M.Iu. Innovatsiina lohistyka: kontseptsii, modeli, mekhanizmy. Kyiv: NAU, 2015. P. 31-68[inUkrainian].
22. Bilichenko V. V., Tsymbal S. V., Antoniuk O. P. Osoblyvosti zastosuvannya metodu AVS dlia zabezpechennia zapasnyimi chastynami rukhomoho skladu avtotransportnoho pidpriemstva. Suchasni tekhnologii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu: XII -a Mizhn. nauk.-prakt. konf., m. Vinnytsia, 21-23 zhovtnia 2019 r.: tezy dopovidi. m. Vinnytsia, 2019. P. 16-21[inUkrainian].
23. Aulin V.V., Solovykh A.Ie., Dihtiar B. Ekonomiko-matematychni modeliuvannya protsesiv upravlinnia pidpriemstvom v umovakh hospodarskoho ryzyku i nevyznachenosti. Nauk. pratsi KDTU. Ekon. nauky. 2000. Vyp.8. P.151-156[inUkrainian].
24. Aulin V.V., Holub D.V., Zamurenko A.S., Hrynkiv A.V., Lysenko S.V., Diachenko V.O. Teoretychnyi systemno-spriamovanyi pidkhid do vyznachennia intehralnogo pokaznyka efektyvnosti realizatsii operatsii v transportnykh systemakh // Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. 2021. Vyp. 4(35). P.232-247[inUkrainian].
25. Andrushkevych Z.M. Marketynh-lohistychni zabezpechennia diialnosti mashynobudivnykh pidpriemstv: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. ekon. nauk: spets. 08.00.04 "Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy". Khmelnytskyi, 2011. 20 p[inUkrainian].
26. Aulin V. V., Lysenko S. V., Hrynkiv A. V., Holub D. V., Holovatyi A. O. Lohistyka postachannia transportnykh i vyrobnychyykh pidpriemstv, firm, kompanii: Navchalnyi posibnyk pid zah. red. d.t.n., prof. Aulina V.V. – Kropyvnytskyi: Vydavets Lysenko V.F., 2022. 325 p[inUkrainian].
27. Aulin V.V., Velykodnyi D.O., Diachenko V.O. Optymizatsiia i upravlinnia resursamy v transportno-lohistychnii systemi APK. Naukovi notatky. 2018. №62. P.8-11[inUkrainian].
28. Aulin V.V., Holub D.V., Bilichenko V.V. Metodolohichni pidkhid do vyznachennia rivnia yakosti funktsionuvannya transportnykh system. Visnyk mashynobuduvannya ta transportu. 2018. №1(7). 49 p[inUkrainian].
29. Ustenko M. O., Ivashkevych V. S. Perspektyvy rozvytku transportno-lohistychnyykh system Ukrainy. Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti. 2017. № 59. P. 84-90[inUkrainian].
30. V.V. Aulin, O.L. Liashuk, A.V. Hrynkiv, O.P. Tson, V.Z. Hud, A.O. Holovatyi, S.Iu. Tyshchenko, A.A. Serhiichuk, Formuvannya lohistychnoi informatsiinoi systemy efektyvnoho upravlinnia transportnyimi i vyrobnychyyimi pidpriemstvamy// Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. 2024. Vyp. 9(40)[inUkrainian].

Victor Aulin, Prof., DSc., **Sergii Tyshchenko**, post-graduate, **Andriy Hrynkiv**, Senior Researcher, PhD. tech. sci. *Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

Innovative Solutions in Warehouse Logistics

The article discusses current trends in warehouse logistics, such as automation, digitalization, omnichannel, environmental sustainability, and the growth of e-commerce. The main challenges of the industry include high automation costs, insufficient staff qualifications to work with innovative technologies, difficulties in adapting to global changes in supply chains, and the need to comply with environmental standards. The article analyzes the latest research on the use of intelligent systems, big data, artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) to optimize warehouse operations. The aim of the work is to develop innovative solutions to improve the efficiency of warehouse process management and the competitiveness of enterprises. Approaches are proposed to assess the impact of the latest technologies on warehouse logistics management and sustainable development. An analysis of key trends in warehouse logistics has confirmed their significant impact on improving the efficiency of logistics processes. In particular, automation, digitalization and omnichannel are the main areas of development that help optimize warehouse operations. Innovative technologies facilitate the rapid exchange of information and reduce logistics costs, which has a positive impact on the productivity of enterprises. Identified problems and challenges in warehousing logistics include the need for significant investments to modernize infrastructure, ensure cybersecurity, and adapt to rapidly changing market conditions. To maintain competitiveness, it is necessary to integrate innovative solutions that can meet new customer requirements, as well as take into account global changes and economic fluctuations. Thus, the study confirms the need for a comprehensive approach to the modernization of warehousing facilities that takes into account innovative, economic and environmental aspects.

warehouse, logistics, innovation, technology, management, intelligent systems

Одержано (Received) 19.10.2024

Прорецензовано (Reviewed) 23.10.2024

Прийнято до друку (Approved) 28.10.2024