

ПОЛЮХОВИЧ АНДРІЙ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: poliukhovych.a@kmutd.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0001-5941-4991>

КОВАЛЬОВ ЮРІЙ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: kovalov.ya@kmutd.com.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2321-6763>

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ГІБРИДНОЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

Мета. Теоретичне обґрунтування концепції гібридної транспортно-логістичної платформи, призначеної для функціонування у змішаному людино-роботизованому середовищі, а також формування принципів побудови її архітектури, функціональної структури та адаптивної навігації.

Методи. Методологічною основою дослідження є системний підхід до проєктування мехатронних транспортно-логістичних систем, аналіз сучасних наукових публікацій, узагальнення підходів мобільної робототехніки, мехатроніки та цифрової логістики, а також концептуальне моделювання. Використано методи структурно-функціонального синтезу, порівняльного аналізу та сценарного опису функціонування платформи.

Результати. Запропоновано концептуальну архітектуру гібридної транспортно-логістичної платформи, визначено її основні функціональні модулі та сформовано підхід до моделювання поведінки у змінному людино-роботизованому середовищі. Обґрунтовано взаємодію навігаційної, сенсорної, механічної та інформаційно-комунікаційної підсистем, що забезпечують адаптивне виконання транспортних операцій та інтеграцію із цифровою інфраструктурою підприємства.

Наукова новизна. Запропоновано структурно-функціональну концепцію гібридної транспортно-логістичної платформи, в межах якої транспортна, сенсорна, навігаційна та інформаційно-комунікаційна складові інтегровані в єдину мехатронну систему, орієнтовану на адаптивне функціонування у змінному людино-роботизованому середовищі на підприємствах легкої промисловості.

Практична значимість. Отримані результати можуть бути використані як теоретична основа для розроблення математичних моделей, алгоритмів керування та створення експериментальних зразків гібридних транспортно-логістичних платформ.

Ключові слова: гібридна транспортно-логістична платформа; мобільна робототехніка; мехатронна система; адаптивна навігація; людино-роботизована взаємодія.

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE CONCEPT OF A HYBRID TRANSPORT AND LOGISTICS PLATFORM

POLIUKHOVYCH ANDRII, KOVAL'OV YURI

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Purpose. The purpose of this study is to provide a theoretical justification for the concept of a Hybrid Transport and Logistics Platform (HTLP) intended for operation in mixed human–robot environments, as well as to formulate the principles underlying its architecture, functional structure, and adaptive navigation.

Methodology. The research is based on a systems approach to the design of mechatronic transport and logistics systems. The methodology combines the analysis of recent scientific publications, the synthesis of current approaches in mobile robotics, mechatronics, and digital logistics, together with conceptual modeling. Structural and functional synthesis, comparative analysis, and scenario-based modeling were applied to develop the proposed platform concept and describe its operating principles.

Results. A conceptual architecture of the Hybrid Transport and Logistics Platform is proposed, its principal functional modules are identified, and an approach to behavior modeling in dynamic human–robot environments is developed. The interaction between the navigation, sensing, mechanical, and information and communication subsystems is substantiated, providing adaptive execution of transport operations and seamless integration with the enterprise's digital infrastructure.

Scientific novelty. A structural and functional concept of a Hybrid Transport and Logistics Platform is proposed, in which the transport, sensing, navigation, and information and communication components are integrated into a unified mechatronic system designed for adaptive operation in dynamic human–robot environments at light industry enterprises.

Practical significance. The obtained results may serve as a theoretical basis for the development of mathematical models, control algorithms, and experimental prototypes of Hybrid Transport and Logistics Platforms intended for application in modern manufacturing and logistics systems.

Keywords: hybrid transport and logistics platform; mobile robotics; mechatronic system; adaptive navigation; human–robot interaction.

Вступ. Ефективність сучасних виробничих і транспортно-логістичних систем значною мірою визначається організацією внутрішньооб'єктного переміщення матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції. Дослідження логістичних процесів на підприємствах свідчать, що транспортні операції залишаються однією з найменш автоматизованих складових виробництва, що призводить до збільшення частки ручної праці, зниження продуктивності та ефективності матеріальних потоків [1, 2]. Це також стосується і підприємств легкої промисловості. Їм присутня насиченість транспортних потоків (складально-пошивальні цеха взуттєвого та швейного виробництва), з високою часткою ручної праці. Подальший розвиток виробничої логістики потребує створення транспортних систем, здатних працювати у змінному виробничому середовищі, адаптуватися до різних характеристик вантажів і забезпечувати безпечну взаємодію з персоналом. Важливу роль у цьому відіграють сучасні транспортні й перевантажувальні пристрої, а також мехатронні рішення, що забезпечують гнучкість транспортних процесів [3–5].

Одним із перспективних напрямів розвитку транспортно-логістичних систем є використання автономних мобільних роботів (Autonomous Mobile Robots – AMR), здатних функціонувати без жорстко визначеної транспортної інфраструктури та адаптувати маршрути руху відповідно до змін

навколишнього середовища. Сучасні дослідження охоплюють питання автономної навігації, сенсорного забезпечення, людино-роботизованої взаємодії та координації роботи мобільних роботів у логістичних системах [6, 7]. Паралельно розвиваються підходи цифрового проектування мехатронних систем і цифрової трансформації виробничої інфраструктури, що створюють передумови для інтеграції роботизованих платформ із корпоративними інформаційними системами підприємств [8, 9]. Водночас методичні підходи до транспортного моделювання можуть бути адаптовані для дослідження поведінки автономних транспортно-логістичних платформ у внутрішньооб'єктній логістиці [10]. Необхідність розвитку інтелектуальних транспортних систем і цифровізації логістичних процесів також визначена Національною транспортною стратегією України до 2030 року [11].

Незважаючи на значний науковий доробок, більшість існуючих досліджень присвячена окремим аспектам транспортно-логістичних систем і мобільної робототехніки. Питання комплексного поєднання транспортних, мехатронних і цифрових рішень у межах єдиної гібридної транспортно-логістичної платформи, призначеної для функціонування у змішаному людино-роботизованому середовищі, залишається недостатньо опрацьованим. Зокрема, потребують подальшого розвитку підходи

до формування архітектури таких платформ, визначення їх функціональних модулів, принципів адаптивної навігації та інтеграції із цифровими системами управління логістичними процесами.

Метою статті є теоретичне обґрунтування концепції гібридної транспортно-логістичної платформи для функціонування у змішаному людино-роботизованому середовищі та формування загальних принципів побудови її архітектури, функціональної структури й адаптивної навігації.

Сучасні міжнародні дослідження свідчать, що подальший розвиток внутрішньовиробничої логістики пов'язаний не лише з підвищенням автономності мобільних роботів, а й із забезпеченням їх ефективної взаємодії з людиною у спільному робочому просторі. У межах концепції Industry 5.0 особливого значення набувають людиноцентричність, безпечність та адаптивність роботизованих транспортних систем [12–14]. Водночас функціонування мобільних транспортних засобів у середовищі з непередбачуваним рухом персоналу може спричиняти уповільнення, вимушені зупинки та зниження продуктивності системи, що актуалізує завдання адаптивного керування транспортними процесами [13].

Постановка завдання. Питання автоматизації транспортно-логістичних процесів активно досліджуються у галузях виробничої логістики, мехатроніки та мобільної робототехніки. У роботах [1–5] розглянуто особливості організації внутрішньовиробничих вантажопотоків, конструктивні рішення транспортних і перевантажувальних пристроїв, а також динамічні особливості переміщення об'єктів транспортування. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для розроблення сучасних робототехнічних засобів внутрішньооб'єктної логістики.

Подальший розвиток роботизованих транспортних систем пов'язаний із використанням автономних мобільних роботів та формуванням спільних людино-роботизованих робочих просторів. Сучасні міжнародні дослідження охоплюють проблеми безпечної взаємодії мобільних транспортних засобів із персоналом,

координації роботизованих систем, адаптивного планування транспортних операцій та цифрової інтеграції таких систем із виробничою інфраструктурою [6, 7, 12, 13]. Зокрема, дослідження Verti та співавторів показує, що присутність персоналу в спільному транспортному просторі безпосередньо впливає на експлуатаційні показники роботизованої транспортної системи: повторні перетини маршрутів працівниками спричиняють уповільнення та зупинки транспортних засобів, збільшення часу переміщення і зниження пропускної здатності системи [13].

Поряд із цим у сучасних роботах розвиваються людиноцентричні підходи Industry 5.0 до організації взаємодії людини і робота [14], системні методи інтеграції мобільних роботів із іншими компонентами мехатронних комплексів [15], а також підходи до оцінювання продуктивності роботизованих транспортних систем на рівні всієї логістичної системи [16, 17]. Таким чином, міжнародний науковий доробок охоплює значну кількість окремих аспектів створення та експлуатації роботизованих транспортних систем.

Водночас зазначені підходи не усувають потреби у формуванні цілісної структурно-функціональної концепції транспортно-логістичної платформи, в межах якої механічна транспортна основа, сенсорне сприйняття середовища, адаптивне коригування маршруту та інформаційна взаємодія з цифровою логістичною інфраструктурою розглядаються як взаємопов'язані компоненти єдиної мехатронної системи. Саме така постановка є основою запропонованої в роботі концепції гібридної транспортно-логістичної платформи.

У зв'язку з цим завданням дослідження є формування концепції гібридної транспортно-логістичної платформи як інтегрованої мехатронної системи для роботи у змінному людино-роботизованому середовищі, визначення її функціональної архітектури та обґрунтування принципів адаптивної поведінки. Авторська складова дослідження полягає у системному поєднанні транспортної, сенсорної, навігаційної та інформаційно-комунікаційної складових

платформи в межах єдиної структурно-функціональної концепції, орієнтованої на адаптацію до динамічних умов внутрішньооб'єктної логістики.

Методи дослідження. Дослідження виконано із застосуванням системного підходу до проектування мехатронних транспортно-логістичних систем. Методологічною основою роботи є поєднання методів аналізу наукових джерел, структурно-функціонального синтезу, концептуального моделювання та порівняльного аналізу сучасних роботизованих транспортних систем.

На першому етапі проведено аналіз наукових праць, присвячених внутрішньо-об'єктній логістиці, автономним мобільним роботам, людино-роботизованій взаємодії та цифровому проектуванню мехатронних систем [1–9]. Це дозволило визначити сучасні тенденції розвитку транспортно-логістичних платформ, встановити їх основні функціональні характеристики та виявити напрями, що потребують подальших досліджень.

На другому етапі із використанням методів структурно-функціонального синтезу сформовано концептуальну модель гібридної транспортно-логістичної платформи як інтегрованої мехатронної системи. Під час побудови моделі визначено основні функціональні модулі платформи, їх взаємозв'язки та принципи інформаційної взаємодії між механічною, сенсорною, керуючою та комунікаційною підсистемами. Доцільність системного представлення складних мобільних мехатронних комплексів також підтверджується сучасними дослідженнями, у яких для інтеграції мобільних роботизованих та мехатронних підсистем застосовуються методи системного інжинірингу [15].

Подальший етап дослідження передбачав формування концептуального підходу до моделювання поведінки платформи у змінному середовищі. Для цього використано принципи транспортного моделювання та сценарного аналізу, що дозволяють враховувати зміну конфігурації середовища, появу динамічних перешкод і необхідність адаптивного коригування маршрутів руху [10]. Оцінювання роботи платформи здійснювалося на рівні концептуальних

сценаріїв її функціонування без побудови математичної моделі, що відповідає теоретичному характеру дослідження.

Результатом застосованої методики стало формування концепції гібридної транспортно-логістичної платформи, визначення її функціональної структури та принципів взаємодії із цифровою транспортно-логістичною інфраструктурою підприємства. Запропонований підхід створює основу для подальшого математичного моделювання, комп'ютерної симуляції та експериментальної перевірки запропонованих технічних рішень.

Структурну архітектуру запропонованої гібридної транспортно-логістичної платформи наведено на рис. 1.

Результати дослідження та обговорення. *Концептуальна архітектура гібридної транспортно-логістичної платформи.* У результаті проведеного дослідження сформовано концептуальну архітектуру гібридної транспортно-логістичної платформи (ГТЛП), яка розглядається як інтегрована мехатронна система для автоматизованого транспортування вантажів у змішаному людино-роботизованому середовищі. На відміну від традиційних автоматизованих керованих транспортних засобів (AGV), запропонована платформа орієнтована на функціонування в умовах динамічної зміни транспортної ситуації, наявності персоналу та необхідності безперервної взаємодії з цифровою інфраструктурою підприємства.

Концепція платформи базується на інтеграції механічної, сенсорної, керуючої та інформаційно-комунікаційної підсистем, що відповідає сучасним принципам цифрового проектування мехатронних виробів [8]. Такий підхід забезпечує не лише виконання транспортних операцій, а й сприйняття навколишнього середовища, прийняття навігаційних рішень, адаптацію до змін виробничої ситуації та інформаційну взаємодію із системами управління логістичними процесами підприємства [9].

Структурну (концептуальну) архітектуру запропонованої гібридної транспортно-логістичної платформи наведено на рис. 1.



Рис. 1. Структурно-функціональна архітектура гібридної транспортно-логістичної платформи

Центральний модуль керування координує роботу навігаційного, сенсорного, механічного та інформаційно-комунікаційного модулів. Навігаційний модуль забезпечує побудову та адаптивне коригування маршруту руху; сенсорний – сприйняття навколишнього середовища та виявлення перешкод; механічний – реалізацію переміщення платформи; інформаційно-комунікаційний – обмін даними із цифровою транспортно-логістичною інфраструктурою підприємства. Сукупність зазначених модулів формує єдину структурно-функціональну систему ГТЛП.

Запропонована модульна архітектура забезпечує можливість адаптації платформи до різних умов експлуатації, типів вантажів і рівнів автоматизації виробничих та складських об'єктів. Такий підхід створює основу для подальшого розвитку алгоритмів адаптивної навігації, поведінкового моделювання та цифрової інтеграції гібридних транспортно-логістичних платформ.

Підхід до моделювання поведінки платформи у змінному середовищі. Одним із ключових результатів дослідження є формування концептуального підходу до моделювання поведінки гібридної транспортно-логістичної платформи у змінному виробничому середовищі. На відміну від

традиційних автоматизованих транспортних засобів, що функціонують за наперед визначеними маршрутами, запропонована платформа повинна забезпечувати адаптивне прийняття рішень залежно від поточної транспортної ситуації, появи перешкод, зміни характеристик матеріальних потоків і взаємодії з персоналом.

Запропонований підхід базується на поєднанні принципів транспортного моделювання, сценарного аналізу та адаптивної навігації. При цьому поведінка платформи розглядається як послідовність взаємопов'язаних рішень щодо вибору маршруту, оцінювання навколишнього середовища та коригування траєкторії руху відповідно до поточних умов експлуатації [10].

Для оцінювання функціонування платформи виділено три типові сценарії роботи: базовий режим руху за відсутності перешкод, режим адаптивного обходу локальних перешкод та режим повного перепланування маршруту у разі блокування запланованої траєкторії. Такий підхід дозволяє аналізувати поведінку платформи в умовах різного рівня складності транспортної ситуації та оцінювати її здатність підтримувати безпечне й безперервне виконання транспортних операцій.

Типові сценарії функціонування гібридної транспортно-логістичної платформи наведено на рис. 2.

У базовому сценарії (рис. 2, а) платформа рухається сформованим маршрутом за відсутності перешкод. У разі появи локальної перешкоди або персоналу в робочій зоні здійснюється локальне коригування траєкто-

рії з подальшим поверненням до запланованого маршруту (рис. 2, б). Якщо подальший рух сформованим маршрутом неможливий, виконується його перепланування та формується альтернативний шлях до цільової позиції (рис. 2, в). Такий сценарний поділ відображає різні рівні адаптації платформи до змін транспортної ситуації.

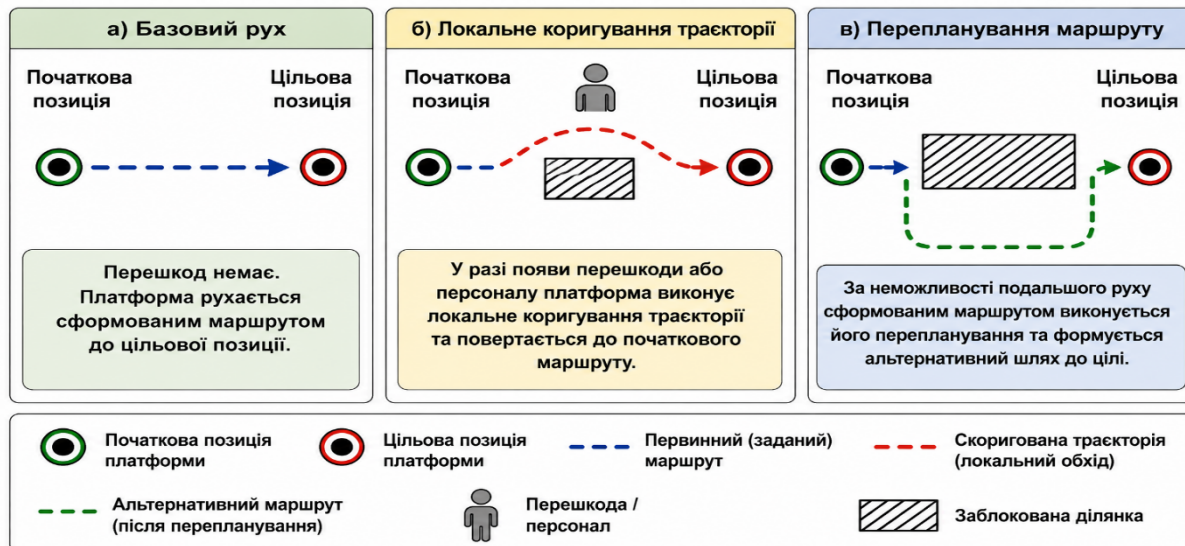


Рис. 2. Типові сценарії руху гібридної транспортно-логістичної платформи у змінному середовищі: а – базовий рух; б – локальне коригування траєкторії; в – перепланування маршруту

Отримані концептуальні результати узгоджуються із сучасними дослідженнями людино-роботизованої взаємодії в інтра-логістиці, які підтверджують необхідність урахування динамічної поведінки персоналу під час проектування роботизованих транспортних систем [12, 13]. Зокрема, Verti та співавтори показали, що збільшення кількості перетинів маршрутів працівниками призводить до зростання часу переміщення мобільних транспортних засобів та зниження загальної продуктивності системи [13]. Це підтверджує доцільність передбаченого у концепції ГТЛП адаптивного коригування маршруту залежно від поточного стану робочого середовища.

Водночас запропонована концепція відрізняється від підходів, спрямованих переважно на оцінювання окремих параметрів транспортного парку, його продуктивності або безпечності спільного робочого простору [13, 16, 17]. У цьому дослідженні основним об'єктом є сама гібридна транспортно-логістична платформа як інтегрована

мехатронна система, у якій функції сприйняття середовища, формування та коригування маршруту, реалізації руху й цифрової взаємодії розглядаються комплексно.

Запропонований підхід до моделювання поведінки платформи створює основу для подальшої розробки математичних моделей адаптивної навігації, алгоритмів планування руху та комп'ютерної симуляції транспортно-логістичних процесів у змішаному людино-роботизованому середовищі.

Очікувані переваги та перспективи практичного впровадження. Проведене дослідження показало, що запропонована концепція гібридної транспортно-логістичної платформи має низку переваг порівняно з традиційними автоматизованими транспортними засобами, які функціонують за фіксованими маршрутами. Насамперед це стосується здатності адаптуватися до змін транспортної ситуації без необхідності суттєвого перепланування виробничої інфраструктури або створення спеціалізованої стаціонарної навігаційної інфраструктури.

Завдяки інтеграції сенсорної системи, адаптивної навігації та цифрової взаємодії з інформаційними системами підприємства платформа може оперативно реагувати на появу перешкод, зміну конфігурації маршрутів і транспортних потоків, забезпечуючи безпечне виконання логістичних операцій у змішаному людино-роботизованому середо-

вищі. Це створює передумови для підвищення ефективності внутрішньооб'єктної логістики, скорочення непродуктивних простоїв та більш раціонального використання виробничих ресурсів.

Алгоритм прийняття навігаційних рішень, який реалізує запропонований підхід до адаптивного керування платформою, наведено на рис. 3.

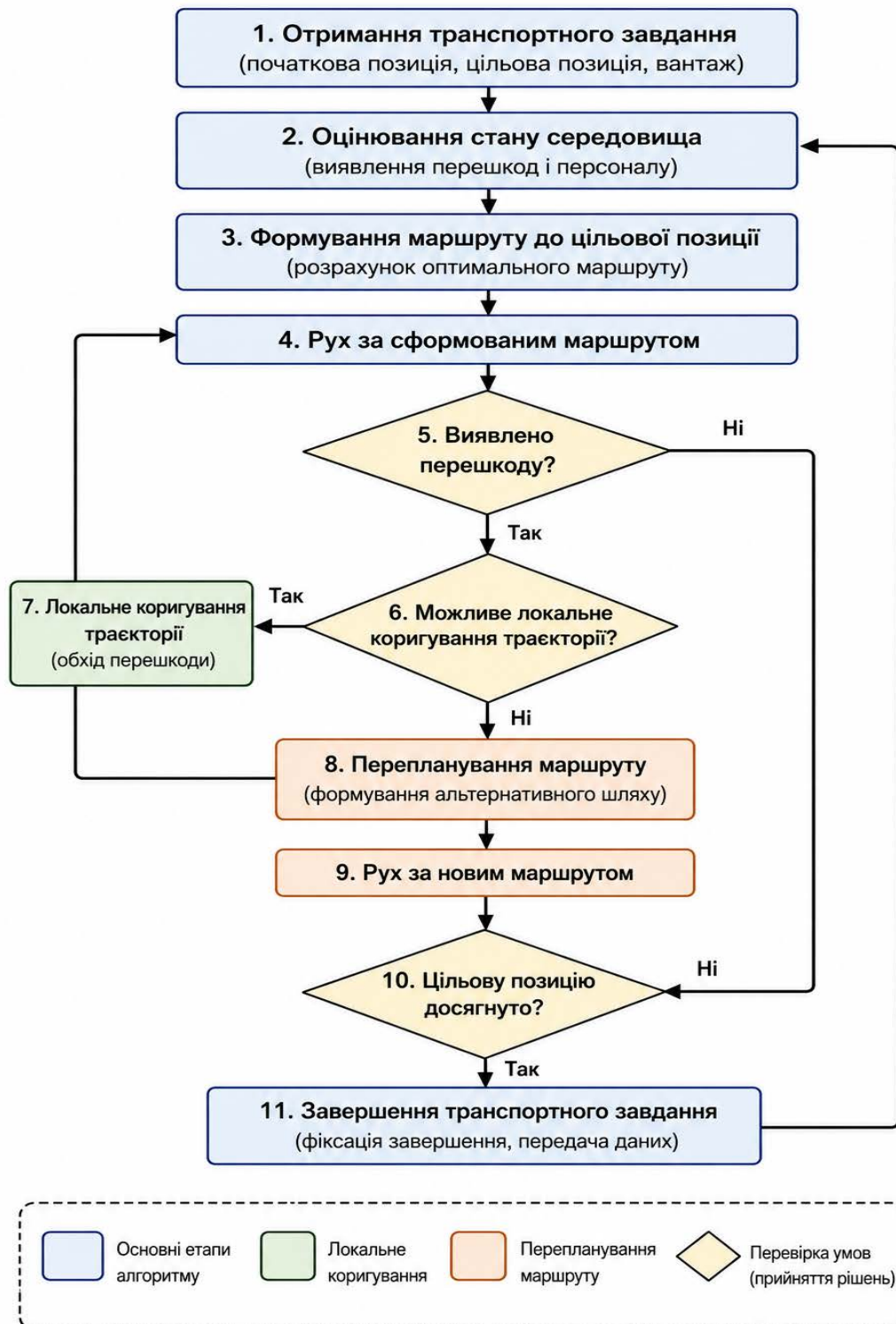


Рис. 3. Алгоритм адаптивної навігації гібридної транспортно-логістичної платформи

Алгоритм адаптивної навігації передбачає циклічне оцінювання стану робочого середовища під час виконання транспортного завдання. За відсутності перешкод платформа продовжує рух сформованим маршрутом до цільової позиції. У разі виявлення перешкоди оцінюється можливість локального коригування траєкторії; якщо такий обхід можливий, траєкторія коригується без повного перепланування маршруту. Якщо локальний обхід не забезпечує подальшого виконання транспортного завдання, здійснюється перепланування маршруту з урахуванням поточного стану середовища. Після кожного коригування платформа продовжує рух із повторним контролем транспортної ситуації до досягнення цільової позиції.

Практичне впровадження запропонованої концепції є перспективним для виробничих підприємств, складських комплексів, сортувальних центрів і логістичних вузлів, у яких транспортні процеси характеризуються високою динамікою матеріальних потоків та одночасною присутністю персоналу й роботизованих транспортних засобів. Окремим напрямом практичного застосування запропонованої концепції є внутрішньовиробнича логістика підприємств легкої промисловості. Для швейних, взуттєвих та інших виробництв галузі характерне багатоетапне переміщення матеріалів, виробничої тари, комплектувальних виробів і напівфабрикатів між технологічними, підготовчими, складськими та комплектувальними зонами [1–5, 9]. Наявність значної кількості послідовних технологічних операцій та одночасна присутність персоналу в транспортних зонах створюють передумови для використання мобільних роботизованих платформ, здатних адаптувати маршрути без необхідності формування повністю ізольованої транспортної інфраструктури. У цьому контексті ГТЛП може розглядатися як перспективний мехатронний засіб автоматизації внутрішньооб'єктних транспортних операцій підприємств легкої промисловості.

Запропонована концепція відповідає сучасним тенденціям розвитку цифрового виробництва, мехатронних систем та інтелектуальної транспортної інфраструктури

[8, 9], а також узгоджується зі стратегічними напрямами розвитку транспортно-логістичної галузі, визначеними Національною транспортною стратегією України до 2030 року [11]. Отримані результати можуть бути використані як теоретична основа для подальшої розробки математичних моделей керування, комп'ютерного моделювання та створення експериментального зразка гібридної транспортно-логістичної платформи.

Висновки. У роботі теоретично обґрунтовано концепцію гібридної транспортно-логістичної платформи, призначеної для функціонування у змішаному людино-роботизованому середовищі. Запропонований підхід базується на інтеграції мехатронних засобів транспортування, адаптивної навігації, сенсорного забезпечення та цифрової взаємодії із системами управління підприємства.

Сформовано концептуальну архітектуру платформи, визначено основні функціональні модулі та запропоновано підхід до моделювання її поведінки в умовах змінного транспортно-логістичного середовища. Використання сценарного аналізу дозволяє враховувати появу динамічних перешкод, зміну транспортної ситуації та необхідність оперативного коригування маршрутів руху.

Показано, що використання гібридних транспортно-логістичних платформ має потенціал для підвищення ефективності внутрішньооб'єктної логістики, скорочення непродуктивних транспортних операцій, підвищення рівня безпеки та забезпечення інтеграції роботизованих транспортних засобів із цифровою інфраструктурою сучасного підприємства.

Практичний потенціал запропонованої концепції пов'язаний, зокрема, з автоматизацією внутрішньовиробничих транспортних процесів підприємств легкої промисловості, де необхідно забезпечувати гнучке переміщення об'єктів виробництва, які мають різні характеристики, у спільному з персоналом робочому просторі.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні математичних моделей поведінки гібридної транспортно-логістичної платформи, побудові алгоритмів адаптивного керування та навігації,

проведенні імітаційного моделювання й запропонованої концепції на реальних експериментальній перевірці транспортно-логістичних об'єктах.

Література

1. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Аналіз об'єктів транспортування в логістичних системах взуттєвого виробництва. *Легка промисловість*. 2016. № 2. С. 25–27.
2. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Стан і аналіз логістичних схем вантажопотоків взуттєвих підприємств. *Легка промисловість*. 2016. № 3. С. 24–26.
3. Ковальов Ю. А., Плешко С. А., Лавренчук В. І. Класифікація сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування. *Легка промисловість*. 2016. № 4. С. 46–48.
4. Березін Л. М., Ковальов Ю. А. Особливості процесу переміщення об'єктів транспортування зі змінним центром мас. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2016. № 6 (104). С. 18–25.
5. Ковальов Ю. А., Плешко С. А. Огляд та аналіз сучасних пристроїв для перевантаження об'єктів транспортування. *Легка промисловість*. 2017. № 1. С. 21–29.
6. Zhang M., Grosse E. H. How to Model Human–Robot Collaborative Logistics Systems: Systematic Literature Review and Future Perspectives. *IFAC PapersOnLine*. 2024. Vol. 58, No. 19. P. 379–384. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.241>.
7. Keith R., La H. M. Review of Autonomous Mobile Robots for the Warehouse Environment. arXiv:2406.08333. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2406.08333> (дата звернення: 02.09.2026).
8. Gerschütz B., Sauer C., Kormann A. et al. Digital Engineering Methods in Practical Use during Mechatronic Design Processes. *Designs*. 2023. Vol. 7, No. 4. Art. 93. DOI: <https://doi.org/10.3390/designs7040093>.
9. Рубанка М. М., Ковальов Ю. А., Рубанка А. І. Інноваційні технології при виготовленні швейних виробів: обладнання підготовчого цеху. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 4 (15). С. 38–52.
10. Методичні рекомендації з моделювання транспортних потоків під час оцінювання ефективності проєктних рішень щодо дорожньої інфраструктури: перша редакція МР Б.2.2-37641918-928:2022. Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури», 2023. URL: [https://nidi.org.ua/ua/metodichni-rekomendaciyi-z-modelyuvannya-transportnih-potokiv-pid-chas-ocinyuvannya-efektivnosti-proktnih-risheny-schodo-](https://nidi.org.ua/ua/metodichni-rekomendaciyi-z-modelyuvannya-transportnih-potokiv-pid-chas-ocinyuvannya-efektivnosti-proktnih-risheny-schodo-doroghyoyi-infrastrukturi-persha-redakciya-mr-b22-)

References

1. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., & Lavrenchuk, V. I. (2016). Analiz ob'ektiv transportuvannya v lohystychnykh systemakh vzuttyevoho vyrobnytstva [Analysis of transportation objects in logistics systems of footwear production]. *Lehka Promyslovist*, (2), 25–27 [in Ukrainian].
2. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., & Lavrenchuk, V. I. (2016). Stan i analiz lohystychnykh skhem vantazhopotokiv vzuttyevykh pidpriemstv [State and analysis of logistics schemes of material flows at footwear enterprises]. *Lehka Promyslovist*, (3), 24–26 [in Ukrainian].
3. Kovalov, Yu. A., Pleshko, S. A., & Lavrenchuk, V. I. (2016). Klasyfikatsiia suchasnykh prystroiv dlia perevantazhennia ob'ektiv transportuvannya [Classification of modern devices for handling transportation objects]. *Lehka Promyslovist*, (4), 46–48 [in Ukrainian].
4. Berezin, L. M., & Kovalov, Yu. A. (2016). Osoblyvosti protsesu peremishchennia ob'ektiv transportuvannya zi zminnym tsentrom mas [Features of transportation object movement with a variable center of mass]. *Visnyk of Kyiv National University of Technologies and Design*, 6(104), 18–25 [in Ukrainian].
5. Kovalov, Yu. A., & Pleshko, S. A. (2017). Ohliad ta analiz suchasnykh prystroiv dlia perevantazhennia ob'ektiv transportuvannya [Review and analysis of modern devices for handling transportation objects]. *Lehka Promyslovist*, (1), 21–29 [in Ukrainian].
6. Zhang, M., & Grosse, E. H. (2024). How to Model Human–Robot Collaborative Logistics Systems: Systematic Literature Review and Future Perspectives. *IFAC PapersOnLine*, 58(19), 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.241>
7. Keith, R., & La, H. M. (2024). Review of Autonomous Mobile Robots for the Warehouse Environment. arXiv:2406.08333. Available at: <https://arxiv.org/abs/2406.08333> (accessed: 02 September 2026).
8. Gerschütz, B., Sauer, C., Kormann, A. et al. (2023). Digital Engineering Methods in Practical Use during Mechatronic Design Processes. *Designs*, 7(4), Article 93. <https://doi.org/10.3390/designs7040093>
9. Rubanka, M. M., Kovalov, Yu. A., & Rubanka, A. I. (2023). Innovatsiini tekhnolohii pry vyhotovlenni shveinykh vyrobiv: obladnannia pidhotovchoho tsekhу [Innovative technologies in garment manufacturing: equipment of the preparation workshop]. *Tekhnolohii ta Inzhynirynh*, 4(15), 38–52 [in Ukrainian].
10. National Institute for Infrastructure Development (2023). *Methodological Recommendations for Traffic Flow Modeling in Assessing the Effectiveness of Road Infrastructure Project Solutions: First Edition* MR B.2.2-37641918-928:2022. Available at: [https://nidi.org.ua/ua/metodichni-rekomendaciyi-z-modelyuvannya-transportnih-potokiv-pid-chas-ocinyuvannya-efektivnosti-proktnih-risheny-schodo-](https://nidi.org.ua/ua/metodichni-rekomendaciyi-z-modelyuvannya-transportnih-potokiv-pid-chas-ocinyuvannya-efektivnosti-proktnih-risheny-schodo-doroghyoyi-infrastrukturi-persha-redakciya-mr-b22-)

[doroghnnyoyi-infrastrukturi-persha-redakciya-mr-b22-37641918-9282022_Kq](#) (дата звернення: 02.09.2026).

11. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: Постанова Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-п> (дата звернення: 02.09.2026).

12. Jacob F., Ranasinghe T., Gattone L., Grosse E. H. Human–robot interaction in intralogistics: opportunities, challenges, and the way forward from a socio-technical lens. *International Journal of Production Research*. 2026. Vol. 64, No. 16. P. 7019–7045. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2026.2641794>.

13. Berti N., Katirae N., Zuin S., Aldrighetti R., Persona A., Battini D. The Challenges of Driverless Mobile Vehicles in Shared Workspace in the Industry 5.0 Era. *IEEE Access*. 2025. Vol. 13. P. 27228–27237. URL: https://www.researchgate.net/publication/388808054_The_challenges_of_driverless_mobile_vehicles_in_shared_workspace_in_the_Industry_50_era (дата звернення: 02.09.2026).

14. Dhanda M., Rogers B. A., Hall S., Dekoninck E., Dhokia V. Reviewing Human-Robot Collaboration in Manufacturing: Opportunities and Challenges in the Context of Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2025. Vol. 93. Art. 102937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937> (дата звернення: 02.09.2026).

15. Vitolo F., Rega A., Di Marino C., Pasquariello A., Zanella A., Patalano S. Mobile Robots and Cobots Integration: A Preliminary Design of a Mechatronic Interface by Using MBSE Approach. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 1. Art. 419. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12010419> (дата звернення: 02.09.2026).

16. Koreis J., Loske D., Klumpp M., Glock C. H. We Belong Together – A System-Level Investigation Regarding AGV-Assisted Order Picking Performance. *International Journal of Production Economics*. 2025. Vol. 282. Art. 109527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109527> (дата звернення: 02.09.2026).

17. Papadimitriou A., Folinas D., Kostavelis I. Human-Robot Collaborative Picking System for Agile Warehouses. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2025. Vol. 141, No. 7–8. P. 4627–4644. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-025-16938-1> (дата звернення: 02.09.2026).

[37641918-9282022_Kq](#) (accessed: 02 September 2026) [in Ukrainian].

11. Cabinet of Ministers of Ukraine (2024). National Transport Strategy of Ukraine until 2030. Resolution No. 1550 of 27 December 2024. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-п> (accessed: 02 September 2026) [in Ukrainian].

12. Jacob, F., Ranasinghe, T., Gattone, L., & Grosse, E. H. (2026). Human–robot interaction in intralogistics: Opportunities, challenges, and the way forward from a socio-technical lens. *International Journal of Production Research*, 64(16), 7019–7045. <https://doi.org/10.1080/00207543.2026.2641794>.

13. Berti, N., Katirae, N., Zuin, S., Aldrighetti, R., Persona, A., & Battini, D. (2025). The Challenges of Driverless Mobile Vehicles in Shared Workspace in the Industry 5.0 Era. *IEEE Access*, 13, 27228–27237. URL: https://www.researchgate.net/publication/388808054_The_challenges_of_driverless_mobile_vehicles_in_shared_workspace_in_the_Industry_50_era (accessed: 02 September 2026).

14. Dhanda, M., Rogers, B. A., Hall, S., Dekoninck, E., & Dhokia, V. (2025). Reviewing Human-Robot Collaboration in Manufacturing: Opportunities and Challenges in the Context of Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 93, Article 102937. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102937> (accessed: 02 September 2026).

15. Vitolo, F., Rega, A., Di Marino, C., Pasquariello, A., Zanella, A., & Patalano, S. (2022). Mobile Robots and Cobots Integration: A Preliminary Design of a Mechatronic Interface by Using MBSE Approach. *Applied Sciences*, 12(1), Article 419. <https://doi.org/10.3390/app12010419> (accessed: 02 September 2026).

16. Koreis, J., Loske, D., Klumpp, M., & Glock, C. H. (2025). We Belong Together – A System-Level Investigation Regarding AGV-Assisted Order Picking Performance. *International Journal of Production Economics*, 282, Article 109527. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109527> (accessed: 02 September 2026).

17. Papadimitriou, A., Folinas, D., & Kostavelis, I. (2025). Human-Robot Collaborative Picking System for Agile Warehouses. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 141(7–8), 4627–4644. <https://doi.org/10.1007/s00170-025-16938-1> (accessed: 02 September 2026).