

УДК 338.47:656:005.591.6

DOI:10.33744/0365-8171-2025-117.2-475-485

UDC 338.47:656:005.591.6

РОЗВИТОК ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ ІНДУСТРІАЛЬНИХ РЕВОЛЮЦІЙ ЯК ДЕТЕРМІНАНТА ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ**DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT COMPLEX IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL REVOLUTIONS AS A DETERMINANT OF INCREASING THE COMPETITIVENESS OF ENTERPRISES**

Малахова Юлія Анатоліївна, кандидат економічних наук, доцент, доцент, доцент кафедри менеджменту, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: yu.malakhova@ntu.edu.ua, тел. +380442808438

<https://orcid.org/0000-0002-8769-7597>

Анотація: У статті розглянуто еволюцію розвитку транспортного комплексу в контексті індустріальних революцій як ключового чинника підвищення конкурентоспроможності підприємств. Обґрунтовано, що кожна хвиля індустріального розвитку формувала нові технологічні, організаційні та управлінські засади функціонування транспорту. Здійснено систематизацію наукових підходів до аналізу впливу технологічних трансформацій на ефективність транспортних процесів, екологічну сталість та рівень інноваційної активності підприємств галузі.

Визначено, що сучасний етап розвитку транспортного комплексу характеризується глибокою інтеграцією цифрових технологій Індустрії 4.0 – інтернету речей, аналітики великих даних, штучного інтелекту, блокчейну та кіберфізичних систем – у логістичні процеси, що сприяє формуванню нових конкурентних переваг. Наголошено, що поява Індустрії 5.0 актуалізує перехід від технократичної парадигми до людиноцентричної, у межах якої конкурентоспроможність підприємств забезпечується поєднанням ефективності, сталості та соціальної відповідальності.

Особливу увагу приділено взаємозв'язку між рівнем технологічної зрілості транспортного комплексу, розвитком інноваційної інфраструктури та здатністю підприємств адаптуватися до глобальних викликів. Доведено, що цифровізація, автоматизація та екологізація транспортних систем стають визначальними детермінантами конкурентоспроможності автотранспортних підприємств у постіндустріальну епоху. Запропоновано концептуальну модель розвитку транспортного комплексу в умовах Індустрії 4.0–5.0, яка базується на інтеграції технологічних інновацій, принципів сталого розвитку та адаптивного управління.

Отримані результати можуть бути використані для формування стратегій підвищення ефективності та конкурентоспроможності автотранспортних підприємств, модернізації галузевої політики, а також для розроблення науково-методичних рекомендацій щодо управління інноваційними процесами у транспортному секторі України.

Ключові слова: транспортний комплекс, розвиток, Індустрія 4.0, Індустрія 5.0, людиноцентричність, цифровізація, сталий розвиток, конкурентоспроможність, транспортні підприємства, інновації.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Інноваційний розвиток транспортного сектору є невід'ємною складовою еволюції світової економіки, що відображає глибокі трансформації, зумовлені індустріальними революціями. Кожна з них кардинально змінювала технологічні, організаційні та управлінські засади функціонування транспорту. Від механічної енергії парових машин до використання штучного інтелекту та кіберфізичних систем – розвиток транспорту виступав ключовим індикатором і водночас каталізатором суспільного прогресу.

Сучасний етап характеризується впливом четвертої та зародженням п'ятої індустріальної революції, що поєднують цифровізацію, автоматизацію, інтернет речей, штучний інтелект і стратегії сталого розвитку. Транспортна галузь стає центром технологічних і організаційних змін, спрямованих на створення безпечних, енергоефективних та екологічно збалансованих систем мобільності. Індустріальні революції формують нові моделі управління транспортними процесами, засновані на даних, інтеграції нових технологій та інтелектуальних систем, аналітиці великих даних і гнучких бізнес-моделях.

Дослідження впливу індустріальних революцій на розвиток транспортного сектору має не лише теоретичну, а й практичну значущість, оскільки дозволяє виявити закономірності технологічного оновлення, оцінити потенціал впровадження інновацій та сформулювати стратегічні пріоритети модернізації транспортної інфраструктури. Особливого значення набуває аналіз періоду Індустрії 5.0, що орієнтований на гармонізацію технологічного прогресу з людським і природним середовищем. Саме людиноцентричність, інтелектуальність і сталість є ключовими детермінантами нової парадигми розвитку транспорту, що визначатимуть його конкурентоспроможність у майбутньому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика впливу індустріальних революцій на транспортний комплекс отримала значний розвиток у зарубіжній та вітчизняній науковій літературі. У більшості досліджень простежується думка, що кожна хвиля індустріального розвитку виступала каталізатором структурних змін у транспортній галузі. Так, історичні праці підкреслюють роль першої індустріальної революції у поширенні залізничних мереж, що забезпечило прискорену індустріалізацію Європи та Північної Америки. Подальші дослідження (кінець XIX – початок XX ст.) зосереджувалися на впливі двигуна внутрішнього згоряння на становлення автомобільного транспорту та авіації.

Сучасний науковий дискурс переважно пов'язаний із концепціями Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0, а також із дослідженням їх впливу на екологічність, ефективність та безпеку транспортних систем. Закордонні науковці S. Sahoo, A. Kumar, S. Kumar Mangla, A. Tiwari, X. Li, T. Yang, Z. Zhu, M. Givoni, D. Banister, V. Patyal, P. Sarma, S. Modgil, T. Nag, D. Dennehy підкреслюють, що інтеграція технологій Індустрії 4.0 у транспорт сприяє розвитку екоінновацій, оптимізації використання ресурсів, досягненню цілей сталого розвитку, переходу до циркулярної економіки [1-4]. Українські науковці С.Клюєв, Б.Юров, В.Поляк, Т.Яворська, Я.Молодцов, С. Назаренко, Н.Бойко, І.Демішев, С.Войтко, Л.Ноджак, М.Паращич також приділяють значну увагу інноваційним аспектам транспортного розвитку через призму впливу розвитку індустрії [5-10].

Окремим напрямом аналізу є дослідження Індустрії 5.0 як майбутнього тренду транспортного розвитку. На думку багатьох дослідників, Індустрія 5.0 створює умови для поєднання автоматизації з людиноцентричним підходом, що матиме вирішальне значення для безпеки та персоналізації транспортних послуг [11-17].

Проте у вітчизняній науці поки що недостатньо досліджень, що поєднують концепцію Індустрії 5.0, з її акцентом на людиноцентричність, екологічну сталість та соціальні аспекти, безпосередньо в транспортному комплексі, що визначає наукову нішу для подальших досліджень, спрямованих на інтеграцію інноваційних технологій з принципами сталого розвитку у вітчизняному транспортному секторі.

Матеріали та методи. Методологічною основою дослідження виступають такі традиційні загальнонаукові та спеціальні методи: системний – для комплексного розгляду розвитку транспортного комплексу як цілісної соціо-економічної системи; логічний та історичний – простеження етапності

індустріальних революцій і виявлення їх впливу на конкурентоспроможність підприємств; індукції та дедукції – формування теоретичних узагальнень на основі вивчення конкретних емпіричних даних; систематизації та класифікації – впорядкування технологічних і організаційних змін у транспортному секторі; синтезу й аналізу – визначення взаємозв'язків між технологічними інноваціями, екологічною сталістю та ефективністю управління.

Метою роботи. Метою дослідження є обґрунтування теоретико-методичних засад розвитку транспортного комплексу в умовах індустріальних революцій та визначення його ролі як детермінанти підвищення конкурентоспроможності автотранспортних підприємств шляхом інтеграції цифрових технологій, інноваційних підходів до управління й принципів сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу. Транспортний комплекс є фундаментальною основою соціально-економічного розвитку, що забезпечує мобільність населення, доступ до ресурсів і ринків, формування глобальних ланцюгів постачання та інтеграцію національної економіки до світового господарства. В історичній ретроспективі саме індустріальні революції виступали ключовим чинником трансформації транспортної системи, змінюючи її технічний рівень, організаційні моделі та стратегічні пріоритети. Кожен етап індустріального розвитку супроводжувався появою нових видів транспорту, розширенням масштабів перевезень і підвищенням їхньої ефективності.

Сучасний розвиток транспортної сфери відбувається в умовах посилення глобальної конкуренції, динамічних змін попиту на перевезення та зростання вимог до екологічної безпеки. З одного боку, світові транспортні компанії стикаються з викликами, пов'язаними з вичерпанням традиційних енергетичних ресурсів, кліматичними змінами та необхідністю скорочення викидів парникових газів. З іншого боку, зростає потреба у цифровізації процесів, інтеграції «розумних» технологій та підвищенні рівня сервісу для споживачів.

В українському контексті актуальність питання впливу індустріальних революцій на транспорт зумовлена як внутрішніми, так і зовнішніми чинниками. До внутрішніх належать зношеність транспортної інфраструктури, низький рівень інноваційної активності підприємств та потреба в модернізації рухомого складу. Зовнішні чинники включають інтеграцію України до європейського транспортного простору, адаптацію до стандартів ЄС та необхідність забезпечення конкурентоспроможності на міжнародному ринку перевезень. Додатковим викликом є післявоєнне відновлення транспортної галузі, яке має здійснюватися на засадах інноваційності та сталого розвитку.

Узагальнюючи наукові підходи, можна стверджувати, що в літературі переважають два ключові напрями аналізу:

- технологічний – зосереджений на впливі цифрових технологій, автоматизації, інтелектуальних систем на ефективність транспортних процесів;
- екологічно-економічний – розглядає впровадження інновацій через призму зменшення негативного впливу транспорту на довкілля, інтеграції у циркулярну економіку та досягнення сталого розвитку.

Отже, розвиток транспортної галузі тісно пов'язаний із ключовими етапами індустріальних революцій. Кожна індустріальна епоха формувала нові принципи організації виробництва та споживання, що безпосередньо відбивалося на транспорті як стратегічній інфраструктурі. Саме транспорт став каналом поширення інновацій, засобом інтеграції ринків і каталізатором глобалізаційних процесів (табл. 1).

Період першої індустріальної революції позначився широким впровадженням парових машин і механізацією виробництва, що докорінно змінило транспортну сферу. Найбільш значущими досягненнями стали поява парових локомотивів і розвиток залізничної мережі, що сприяло різкому зростанню швидкості перевезень, розширенню національних ринків і формуванню єдиних економічних просторів. Водночас розвиток пароплавства забезпечив більш передбачувані та безпечні морські перевезення, що стало основою для розширення міжнародної торгівлі. У цей період транспорт перетворюється з допоміжної функції економіки на стратегічний фактор розвитку та інтеграції.

Таблиця 1 - Вплив індустріальних революцій на розвиток транспорту
Table 1 - Impact of industrial revolutions on transport development

Етап	Хронологічні межі	Ключові технології	Основні зміни у транспорті	Соціально-економічний ефект
Індустрія 1.0	Кінець XVIII – перша половина XIX ст.	Парова енергія, механізація виробництва	Поява паровозів і залізниць, розвиток пароплавства	Урбанізація, інтеграція національних ринків, стимулювання міжнародної торгівлі
Індустрія 2.0	Кінець XIX – перша половина XX ст.	Електрифікація, конвеєрне виробництво, хімічна промисловість	Масова моторизація (автомобілі), розвиток авіації, електрифікація залізниць, поява сучасної інфраструктури (дороги, аеропорти)	Глобалізація, мобільність населення, нові ринки збуту
Індустрія 3.0	Друга половина XX ст.	Електроніка, комп'ютери, автоматизація	Автоматизовані системи управління рухом, GPS-навігація, контейнеризація морських перевезень, електронні системи бронювання	Зростання ефективності логістики, стандартизація перевезень, формування глобальних ланцюгів постачання
Індустрія 4.0	Початок XXI ст. – сьогодні	Цифровізація, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект, Big Data	Інтелектуальні транспортні системи, безпілотний транспорт, «розумні» міста, електромобілі та нові види мобільності	Екологізація транспорту, інтеграція у «розумну» інфраструктуру, персоналізація мобільності

Джерело: сформовано автором за [1-10]

Друга індустріальна революція, що базувалася на електрифікації та масовому виробництві, мала ще глибший вплив на транспорт. Поява автомобілів, виготовлених за конвеєрним принципом, спричинила масову моторизацію, що змінило міську інфраструктуру та спосіб життя людей. Авіація, яка зародилася в цей період, відкрила принципово нові можливості для пасажирських і вантажних перевезень, різко скорочуючи час подолання міжконтинентальних відстаней. У цей же час активно розвивалася транспортна інфраструктура: автомобільні дороги, аеропорти, електрифіковані залізниці. Таким чином, транспорт став ключовим рушієм глобалізаційних процесів і формування міжнародних ланцюгів поставок.

Третя індустріальна революція, зумовлена розвитком електроніки, інформаційних технологій і автоматизації, суттєво модернізувала транспортну систему. Розпочалося впровадження комп'ютеризованих систем управління рухом, електронних навігаційних комплексів, GPS-технологій. Транспортні компанії почали використовувати автоматизовані системи бронювання та управління, що радикально підвищило ефективність роботи та рівень сервісу, поява контейнеризації, сприяла стандартизації та здешевленню перевезень.

Таким чином, періоди Індустрії 1.0–3.0 визначили поступову трансформацію транспортної галузі: від механізації та парової тяги – до масової моторизації та авіації, а згодом – до автоматизації й інформаційних технологій. Кожен етап індустріальних революцій не лише вдосконалював технічні характеристики транспорту, а й змінював його соціально-економічне значення: транспорт став провідником глобалізації, фактором урбанізації та стратегічним інструментом конкурентоспроможності підприємств та держав у світовій економіці.

Індустрія 4.0 переформатовує транспортну галузь через набір взаємопов'язаних цифрових технологій: Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data) і аналітика, штучний інтелект (AI), цифрові двійники (digital twins), робототехніка та автономні системи, блокчейн для прозорості ланцюгів постачання, хмарні сервіси та кіберфізичні системи. Ці технології створюють кіберфізичну інфраструктуру, яка дає змогу збирати, обробляти й оперативно використовувати дані в режимі реального часу для управління потоками транспорту, прогнозування подій і прийняття рішень.

Сучасний транспортний комплекс перебуває в епіцентрі цифрової трансформації, що відбувається під впливом концепцій Індустрії 4.0. Технології штучного інтелекту, Інтернету речей, великих даних і блокчейну все ширше інтегруються в інфраструктурні рішення, змінюючи моделі організації перевезень, обслуговування та управління потоками (табл.2).

Таблиця 2 - Вплив концепції Індустрії 4.0 на різні види транспорту
Table 2 - Impact of Industry 4.0 on different modes of transport

Вид транспорту	Ключові інновації Індустрії 4.0	Основні ефекти
Автомобільний	- автономні транспортні засоби; - інтелектуальні транспортні системи; - інтернет речей для моніторингу транспорту та вантажів.	- зниження аварійності; - оптимізація маршрутів і зменшення заторів; - підвищення ефективності логістики.
Залізничний	- інтелектуальні системи управління рухом; - великі дані для планування завантаження та ремонтів; - енергоефективні поїзди з датчиками стану.	- зростання безпеки перевезень; - зниження витрат на технічне обслуговування; - підвищення швидкості та регулярності руху.
Морський	- смарт-порти; - використання інтернету речей і сенсорів для контролю вантажів; - цифрові платформи для логістики та відстеження контейнерів.	- підвищення прозорості ланцюгів постачання; - зниження витрат на перевалку; - оптимізація портових операцій.
Авіаційний	- автоматизовані системи управління польотами; - великі дані та штучний інтелект для прогнозування затримок; - smart-безпека (біометрія, розумні системи контролю).	- підвищення безпеки та швидкості обслуговування; - оптимізація рейсів і паливної ефективності; - кращий сервіс пасажирів.
Міський громадський транспорт	- електронні квитки, мобільні додатки, аналітика великих даних; - автономні автобуси та трамваї; - «розумна» мобільність (каршеринг, е-скутери, мобільність як сервіс).	- зручність для пасажирів; - оптимізація руху та зниження викидів; - інтеграція з іншими видами транспорту.

Джерело: сформовано автором за [4, 5, 7, 9, 18]

Узагальнення впливу технологій Індустрії 4.0 на транспортний комплекс свідчить, що цифровізація та інновації змінюють не лише технічні параметри перевезень, а й саму логіку функціонування транспортних систем. Кожен вид транспорту має власні пріоритети модернізації, проте загальною тенденцією є перехід від традиційних моделей експлуатації до інтелектуальних, автоматизованих та екологічно орієнтованих рішень.

Для автомобільного транспорту ключовим викликом стала поява автономних транспортних засобів і систем штучного інтелекту, що дозволяють знизити аварійність та підвищити ефективність логістичних процесів. Водночас ця сфера потребує кардинального оновлення нормативно-правової бази та вирішення проблем кібербезпеки, адже автономні системи є вразливими до зовнішніх втручань.

Залізничний транспорт, з огляду на свою системоутворюючу роль у національних економіках, активно впроваджує цифрові системи управління рухом і технології Big Data для оптимізації графіків та технічного обслуговування, що дозволяє знижувати експлуатаційні витрати та підвищувати швидкість перевезень. Проте модернізація потребує значних інвестицій і гармонізації з міжнародними стандартами безпеки.

Морський транспорт і портова діяльність орієнтуються на концепцію «розумних» портів, де використовуються автоматизовані крани, дрони та цифрові платформи для моніторингу вантажів. Завдяки цьому досягається ефект прозорості логістичних ланцюгів і зниження витрат на перевалку. Водночас глобальна цифровізація морської логістики породжує загрози кібератак, які можуть паралізувати роботу цілих портових систем.

Авіаційний транспорт, як найбільш технологічно насичений, демонструє широке використання автоматизованих систем управління польотами, інструментів штучного інтелекту для прогнозування затримок і «розумних» технологій у сфері безпеки, що суттєво підвищує ефективність і безпеку перевезень, але водночас ускладнює міжнародну стандартизацію та потребує високих витрат на захист.

Міський громадський транспорт найбільш чутливо реагує на потреби кінцевого користувача. Технології Індустрії 4.0 сприяють розвитку мобільності як послуги (MaaS), де інтегруються різні види транспорту в єдину цифрову платформу. Електронні квитки, мобільні додатки, автономні автобуси та електросамокати формують нову якість міської мобільності, орієнтованої на комфорт і екологічність. Основним бар'єром лишається необхідність значних інвестицій у «розумну» інфраструктуру та готовність суспільства приймати інноваційні рішення.

Таким чином, аналіз сучасного стану транспортного комплексу в контексті Індустрії 4.0 свідчить про глибоку трансформацію його функціонування. Вона проявляється у переході до гнучких, клієнтоорієнтованих, екологічно збалансованих моделей, що поєднують традиційні транспортні системи з цифровими інноваціями. Такий підхід створює передумови для наступного етапу еволюції – Індустрії 5.0, яка буде орієнтована не лише на ефективність і автоматизацію, а й на участь людини та сталий розвиток.

Індустрія 5.0 формує новий підхід до технологічних трансформацій, який поєднує технічні інновації, людський фактор і сталий розвиток. На відміну від Індустрії 4.0, де акцент робився на цифровізації та автоматизації, Індустрія 5.0 ставить у центр людину, екологію та соціальну відповідальність, інтегруючи технології в контекст сталого розвитку транспортного комплексу (рис.1).

В Індустрії 5.0 транспортні рішення орієнтовані на покращення якості життя людей та створення інклюзивної мобільності. Автономні транспортні системи та роботизовані логістичні ланцюги поєднуються з людським контролем і адаптивним дизайном інфраструктури завдяки адаптації під потреби людей з обмеженою мобільністю, водночас оптимізуючи енергоспоживання та пропускну спроможність [14].

Розглядаючи інновації та цифрові технології, Індустрія 5.0 передбачає використання штучного інтелекту, цифрових двійників та роботизованих систем не лише для ефективності, а й для сталості. У транспорті це проявляється у:

- прогнозуванні енергоспоживання та викидів за допомогою штучного інтелекту та великих даних;
- автономних і електричних транспортних засобах, які інтегруються у «розумні» логістичні мережі;
- цифрових двійниках інфраструктури, що дозволяють моделювати різні сценарії руху, навантаження та аварійних ситуацій для мінімізації екологічного впливу [17].

Інноваційні рішення в транспорті сприяють також оптимізації ланцюгів постачання, підвищуючи продуктивність і гнучкість у кризових умовах. Використання блокчейн-технологій забезпечує

прозорість і контроль за ланцюгами поставок, водночас знижуючи витрати і ризики несанкціонованих операцій.

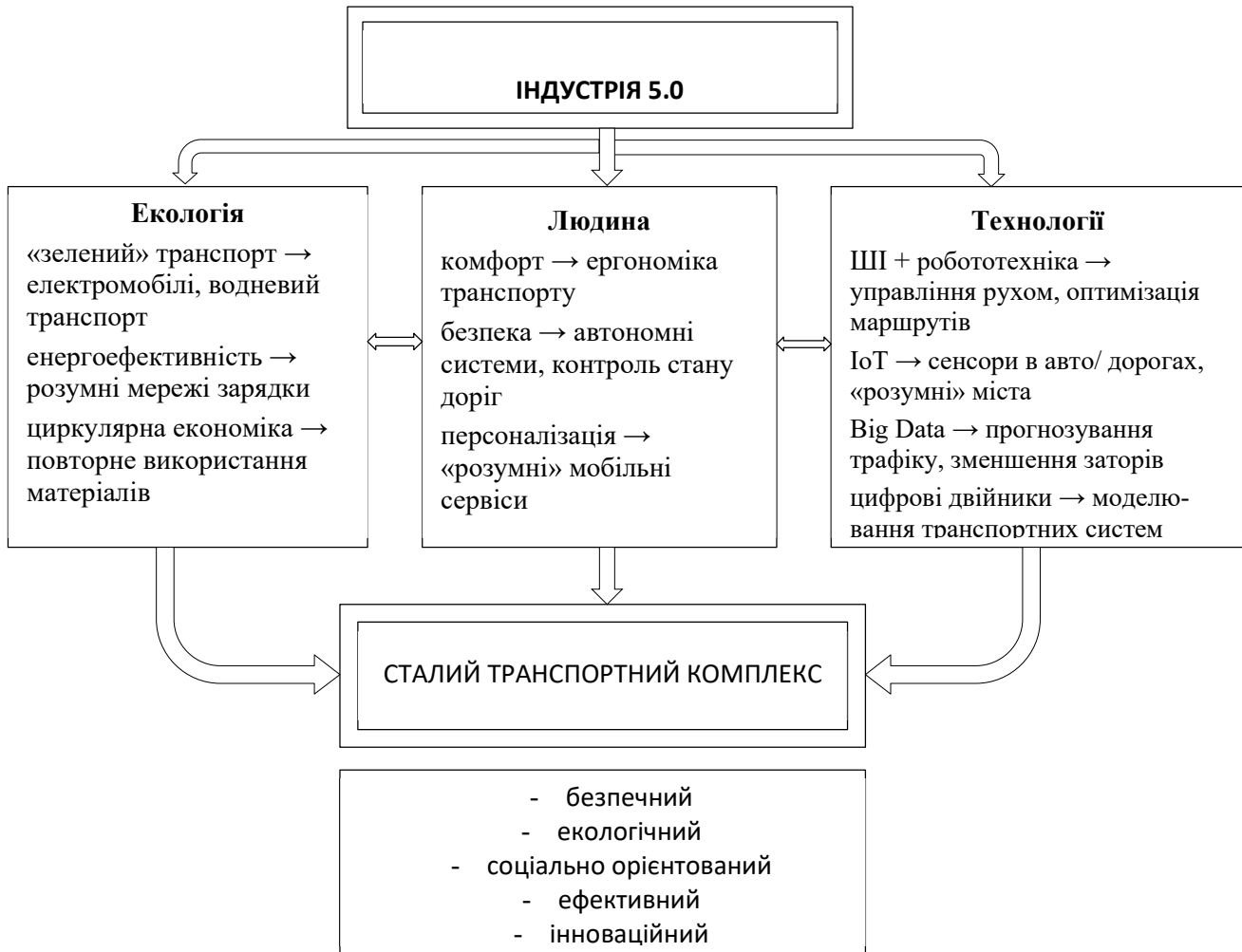


Рисунок 1 – Формування сталого транспортного комплексу в умовах концепції Індустрії 5.0

Джерело: сформовано автором за [11-15]

Figure 1 – Formation of a sustainable transport complex under the Industry 5.0 concept

Source: compiled by the author based on [11-15]

Ще одним ключовим аспектом концепції Індустрії 5.0 є екологічна стійкість транспортного комплексу, основні напрямки якого включають:

- зниження викидів CO₂ через оптимізацію маршрутів, електрифікацію транспортних засобів та інтеграцію відновлюваних джерел енергії;
- циркулярну економіку в логістиці та виробництві транспортної техніки (переробка матеріалів, оптимізація ресурсів);
- енергоефективність інфраструктури («розумні» порти, «розумні» залізничні станції, інтелектуальні світлофори та зарядні станції).

Вказані підходи не лише зменшують негативний вплив на довкілля, а й підвищують економічну ефективність транспорту за рахунок зменшення витрат на паливо та обслуговування.

Індустрія 5.0 акцентує увагу на соціальній відповідальності та інклюзивності транспортних систем, що передбачає доступність міського транспорту для людей з обмеженою мобільністю, створення безпечних зон для пішоходів і велосипедистів, а також використання цифрових сервісів, які спрощують взаємодію користувачів із транспортними мережами. Людиноцентричні інновації дозволяють інтегрувати транспорт у сучасні «розумні» системи, де мобільність стає доступним сервісом.

Отже, Індустрія 5.0 не розглядає технології ізольовано – вона об'єднує інновації, сталий розвиток і соціальну складову. Для транспортного комплексу це означає:

- застосування AI і цифрових двійників для прогнозування та мінімізації екологічного навантаження;
- інтеграцію автономних та електричних транспортних засобів у логістичні мережі;
- створення гнучкої, адаптивної та безпечної інфраструктури, що відповідає потребам населення і вимогам сталого розвитку.

Таким чином, Індустрія 5.0 формує транспортний комплекс майбутнього, який є не лише ефективним і автоматизованим, а й екологічно сталим, інноваційним і людиноцентричним. Перспективи її впровадження для України особливо актуальні в контексті післявоєнного відновлення інфраструктури, модернізації логістичних ланцюгів і інтеграції у європейський транспортний простір.

Висновок. Розвиток транспортного комплексу тісно пов'язаний з етапами індустріальних революцій, кожна з яких формувала нові технологічні, організаційні та управлінські засади функціонування підприємств. Доведено, що в умовах Індустрії 4.0 ключовими чинниками підвищення конкурентоспроможності автотранспортних підприємств є цифровізація, автоматизація, використання штучного інтелекту, аналітики великих даних та інтернету речей, які забезпечують підвищення ефективності транспортних процесів і зниження екологічного навантаження. Перспективи Індустрії 5.0 розширюють цю парадигму, акцентуючи увагу на людиноцентричності, соціальній відповідальності та сталому розвитку, що сприяє формуванню нової моделі управління конкурентоспроможністю – інтегрованої, інноваційної та екологічно збалансованої. Узагальнення результатів дозволило запропонувати концептуальну модель розвитку транспортного комплексу в умовах індустріальних революцій, яка базується на поєднанні технологічних інновацій, гнучкого управління, ресурсної ефективності та екологічної стійкості.

Отримані результати можуть бути використані для удосконалення стратегій підвищення конкурентоспроможності транспортних підприємств України, формування державної політики модернізації транспортної інфраструктури та розроблення механізмів інтеграції у європейський транспортний простір.

Перелік посилань

1. S. Sahoo, A. Kumar, S. Kumar Mangla, A. Tiwari. Industry 4.0 adoption and eco-product innovation capability – Understanding the role of supply chain integration. *Business Strategy and the Environment*. 2024. Volume 33, Issue 8. Pages 8798-8814. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.3949>

2. Xin Li, Tao Yang, Ziqian Zhu, Zhuotong Zeng, Guangming Zeng, Jie Liang, Xuwu Chen, Xiaodong Li. A study on air pollution exposure of “first and last mile” urban commuters under space-behavior dual verification based on big data, land-use regression model and space syntax. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Volume 419, 20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138244>

3. Givoni, M., & Banister, D. Sustainable transport futures: Integrating digitalization, decarbonization and resilience. *Transport Reviews*. 2021. Volume 41(4). Pages 457–475. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1857887>

4. Vishal Singh Patyal, P.R.S. Sarma, Sachin Modgil, Tirthankar Nag, Denis Dennehy. Mapping the links between Industry 4.0, circular economy and sustainability: a systematic literature review. *Journal of Enterprise Information Management*. 2022. Volume 35 (1). Pages. 1–35. DOI: <https://doi.org/10.1108/JEIM-05-2021-0197>

5. Ключев С. О., Юров Б. В. Дослідження трансформації транспортної логістики в Україні в умовах індустрії 4.0. *Вісник СХУ імені В. Даля*. 2021. № 4 (268). С. 64–72. URL: DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-66-71>
6. Поляк В.В. і Яворська Т.М. Цифровізація транспортної інфраструктури України. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні аспекти сучасних міждисциплінарних досліджень»*. (Груд 2024), 64-67. Вип. 24. С. 120–128. URL: <https://jpasmd.donnu.edu.ua/article/view/16710>.
7. Ключев С.О., Молодцов Я.А. Сприятливі фактори і очікувані ефекти автоматизації та впровадження індустрії 4.0 на автомобільному транспорті. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених.*, 1-2 грудня 2020 р. СХУ ім. В. Даля. Сєверодонецьк. 2020. С. 73–76.
8. Назаренко С. А., Бойко Н. С. Україна на шляху до Індустрії 4.0 та 5.0: інноваційний розвиток економіки та виклики управління взаємовідносинами. *Вісник ХДУ Серія Економічні науки*. 2023. № 49. Вип. 1. С. 44-50. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-49-7>
9. Демішев І., Войтко, С. Перспективи залучення інвестицій в розвиток Індустрії 4.0 в Україні. *Економіка та суспільство*. 2024 (61). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-46>
10. Ноджак, Л., & Парашич, М. Розвиток 4.0 індустрії в Україні: проблеми, перспективи. *Економіка та суспільство*. 2022 (45). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-29>
11. Mohammad Shamsuddoha, Mohammad Abul Kashem, Tasnuba Nasir. A Review of Transportation 5.0: Advancing Sustainable Mobility Through Intelligent Technology and Renewable Energy. *Future Transp*. 2025. 5(1), 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/futuretransp5010008>
12. García Collazos J. S., Cardenas Ardila L. M, C. J. Franco Cardona. Energy transition in sustainable transport: concepts, policies, and methodologies. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-34862-x
13. Belma Turan, Vera Hemmelmayr, Allan Larsen, Jakob Puchinger. Transition towards sustainable mobility: the role of transport optimization. *Central European Journal of Operations Research*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-023-00888-8>
14. Колесніков В. О. Індустрія 5.0. як вона вплине на транспортну галузь та енергомашинобудування? *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: XI-та міжн. науково-практичн. конф.*, 13–14 квітня 2023 р. С. 172–174. ISBN 978-966-641-929-6. URL: https://www.researchgate.net/publication/371071474_Kolesnikov_V_O_Industria_50_ak_vona_vpline_na_transportnu_galuz_ta_energomasinobuduvanna_Problemi_i_perspektivi_rozvitku_avtomobilnogo_transportu_HI-ta_mizn_naukovo-prakticn_konf_13-14_kvitna_2023_r_m
15. Ложачевська О. М., Марціпака В. М. Інноваційний розвиток транспортного комплексу в умовах цифрової трансформації. Проблеми та механізми трансформації економічних систем. 2023. № 10. DOI: DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2023-10-04-10>
16. Коваленко Н.В., Малахова Ю.А., Константінов Я.О., Хміль С.М. Концептуальні засади організації транспортних послуг у сучасних умовах. *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*. 2024. Вип. 115 (1). С.208 - 216. DOI: <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.1-208-216>
17. Dmitry Ivanov. The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*. 2023. Volume 61. Pages 1683-1695. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892>
18. Kovalenko, Nataliia, Malakhova, Yuliia, Borets, Iryna, Cherednichenko, Kostiantyn, Borets, Oleksii. Assessment of Risks During the Transport Process in Integrated Transport Systems. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2025. Pp. 414-425. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-87379-9_38

DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT COMPLEX IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL REVOLUTIONS AS A DETERMINANT OF INCREASING THE COMPETITIVENESS OF ENTERPRISES

Malakhova Yulia A., Ph.D. Economics, associate professor department of management, National Transport University, e-mail: yu.malakhova@ntu.edu.ua, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str., 1. <https://orcid.org/0000-0002-8769-7597>

Summary The article examines the evolution of the development of the transport complex in the context of industrial revolutions as a key factor in increasing the competitiveness of enterprises. It is substantiated that each wave of industrial development has formed new technological, organizational and managerial principles for the functioning of transport. A systematization of scientific approaches to the analysis of the impact of technological transformations on the efficiency of transport processes, environmental sustainability and the level of innovative activity of enterprises in the industry has been carried out.

It is determined that the current stage of development of the transport complex is characterized by the deep integration of digital technologies of Industry 4.0 - the Internet of Things, big data analytics, artificial intelligence, blockchain and cyber-physical systems - into logistics processes, which contributes to the formation of new competitive advantages. It is emphasized that the emergence of Industry 5.0 actualizes the transition from a technocratic paradigm to a human-centric one, within which the competitiveness of enterprises is ensured by a combination of efficiency, sustainability and social responsibility.

Particular attention is paid to the relationship between the level of technological maturity of the transport complex, the development of innovative infrastructure and the ability of enterprises to adapt to global challenges. It is proven that digitalization, automation and greening of transport systems are becoming key determinants of the competitiveness of motor transport enterprises in the post-industrial era. A conceptual model of the development of the transport complex in the conditions of Industry 4.0–5.0 is proposed, which is based on the integration of technological innovations, principles of sustainable development and adaptive management.

The results obtained can be used to form strategies for increasing the efficiency and competitiveness of motor transport enterprises, modernizing industry policy, as well as for developing scientific and methodological recommendations for managing innovation processes in the transport sector of Ukraine.

Keywords: transport complex, development, Industry 4.0, Industry 5.0, human-centricity, digitalization, sustainable development, competitiveness, transport enterprises, innovations.

References

1. Sahoo, S., Kumar, A., Kumar Mangla, S., & Tiwari, A. (2024). Industry 4.0 adoption and eco-product innovation capability – Understanding the role of supply chain integration. *Business Strategy and the Environment*, 33(8), 8798–8814. <https://doi.org/10.1002/bse.3949>
2. Li, X., Yang, T., Zhu, Z., Zeng, Z., Zeng, G., Liang, J., Chen, X., & Li, X. (2023). A study on air pollution exposure of “first and last mile” urban commuters under space-behavior dual verification based on big data, land-use regression model and space syntax. *Journal of Cleaner Production*, 419, Article 138244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138244>
3. Givoni, M., & Banister, D. (2021). Sustainable transport futures: Integrating digitalization, decarbonization and resilience. *Transport Reviews*, 41(4), 457–475. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1857887>
4. Patyal, V. S., Sarma, P. R. S., Modgil, S., Nag, T., & Dennehy, D. (2022). Mapping the links between Industry 4.0, circular economy and sustainability: A systematic literature review. *Journal of Enterprise Information Management*, 35(1), 1–35. <https://doi.org/10.1108/JEIM-05-2021-0197>
5. Kliuiev, S. O., & Yurov, B. V. (2021). Doslidzhennia transformatsii transportnoi lohistyky v Ukraini v umovakh industrii 4.0 [*Research on the transformation of transport logistics in Ukraine under*

- Industry 4.0 conditions*]. *Visnyk SNU imeni V. Dalia*, 4(268), 64–72. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-268-4-66-71> [in Ukrainian]
6. Polyak, V. V., & Yavorska, T. M. (2024, December). Tsyfrovizatsiia transportnoi infrastruktury Ukrainy [Digitalization of Ukraine's transport infrastructure]. In *Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Applied Aspects of Modern Interdisciplinary Research"* (Vol. 24, pp. 120–128). <https://jpasmd.donnu.edu.ua/article/view/16710> [in Ukrainian]
 7. Kliuiev, S. O., & Molodtsov, Ya. A. (2020, December 1–2). Spriyatlyvi faktory i ochikuvani efekty avtomatyzatsii ta vprovadzhennia industrii 4.0 na avtomobilnomu transporti [Favorable factors and expected effects of automation and Industry 4.0 implementation in road transport]. In *Logistychni upravlinnia ta bezpeka rukhu na transporti: zbirnyk naukovykh prats* (pp. 73–76). SNU im. V. Dalia. [in Ukrainian]
 8. Nazarenko, S. A., & Boiko, N. S. (2023). Ukraina na shliakhu do Industrii 4.0 ta 5.0: innovatsiinyi rozvytok ekonomiky ta vyklyky upravlinnia vzaiemovidnosynamy [Ukraine on the way to Industry 4.0 and 5.0: Innovative economic development and management challenges]. *Visnyk KSU. Seriya Ekonomichni nauky*, 49(1), 44–50. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2023-49-7> [in Ukrainian]
 9. Demishev, I., & Voitko, S. (2024). Perspektyvy zaluchennia investytzii v rozvytok Industrii 4.0 v Ukraini [Prospects for attracting investment in the development of Industry 4.0 in Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 61. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-46> [in Ukrainian]
 10. Nodzhak, L., & Parashchych, M. (2022). Rozvytok 4.0 industrii v Ukraini: problemy, perspektyvy [Development of Industry 4.0 in Ukraine: Problems and prospects]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 45. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-29> [in Ukrainian]
 11. Shamsuddoha, M., Kashem, M. A., & Nasir, T. (2025). A review of Transportation 5.0: Advancing sustainable mobility through intelligent technology and renewable energy. *Future Transportation*, 5(1), Article 8. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5010008>
 12. García Collazos, J. S., Cardenas Ardila, L. M., & Franco Cardona, C. J. (2024). *Energy transition in sustainable transport: Concepts, policies, and methodologies*. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34862-x>
 13. Turan, B., Hemmelmayr, V., Larsen, A., & Puchinger, J. (2024). Transition towards sustainable mobility: The role of transport optimization. *Central European Journal of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10100-023-00888-8>
 14. Kolesnikov, V. O. (2023, April 13–14). Industriia 5.0: yak vona vplyne na transportnu haluz ta enerhomashynobuduvannia? [Industry 5.0: How it will affect the transport sector and energy engineering]. In *Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu: 11th International Scientific and Practical Conference* (pp. 172–174).. <https://www.researchgate.net/publication/371071474> [in Ukrainian]
 15. Lozhachevska, O. M., & Martsipaka, V. M. (2023). Innovatsiinyi rozvytok transportnoho kompleksu v umovakh tsyfrovoy transformatsii [Innovative development of the transport complex under digital transformation]. *Problemy ta mekhanizmy transformatsii ekonomichnykh system*, 10. <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2023-10-04-10> [in Ukrainian]
 16. Kovalenko, N. V., Malakhova, Y. A., Konstantinov, Ya. O., & Khmil, S. M. (2024). Kontseptualni zasady orhanizatsii transportnykh posluh u suchasnykh umovakh [Conceptual principles of organizing transport services in modern conditions]. *Avtomobilni dorohy i dorozhnye budivnytstvo*, 115(1), 208–216. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.1-208-216> [in Ukrainian]
 17. Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research*, 61, 1683–1695. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892>
 18. Kovalenko, N., Malakhova, Y., Borets, I., Cherednichenko, K., & Borets, O. (2025). Assessment of risks during the transport process in integrated transport systems. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 414-425. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87379-9_38