

УДК 62-11; 504: 629.3/656.11 [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.286-297](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.286-297)Е. Д. Ладизенський¹, В. П. Петленко², А. В. Гриньків², *ст. дослідник, канд. техн. наук*¹ДВНЗ “Приазовський державний технічний університет”, м. Дніпро, Україна²Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: ladizenskiy@gmail.com, Tpetlenko@ukr.net, AVGrinkiv@gmail.com

Підвищення рівня екологічності транспортних перевезень на засадах інтелектуалізації транспортних систем

Публікацію присвячено дослідженню можливостей застосування інтелектуальних транспортних систем для підвищення рівня екологічності транспортних перевезень в умовах прискореного розгортання цифрової трансформації в країні. Підвищення екологічності на засадах використання інтелектуальних транспортних систем обґрунтовано необхідністю забезпечення стандартів якості реалізації логістичних процесів у контексті сталого розвитку транспортних підприємств, які формуються з точки зору захисту навколишнього середовища. Представлено детальний аналітичний огляд напрямів оптимізації використання інтелектуальних транспортних систем, що сприяють мінімізації негативного впливу логістичних процесів на локальне навколишнє середовище **шкідливи викиди, екологічність транспортних перевезень, інтелектуальні транспортні системи**

Постановка проблеми. Поширення засад функціонування цифрової трансформації породило нові можливості для транспортних підприємств впритул наблизитись до кардинального та ефективного розв'язання нагальних проблем їх діяльності, одними з найважливіших серед яких є екологічні. У процесі забезпечення основної діяльності транспортних підприємств відбувається негативний вплив транспортних засобів на навколишнє середовище за такими напрямками: глобальне потепління і як наслідок довгостроковий вплив на клімат викидів діоксидів карбону (CO_2) та нітрогену (NO_2), метану (CH_4), хлорфлюокарбону (CFCs), гідрохлорфлюокарбону (HCFCs), метилброміду (CH_3Br); глобальне виснаження озону у стратосфері (за рахунок викидів CFCs, HCFCs, CH_3Br), регіонального та локального окислення, що викликане спалюванням пального (оксиди сірки SO_x (діоксид сірки SO_2 та триоксид сірки SO_3), оксиди азоту NO_x (оксид азоту NO та діоксид азоту NO_2), соляна кислота (HCl), плавикова кислота (HF), аміак (NH_3)); локальне виснаження розчиненого у воді кисню за рахунок забруднення води поживними речовинами для цвітіння водоростей і росту бактерій (фосфат (PO_4), оксид азоту (NO), діоксид азоту (NO_2), нітрат аміаку (NH_4)); локальне поширення фотохімічного смогу неметанового вуглеводню (NMHC); локальне підвищення рівня токсичності верхнього шару землі (зі смертельною концентрацією для гризунів) під впливом хімікатів, те ж само шарів води зі смертельною концентрацією для риби; глобальні, регіональні та локальні загрози здоров'ю людини під впливом викидів у повітря, воду та ґрунт; глобальне, регіональне та місцеве виснаження ресурсів як наслідок видобування мінералів та використання палива; глобальне, регіональне та місцеве погіршення стану земельних ресурсів за рахунок створення звалищ або інших негативних змін ландшафту; регіональні та локальні наслідки формування дефіциту води, що придатна для безпечного споживання [16]. Важлива роль у подоланні негативних ефектів, що формуються протягом тривалості життєвого циклу транспортного підприємства, відводиться системі заходів щодо підвищення рівня екологічності транспортних перевезень. Нові горизонти на шляху підвищення рівня екологічності транспортних перевезень відкривають можливості використання інтелектуальної транспортної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення рівня екологічності корпоративних транспортних перевезень на основі використання ІТС постійно перебуває у фокусі наукових інтересів дослідників в цілому, так і фахівців більш вузьких галузей корпоративної діяльності, а саме транспортних технологій та розвитку ІТС. Масштабні дослідження колективів вітчизняних науковців під керівництвом Бакуліч О. [2], у складі Антошкіної Л., Біляєва М., Коренюк Є., Хрущ В. К. [1; 3], Линник І., Лежневої О., Дорожко Є. та ін. [4], Олійника Я. [5], Schönsleben P. [17], що виконані з загальних позицій організації логістичних процесів, у поєднанні зі спеціальними дослідженнями у сфері забезпечення екологічних стандартів діяльності Європейської комісії [9; 11-13], нарешті створюють можливості для вирішення проблем гармонізації донедавна суперечливих цілей природоохоронної діяльності на рівні теорії. Одночасно, бажана гармонізація прискорюється за рахунок використання практичних конструкторських рішень для упередження можливих екологічних проблем вже на стадіях проєктування ТЗ, що висвітлюють в своїх дослідженнях провідні екодизайнери Baldwin C.Y. & Clark K.B [7; 8], Ericsson A. & Erixon G. [10], Trancossi M. [188].

Постановка завдання. Метою дослідження є встановлення можливостей застосування інтелектуальних транспортних систем для підвищення рівня екологічності транспортних перевезень в умовах прискореного розгортання цифрової трансформації в Україні.

Виклад основного матеріалу. Забезпечення високого рівня екологічності транспортних перевезень є сфера використання ІТС з реалізацією стандартів якості виконання логістичних процесів у процесі стабільного розвитку транспортних підприємств. Вони формуються з точки зору охорони природного середовища і вимірюється супроводжуваним їх діяльністю рівнем викиду забруднюючих речовин (двоокису вуглецю CO_2) (таблиця 1), значенням показників ефективного використання відновлюваних видів енергії, її питомою вагою, що витрачається на перевезення одиниці вантажу/кількості пасажирів, гібридністю транспортних засобів та рівнем впливу на біорізноманіття пов'язаних екосистем.

Практичними шляхами зниження викидів CO_2 у процесі здійснення корпоративних транспортних перевезень можливо вважати:

- покращення логістики шляхом оптимізації маршрутів і вантажопотоків для зменшення витрат пального і викидів;

- перехід на електромобілі, а також автомобілі, створені на засадах конструктивного дизайну для ефективності CDE (Constructal Design for Efficiency) [18]. Це означає зростання рівня використання відновлювальних видів енергії значно зменшує негативні екологічні наслідки використання енергії у процесах виробництва, практичне усунення викидів шкідливих газів у вигляді оксиду азоту і твердих частинок. В цілому заощадження використовуваної енергії, зменшення попиту на викопні види вуглецевого пального, розвиток інфраструктури (зарядні станції, екологічні зони використання), стимулювання розвитку технологій виробництва акумуляторів з високою ємністю, сприяння державним та національним екологічним програмам та угодам;

- використання на ТЗ двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), що виготовляються на основі передових технологій: турбонаддуву з метою підвищення потужності ДВЗ без значного збільшення його об'єму, зменшення викидів CO_2 і підвищення паливної ефективності; прямого впорскування пального у камеру згорання; каталізаторів, систем рециркуляції вихлопних газів, фільтрів твердих часток; гібридних технологій поєднання ДВЗ з електричними двигунами; застосування легких сплавів і композитів у конструкції; сучасних електронних систем управління та контролю ДВЗ; мультиклапанних технологій покращення потоку повітря та згорання за рахунок цього пального у циліндрах ДВЗ;

впровадження альтернативних видів палива (біо-, водневих паливних елементів, синтетичних видів); систем “старт-стоп” вимикання ДВЗ під час зупинок; технології охолодження і підтримання оптимального рівня температури роботи ДВЗ;

–переведення власного транспорту на альтернативні види пального;

–використання для виконання частини бізнес-процесів громадського транспорту;

–використання технологій відновлення та заощадження енергії під час гальмування, наприклад, у автомобілях та гібридних системах (систем рекуперації звільненої кінетичної енергії у електричну; фрикційного гальмування; гальмування з варіативним зусиллям; гідравлічних систем рекуперації; систем електромагнітного гальмування; адаптивних систем гальмування на основі аналізу дорожньої ситуації, спеціальних програм забезпечення максимальної ефективності для гальмівної системи) (Ecodesign-strategy wheel, LiDS-Wheel) [18];

–використання фінансових стимулів, що пов’язані з можливостями скорочення корпоративних карбонових податків за рахунок оптимізації виробничих процесів, впровадження безвідходних технологій, використання механізмів торгівлі карбоновими кредитами, участь у програмах зменшення викидів, отримання сертифікатів екологічного управління ISO 14001, впровадження корпоративної соціальної відповідальності, інвестицій в нові технології, екологічного навчання працівників, використання біопального або водню [9].

Таблиця 1 - Показники зведеного оцінювання викидів CO₂, що безпосередньо пов’язані зі здійсненням транспортних перевезень, в системі комплексу показників Протоколу про викиди парникових газів

Сфера застосування	Опис/приклад, необхідні дані та процес збирання	Носії даних
1	2	3
КАТЕГОРІЯ 1 – ПРЯМІ ВИКИДИ ВНУТРІШНІ — прямі викиди, які потрапляють в атмосферу в результаті прямої діяльності корпорації або використання ресурсів, які нею контролюються, а також від використання нерухомості (спалювання палива на місці з використання газових котлів, витік повітря з кондиціонера тощо), що можуть стосуватися корпорації в цілому, виготовлюваного нею продукту або її підрозділу		
1.1. прямі викиди від процесів горіння на стаціонарних/нерухомих об’єктах		
1.2. прямі викиди від процесів горіння на рухомих об’єктах	Використання дизельного палива вантажними автомобілями, бензину невантажними автомобілями, зрідженого нафтового газу навантажувачами (сумішей легких вуглеводнів пропену/пропану, бутену/бутану)	Кількість пального або пройдені відстані, рахунки фактури, квитанції про доставку, про пальне, картки пального/пробігу (км)
1.3. прямі викиди летких газів		
1.4. прямі викиди від здійснення технологічних процесів виробництва		
КАТЕГОРІЯ 2 – НЕПРЯМІ ВИКИДИ — викиди в атмосферу від виробництва енергії, придбаний комунальними підприємствами. Непрямі викиди електроенергії, що придбана та спожита організацією, а також від споживання закупленої електроенергії, пари, опалення та охолодження, включаючи мобільне споживання, які виникають під час виробництва енергії		
2.1. непрямі викиди від придбаної електроенергії		
2.2. непрямі викиди централізованого опалення/охолодження		
2.3. непрямі викиди придбаної пари		
КАТЕГОРІЯ 3 – НЕПРЯМІ ВИКИДИ ЗОВНІШНІ — включає енергію, спожиту у ланцюгу постачань до і після внутрішнього виробництв, включаючи вхідне та вихідне транспортування, засоби виробництва, придбані товари та споживання, що обов’язково супроводжує утилізацію виробленого продукту [11;12]. Крім того, включає викиди, які не включено до інших сфер – викиди, що відбувається у ланцюгу створення вартості корпорації до і після внутрішнього виробництва		

ЛАНЦЮГ ПОСТАЧАЇ ДО ВНУТРІШНЬОГО ВИРОБНИЦТВА – ділові поїздки, поїздки співробітників, утворення та утилізації відходів, логістика на початку виробництва та капітальні товари [15]		
3.1. закупівля товарів та послуг	Всі викиди, що відбуваються протягом ланцюга процесів від видобутку сировини до подальшої обробки і виробництва, а також транспортування до місця виробництва кінцевої продукції: сировина, допоміжні матеріали, товари для офісу	Кількість придбаних товарів і послуг, рахунки фактури на придбану сировину та добавки для виробництва/обробки продуктів, а також пакувальний матеріал
3.2. засоби виробництва / капітальні вкладення	Викиди вуглецю – <i>Product Carbon Footprint (PCF)</i> , що виникають у процесі виробництва засобів виробництва наприклад, машин, вантажних автомобілів тощо	Дані про <i>PCF</i> при виробництві капітальних товарів
3.3. використання палива та енергії	Те ж само, що 1.2 у процесах, що передують внутрішньому виробництву корпорації	
3.4. транспорт та розподіл у довиробничому ланцюгу	Викиди, яке здійснюється зовнішньою логістичною компанією, від вантажовідправників до корпорації, яка звітує про викиди. Перевезення здійснюється зовнішніми сторонами, але оплачується компанією, що звітує про викиди	Дані про придбаний товар (вага) та подолану відстань (кілометри) для придбаної сировини та напівфабрикатів
3.5. утворення відходів в корпорації		
3.6. ділові поїздки	Службові поїздки працівників на транспортних засобах, що не належить підприємству: таксі, рейси авіакомпаній, проїзд громадським транспортом	Рахунки про витрати на відрядження працівників, поїздки, що замовляються відділом кадрів
3.7. ділові поїздки працівників	Викиди вуглецю транспортом, який не належить корпорації і яким працівники добираються до місця своєї роботи	Дані анонімного оцінювання відділом кадрів: подолані кілометри, види транспорту, к-ть робочих днів у році
3.8. об'єкти оренди у ланцюгу створення вартості	Експлуатація орендованих будівель, машин або транспортних засобів. Енергоспоживання (пряме та непряме) предметів лізингу	Споживання енергії, договори лізингу, постачальники лізингу, рахунки
ЛАНЦЮГ ПОСТАЧАЇ ПІСЛЯ ВНУТРІШНЬОГО ВИРОБНИЦТВА – інвестиції, франшизи, орендовані потужності, подальша логістика, використання проданої продукції, переробка, підготовка до повторного використання, відходи та утилізації. Оцінюється у кожному випадку за допомогою вибору критерії на основі ретельного аналізу конкретної ситуації		
3.9. транспортування та розподіл	Викиди під час транспортування товарів, яке здійснюється зовнішньою логістичною компанією, від виробників до кінцевих споживачів. Перевезення здійснюється зовнішніми логістичними компаніями, і не оплачуються компанією, що звітує про викиди	Припущення щодо тоннажу та відстані для транспортних засобів, що використовуються для доставки товарів після завершення стадії виробництва
3.10. переробка реалізованих проміжних продуктів	Викиди, що викликані переробкою проміжних продуктів, які продаються компанією, що звітує. Викиди іншої компанії при переробці продукції	Запити у замовника переробки, дані від проведення бенчмаркінгу
3.11. використання реалізованої продукції	Викиди, що виникають на стадії використання продукції, що продана кінцевим споживачам: наприклад, викиди від використання проданих вантажних автомобілів	Обсяг реалізованої продукції у звітному році, енергетичні потреби продукту (на рік або на час використання), припущення щодо поведінки користувача (частота використання протягом року), термін служби виробу в роках
3.12. утилізація реалізованої продукції	Викиди, що пов'язані з транспортними витратами на здійснення утилізації реалізованої продукції, наприклад, від транспортування її на звалища, місця спалювання, переробки та повторного використання	Обґрунтовані припущення щодо поведінки кінцевого користувача відносно утилізації на основі кількості проданих продукції та її упакування, транспортних витрат (у пропорції відсоткового розподілу за типом виробництва)
3.13. об'єкти оренди у пост виробничому ланцюгу	Викиди, спричинені об'єктами, які належить компанії-орендодавцю, що звітує, але використовуються іншими компаніями. Викиди пов'язані з орендою транспортних засобів	Звіти орендаря, рахунки

	засобів, інвестиціями, будівництвом	
3.14. франшизи	Викиди від операції з франшизою або ділової активності, в яких звітуючі корпорації виступають франчайзерами	Енергоспоживання суб'єктів діяльності, що відповідають за використання наданих франшиз
3.15. інвестиції	Викиди від інвестиційної діяльності, викиди від споживання енергії, що пов'язані з інвестиціями: участі в інших компаніях, корпоративні позики від компанії, що звітує	Запити діловим партнерам щодо споживання енергії, що пов'язане з наданими їм корпоративними інвестиціями

Джерело: розроблено авторами на основі [9; 11; 12; 15]

Серед першочергових засобів підвищення рівня екологічності корпоративної діяльності, аналіз та заходи якої відрізняється від аналізу та заходів підвищення рівня екологічності бізнес-процесів ланцюга формування вартості продукту, розглядається оптимізація корпоративної логістики засобами оптимізації маршрутів з пов'язаним зменшенням витрат пального та викидів шкідливих речовин із залученням інструментарію штучного інтелекту. Визначено основний інструментарій та методи оптимізації маршрутів, а також інструмент контролю витрат при використанні альтернативних видів пального, що дозволяють досягти підвищення рівня екологічності транспортних перевезень на основі інтелектуалізації транспортних систем.

1. Інструменти для оптимізації маршрутів:

1.1. **GPS-системи та телематика.** Сучасні GPS-системи (Global Positioning System, оригінальна назва Navstar GPS) дозволяють відслідковувати маршрути в реальному часі, що дає змогу водіям і логістам вибирати найкоротші або найменш завантажені дороги, скорочуючи час у дорозі і витрати пального. Представлені інструментами Google Maps, Waze – для коротких та середніх маршрутів з урахуванням реального трафіку, Garmin, TomTom – для детального планування та навігації в автомобілях. GPS-трекер – основний елемент для управління автопарками і моніторингу об'єктів – передає місцезположення людей, транспорту, вантажів і обладнання на телематичну платформу. При підключенні до телеметричної платформи, GPS-координати перетворюються у багатий на інформацію функціонал: контроль геолокації; поїздки – адреса, час, тривалість; функції “машини часу”; оптимізація маршрутів; сповіщення про відхилення від маршруту; геозони і місця; навігація; автоматичні звіти по поїздкам; робочі/особисті поїздки.

При цьому телематика є галуззю технологій міжмашинної взаємодії (M2M), яка об'єднує транспортну інфраструктуру, інформаційні та комунікаційні технології для забезпечення ефективної роботи транспорту і, одночасно, набір пристроїв для збору даних про манеру управління конкретним автомобілем через супутникові системи. Засобами телематики здійснюється віддалене управління, відслідковування і моніторинг автопарків, вантажних автомобілів, ходового ланцюга, спеціального обладнання, будівельного обладнання, пасажирського транспорту, особистих транспортних засобів, каршерингу, сільськогосподарських машин, стаціонарних об'єктів, вантажів і контейнерів, причепів тощо. Основу апаратного блоку з особливим програмним забезпеченням, що збирає інформацію про автомобіль в реальному часі, складає “чорний ящик” з різними датчиками і програмним забезпеченням, за допомогою якого дані передаються на сервер. Телематика Plug-and-play – технологія, яка дозволяє відслідковувати транспортні засоби і збирати дані за допомогою пристроїв, які легко підключається до порту OBD-II транспортного засобу. Телематична платформа отримує дані з автомобільних трекерів і мобільних пристроїв і відображає їх на екрані ПК або смартфона. Телематична платформа забезпечує повний огляд автопарку. Отримуючи геолокацію і показники лічильників, вона надає наступні повідомлення і функції: безпека транспортного засобу (детектор евакуації, блокування

двигуна, попередження дорожньо-транспортних пригод, зміна водія, несанкціонований рух), ефективність та витрати (контроль рівня палива, мотогодини, якості водіння, технічне обслуговування, MIL (Malfunction Indicator Lamp) – індикатор несправності, контрольний індикатор двигуна – засіб попередження водіїв про наявність проблеми/DTC (Diagnostic Trouble Code) – код, який використовується для діагностики несправностей у транспортному засобі або важкій техніці, тиск у шинах, навантаження на вісь, контроль механізмів, оптимізація маршрутів), безпека за кермом (контроль рівня стомленості водія, алкозамок, рішення ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) – набір електронних систем і технологій, які інтегровано до сучасних транспортних засобів з метою підвищення безпеки водія та покращення досвіду водіння - датчики, камери, радары, Lidar, інші технології для надання інформації та допомоги водієві у режимі реального часу, що дозволяє здійснювати адаптивний круїз-контроль, виїзд зі смуги руху та попередження-допомогу в збереженні смуги руху, попередження про виїзд зі смуги руху, попередження про зіткнення попереду, виявлення сліпих зон, допомога при паркуванні, розпізнавання дорожніх знаків, нічне бачення, виявлення пішоходів, виявлення перехресного руху та адаптивні фари, кнопка SOS), відповідні вимоги (тахограф, журнал водія, передрейсовий контроль, ретрансляція даних).

Блок управління телематикою (TCU) – вбудована бортова система, яка управляє бездротовим відслідковуванням, діагностикою і зв'язком з транспортним засобом. Системи можуть використовуватись для повідомлення про аварії eCall, електронного знімання коштів, відслідковування транспортних засобів, багатьох інших областях. Переваги використання TCU: розширення можливості підключення до транспортного засобу за рахунок додавання додаткових модемів і обробки даних для підтримання зв'язку між автомобілем і "хмарою", інфраструктурою або іншими транспортними засобами; оптимізацію потужності антени з покращенням вимірювання струму, діагностикою і низьким рівнем шуму; надійне, ефективне і швидке передавання даних, що забезпечує зв'язок з іншими системами автомобіля.

1.2. Системи управління транспортом з функцією оптимізації маршрутів та вантажопотоків. Система управління транспортом SIRUM – універсальне веб-програмне забезпечення, що поєднує функції TMS (Transportation Management System – управління транспортними перевезеннями), WMS (Warehouse Management System – управління складськими процесами) та DMS (Document Management System) в єдиній системі відображення сукупності бізнес-процесів, таких як управління замовленнями, планування і виставлення рахунків – дозволяють оптимізувати маршрути вантажівок, знижувати витрати і планувати доставки, адже автоматизують процес планування і використовують спеціальні алгоритми для знаходження оптимальних маршрутів. Систему SIRUM може бути розширено модульним способом, наприклад, за допомогою управління складом або управління автопарком/водіями. Крім того, існує додаток для водіїв та портали для клієнтів/підприємців з метою автоматизованого обміну даними і створення цифрової мережі пов'язаних учасників. Різноманітні програмні рішення – SAP TMS, Oracle Transportation Management, JDA Software – на основі використання та за допомогою стандартних додатків, платформ та технологій мають змогу не лише розробляти та відображати кожен бізнес-процес і робити його ефективним та стійким до ризиків, але і максимально повно забезпечувати належний рівень екологічності ланцюга формування вартості. Рішення також можна використовувати для створення прогнозів, наприклад, коли транспортний засіб потрібно відремонтувати або як розвиватимуться продажі у наступній половині року. Спеціалізовані програми для оптимізації маршрутів (Route Optimization Software – Route4Me, OptimoRoute,

MyRouteOnline) враховують низку факторів: завантаженість доріг, витрати пального, викиди CO₂, доступність транспортних засобів і водіїв.

Інструментами оптимізації вантажопотоків є використовувані із залученням інструментів штучного інтелекту системи управління складом, інтернет речей та сенсори, системи обробки великих масивів даних. Системи управління складом **Warehouse Management System (WMS – Manhattan Associates WMS, SAP Extended Warehouse Management)** [14] автоматизують розміщення вантажів і ефективний підбір товарів для відправки, тим самим допомагають забезпечити правильну завантаженість транспорту, що знижує кількість рейсів і витрати на перевезення. **IoT (Інтернет речей) і сенсори**, встановлені в транспортних засобах та на складах, дозволяють відстежувати рівень завантаженості, температуру, стан вантажу і оптимізувати вантажопотоки на основі отриманих даних. **Big Data та Digital Analytics** дозволяють прогнозувати попит на товари, що допомагає оптимізувати складування і транспортування вантажів, а також зменшити витрати пального. Наприклад, аналізуючи попередні дані про продажі, можна точно визначити, скільки товарів потрібно доставити в конкретний регіон і в який час.

2. Алгоритми оптимізації маршрутів:

2.1. Алгоритм комівояжера Traveling Salesman Problem (TSP) – алгоритм оптимізації мережі маршрутів, який допомагає знайти найкоротший шлях між кількома пунктами доставки, який використовується у багатьох логістичних системах. Перевагами та надбаннями можливих застосувань ІТС для оптимізації маршрутів (вирішення завдання для значної кількості точок постачання є надзвичайно розрахунково містким, навіть неможливим для проведення обчислень із застосуванням найбільш продуктивних комп'ютерів) є можливість наближеного порівняння альтернативних маршрутів пересування транспортного засобу між зростаючою кількістю місць доставки вантажу з метою отримання найбільш економного варіанту, але з обов'язковим відвіданням усіх точок виконання замовлень.

2.2. Алгоритми маршрутизації транспортних засобів Проблема маршрутизації транспортного засобу **Vehicle Routing Problem (VRP)** розширюють TSP і допомагають мінімізувати витрати, враховуючи вантажопідйомність автомобілів, обмеження за часом, кількість пунктів доставки тощо. До найбільш популярних платформ, для покращення яких інтенсивно застосовуються можливості використання штучного інтелекту, відносяться myFIEGE, PAQATO, GSMtasks, URBANTZ, які забезпечують досягнення мети швидкого та якісного планування і оптимізації, використання алгоритмів, які автоматично враховують вимоги конкретного бізнесу, автоматизоване використання відповідних основних даних, рівне використання транспортних турів, більш ефективний зв'язок через додатки та телематику, доцільно-фактичне порівняння у режимі реального часу, моделювання за допомогою альтернативних планів, кращий рівень контролю.

2.3. Генетичні алгоритми (Genetic Algorithms) – методи евристичної оптимізації, що імітують процеси природного відбору, допомагають знаходити ефективні рішення для великих і складних проблем маршрутизації у складному пошуковому просторі. Функціональними елементами процесу оптимізації при цьому визнаються бізнес-функції транспортування, зберігання, пакування, завантаження та розвантаження, обробка, пересування та тимчасове зберігання, розподіл, управління експрес-логістичною інформацією.

3. Інструменти контролю витрат при використанні альтернативних видів пального

3.1. Системи моніторингу пального – Fuelio, AMCS Maintenance, Vimcar Fleet, Fleet+, Fleethouse, Avrios, SAM, GSMtasks, Blue Eye, Odoo, Dynamics Mobile – дозволяють в режимі реального часу відстежувати витрати пального, стиль водіння і можливі шкідливі витoki, тим самим допомагають виявити неекономічні маршрути або поведінку водіїв, що збільшує витрати пального і пов'язані з цим шкідливі викиди.

3.2. Платформи для управління парком – Geotab, Samsara – забезпечують моніторинг стану ТЗ і витрат пального, допомагаючи контролювати ефективність використання автомобіля. Зниження витрат пального досягається за рахунок підвищення продуктивності маршруту пересування та диспетчеризації, максимізації часу безвідмовної роботи за допомогою прогнозного обслуговування, зниження витрат на ремонт. Ключовими факторами скорочення шкідливих викидів є економія витрат палива парку, якість технічного обслуговування автомобілів, мінімізація часу простою та витрат на технічне обслуговування транспортних засобів, бенчмаркінг бізнес-процесів використання транспорту, регулювання параметрів засобів транспортування з метою найкращого пристосування парку для виконання робочих циклів, для яких вони найкраще підходять. Залучення інструментів ІТС з метою оптимізації ПЗ платформ для управління транспортним парком забезпечує: швидкий та спрощений перегляд звітів про використання палива; доступ до критичних показників роботи двигуна для продуктивного обслуговування парку; оперативне сповіщення про код несправності двигуна для прогнозування управління ним; звіт про поведінку водія, включаючи надмірні траєкторії руху при поворотах, надлишково різке гальмування та їзду на холостому ходу; картка показників водія для мінімізації зносу автомобіля.

3.3. Альтернативні види пального у вигляді технологій використання біопалива, водню або інших альтернативних джерел енергії допомагають суттєво скоротити викиди за рахунок економного використання нешкідливого палива.

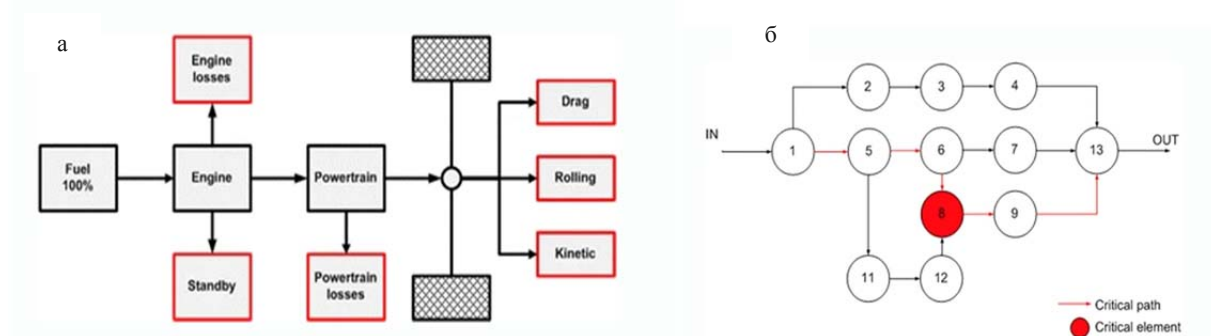
4. Засвоєння навичок еко-драйвінгу:

4.1. Програми для навчання технікам еко-драйвінгу водіїв вантажних та легкових автомобілів дозволяють суттєво скоротити витрати пального та зменшити викиди. Еко-драйвінг включає використання меншого газу на довгих прямих ділянках, раціональне використання гальм і уникання перевищення швидкості.

4.2. Автоматизовані системи рекомендацій, якими оснащено автомобілі, в режимі реального часу надають рекомендації водіям щодо оптимізації стилю водіння з метою економії пального. Інструменти коучингу водіїв використовуються для отримання зворотного зв'язку водієві в режимі реального часу та просування більш паливно-ефективної поведінки за кермом, інтеграції паливних карток, отримання динамічних звітів про тенденції викидів, проведення віддаленої діагностики, реконструкції зіткнень тощо.

Найбільш наочним свідченням доцільності та високого рівня ефективності залучення ІТС до підвищення рівня екологізації транспортних перевезень є досвід дизайну енергоощадних вантажних автомобілів як доведеної транспортної екосистеми, що у повній мірі задовольняє збалансованим вимогам економічної зрілості конструктивних виробничих рішень та можливостей кардинального оновлення на їхній основі підходів до подолання екологічних проблем і пошуку ефективних шляхів зниження шкідливих викидів. Поштовхом до вивчення шкідливих екологічних ефектів від недосконалого дизайну транспортних засобів стали фахові дослідження причин втрат пального, що пов'язувались з традиційною конструкцією вантажних автомобілів [19]. На першій стадії дослідження, яку представлено на рис. 1а – схематичному зображенні трансмісії автомобіля з двигуном внутрішнього згорання (Internal

Combustion Engine) – визначено напрями та чинники витрат транспортним засобом пального (рис. а), на другій – критичні елементи конструкції (рис. б).



Пояснення: (а): fuel – пальне; engine – двигун; engine losses – витрати пального під час роботи двигуна; standby – витрати пального на холостій роботі двигуна; powertrain – силовий агрегат; powertrain losses – витрати пального під час використання силового агрегату; drag – лобовий опір; rolling – прокачування; kinetic – кінетична енергія;

(б): critical path – критичний шлях; critical element – критичний елемент (колеса і підвіски) (16)

Рисунок 1 - Витрати пального транспортним засобом з двигуном внутрішнього згорання (а) та пов'язані з цим критичні елементи його конструкції (б)

Джерело: розроблено авторами на основі [19]

Використання інтелектуальних модульних платформ, що базується на засадах багатопрофільної оптимізації дизайну - Multidisciplinary Design Optimisation (MDO) [6] і модульної дизайн системи Modular System Design (MSD) [7; 8; 10], дозволяють вирішувати проблеми заощадження пального ще на стадіях проєктування майбутніх ТЗ (рис. 2).

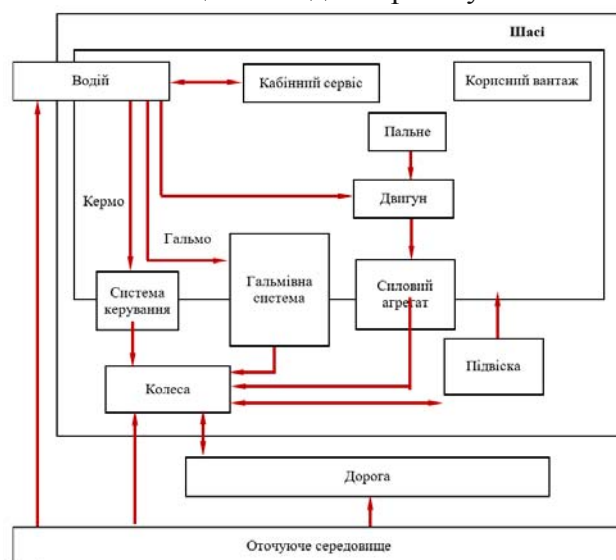


Рисунок 2 - Конструктивне проєктування модулів системи автомобіля з ідентифікованими критичними елементами та критичним шляхом

Джерело: розроблено авторами на основі [1919]

Зазначені конструкторські підходи забезпечують подолання негативних наслідків значного збільшення маси автомобіля, що контрастує з мінімальними вимогами щодо економії енергії та зменшення впливу на навколишнє середовище (рис. 3) виробництва.

Це призводить до надмірної стандартизації транспортних засобів і надлишкової конкуренції в нетехнічних аспектах (ціна, маркетинг і обслуговування). Ці елементи є

однією з головних причин технологічної зрілості, одночасно, екологічної загрози, що продукується в більшості галузей промисловості синхронізованого модульного виробництва.

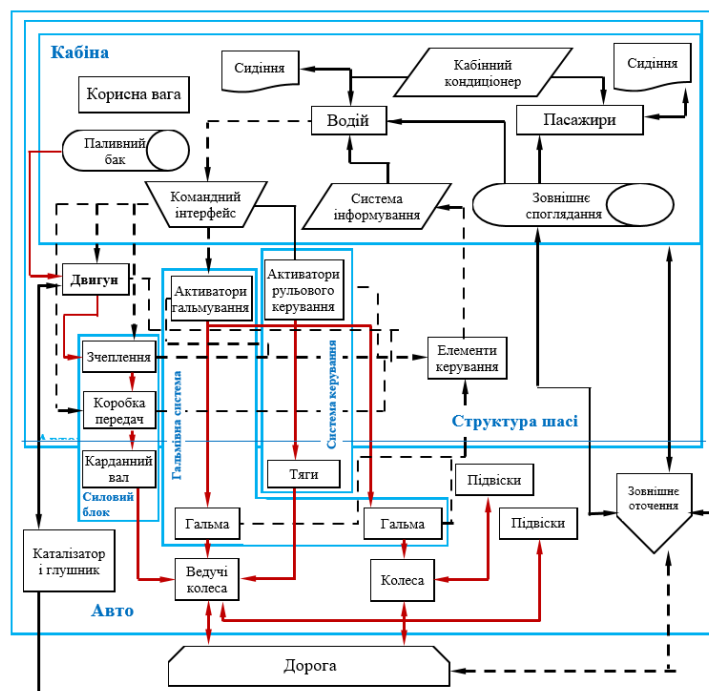


Рисунок 3 - Схематичне модульне представлення вантажного автомобіля, що реалізує комбінований CDE-підхід до еко-дизайнового проектування

Джерело: розроблено авторами на основі узагальнення і доповнення [18]

Висновки та перспективи подальших досліджень. Мета досягнення здійснення стратегічних цілей діяльності транспортних підприємств не повинна вступати у антагоністичне протистояння до мети забезпечення сучасних стандартів функціонування її екосистемного середовища. Шкідливий вплив окремих компонентів логістичних процесів на підвищення кількості шкідливих викидів з особливою ясністю проявляється під час виконання транспортних перевезень.

Передовими технологіями організації транспортно-логістичних процесів є використання пов'язаних між собою операцій щодо організування безперервного постачання сировини та виробничих напівфабрикатів Vendor managed inventory – інвентаризації запасів, що регулюється вантажовідправником; Cross docking – технології прискореної доставки товарів до точок продажу; Synchronized production – модульне виробництво на замовлення продукції.

Фізична оптимізація маршрутів і вантажопотоків у процесі корпоративної діяльності вимагає поєднання сучасних цифрових технологій, таких як телематика, алгоритми маршрутизації, аналітика великих даних і ефективне управління автопарком. Використання цих інструментів дозволяє не тільки зменшити витрати часу на виконання замовлень, але й суттєво знизити витрати на паливе, автоматично, знизити шкідливі викиди, що є важливим для забезпечення стандартів екологічності. ІТС кардинально змінюють транспортні перевезення, роблячи їх більш автономними, безпечними та екологічними. Прогрес у цій сфері буде залежати від розвитку технологій, нормативного регулювання та готовності інфраструктури до впровадження інновацій.

Перспективи використання ІТС у транспортних перевезеннях передбачають радикальні зміни, які допоможуть зробити галузь більш ефективною, безпечною та екологічно чистою. До основних напрямів розвитку ІТС в цій сфері ми віднесемо:

автономні транспортні засоби; оптимізацію маршрутів та управління трафіком на основі використання алгоритмів аналізу великих масивів даних, що дозволяють прогнозувати затори та швидко коригувати маршрути транспорту в реальному часі; залучення до ланцюга формування вартості потенціалу використання ІТС, що здатні інтегруватись до систем управління міським транспортом, контролювати світлофори, трафік та громадський транспорт; удосконалення логістики та ланцюгів постачання за рахунок автоматизації вантажних перевезень, аналітичних моделей передбачення майбутнього попиту на перевезення та відповідного управляти транспортними та складськими ресурсами; підвищення безпеки на дорогах за рахунок удосконалення інструментів аналізу поведінки водіїв, моніторингу стану транспортних засобів; системного підвищення рівня енергетичної ефективності; організування глобальних мультимодальних перевезень; інтеграції різних видів транспорту, використання технологій Hyperloop та інших інновацій.

Список літератури

1. Антошкіна Л.І., Біляєв М.М., Кореньюк Є.Д., Хрущ В.К. Стан довкілля: моделі та прогноз: монографія. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2003. 328 с.
2. Бакуліч О.О., Гребельник М.М., Самойленко Є.С. Управління екологічною безпекою мегаполісу. Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник. 2022. 161 Випуск 1 (51). С. 12-20. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-020-027
3. Беляєв Н.М., Кореньюк О.Д., Хрущ В.К. Методи експрес розрахунку рівня забруднення атмосфери. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2002. 192 с.
4. Линник І.Е., Лежнева О.І., Дорожко Є.В. та ін. Екологічні аспекти автотранспортного комплексу: монографія. Харків: Видавництво "Смугаста типографія", 2020. 194 с.
5. Охорона навколишнього середовища: монографія / за ред. Я.Б. Олійника. К.: Ніка-Центр, 2006. 264 с.
6. Avriel, M., Rijckaert, M.J., & Wilde, D.J. (Eds.). Optimization and design. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. 1973. 512 p.
7. Baldwin C.Y., Clark K.B. Design rules. Vol. 1: The Power of Modularity. Cambridge: MIT Press. 2000. 483 p.
8. Baldwin, C.Y., Clark, K.B. (2002). The option value of modularity in design. *Harvard NOM Working Paper No. 02-13; Harvard Business School Working Paper No. 02-078*. Boston: Harvard business school. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=312404
9. ClimateSeed. *From carbon offsetting to climate contribution. Guidebook*. URL: <https://climateseed.com/climate-contribution-download-guide> (дата звернення 3.09.2024).
10. Ericsson A., Erixon G. Controlling design variants. Society of manufacturing engineers. 1999. 145 p.
11. European Commission, PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules) Guidance document. Product Environmental Footprint Category 2 Rules Guidance 3 Version 6.3 – May 2018. URL: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf. 2018 (дата звернення 2.09.2024).
12. European Commission. Product Umweltfußabdruck (OEF) Guide. URL: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/footprint/OEF%20Guide_final_July%202012_clean%20version.pdf. 2012. (дата звернення 2.09.2024)
13. European Commission. Product Umweltfußabdruck Category Rules Guidance. URL: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf. 2012 (дата звернення 2.09.2024).
14. Greb A., Schmid S., Löw I., Gulyácssy F., Lauterbach B., Baseshankar N., Pamperrien B. Logistik mit SAP S/4HANA. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Bonn: Rheinwerk. 2022. 671 s.
15. lc-impact.eu. LC-Version 1.0. A spatially differentiated life cycle impact assessment approach. URL: https://lc-impact.eu/doc/LC-IMPACT_Overall_report_20201113.pdf (дата звернення 4.09.2024)
16. materialflows.eu. URL: http://www.materialflows.eu/assets/Material_Flows_of_the_HA_Industry_LR.pdf. 33 p. (дата звернення 4.09.2024).
17. Schönsleben P. Handbuch Integrales Logistikmanagement. Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend. 9., Aufl. Berlin: Springer Vieweg. 2024. 876 p.
18. Trancossi, M. (2015). A response to industrial maturity and energetic issues: a possible solution based on constructal law. *Eur. Transp. Res. Rev.* 2015. 7: 2. DOI: 10.1007/s12544-014-0150-4 (дата звернення 6.09.2024).
19. Wong J.Y. Theory of ground vehicles, 4th edn. 4th ed. John Wiley & Sons. 2008. New York. 592 с.

References

1. Antoshkina, L.I., Bilyaev, M.M., Korenyuk, E.D., & Khrushch V.K. (2003). *Environmental status: models and forecast*. Dnipropetrovsk: Science and Educationnm. 328 p. [In Ukrainian].
2. Bakulich, O.O., Grebelnyk, M.M., & Samoilenko, E.S. (2022). Management of the ecological safety of a megalopolis. *Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and Technical Collection*, 161, 1 (51), 12-20. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-020-027 [In Ukrainian].
3. Belyaev, N.M., Korenyuk, O.D., & Khrushch, V.K. (2002). *Methods of express calculation of atmospheric pollution level*. Dnipropetrovsk: Science and Education. 192 p. [In Ukrainian].

4. Linnyk, I.E., Lezhneva, O.I., Dorozhko, E.V. et al. (2020). *Ecological aspects of the motor transport complex*. Kharkiv: Publishing house "Smugasta typografiya". 194 p. [In Ukrainian].
5. Oliynyk, Ya. B. (2006). *Environmental protection*. Kyiv: Nika-Center. 264 p. [In Ukrainian].
6. Avriel, M., Rijckaert, M.J., & Wilde, D.J. (Eds.). (1973). *Optimization and design*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall.
7. Baldwin C.Y., & Clark K.B. (2000). *Design rules, Vol. 1: The Power of Modularity*. Cambridge: MIT Press.
8. Baldwin, C.Y., Clark, K.B. (2002). The option value of modularity in design. *Harvard NOM Working Paper No. 02-13; Harvard Business School Working Paper No. 02-078*. Boston: Harvard business school. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=312404.
9. ClimateSeed. From carbon offsetting to climate contribution. Guidebook. (2018). <https://climateseed.com/climate-contribution-download-guide>.
10. Ericsson, A., & Erixon, G. (1999). *Controlling design variants*. Society of manufacturing engineers.
11. European Commission, PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules) Guidance document. (2018). Product Environmental Footprint Category 2 Rules Guidance 3 Version 6.3 – May 2018. https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf.
12. European Commission. (2012). Product Umweltfußabdruck Category Rules Guidance. https://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf.
13. European Commission. Product Umweltfußabdruck (OEF) Guide. (2012). https://ec.europa.eu/environment/eusssd/smgp/pdf/footprint/OEF%20Guide_final_July%202012_clean%20version.pdf.
14. Greb, A., Schmid, S., Löw, I., Gulyácssy, F., Lauterbach, B., Baseshankar, N. et.al. (2022). *Logistik mit SAP S/4HANA*. Bonn: Rheinwerk [In German].
15. lc-impact.eu. LC-Version 1.0. A spatially differentiated life cycle impact assessment approach. https://lc-impact.eu/doc/LC-IMPACT_Overall_report_20201113.pdf.
16. materialflows.eu (2017). http://www.materialflows.eu/assets/Material_Flows_of_the_HA_Industry_LR.pdf.
17. Schönsleben, P. (2024). *Handbuch Integrales Logistikmanagement. Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend*. Berlin: Springer Vieweg [In German].
18. Trancossi, M. (2015). A response to industrial maturity and energetic issues: a possible solution based on constructal law. *Eur. Transp. Res. Rev.*, 7: 2. DOI: 10.1007/s12544-014-0150-4.
19. Wong, J.Y. (2008). *Theory of ground vehicles*. 4th ed. John Wiley & Sons. New York. 592 p.

Eduard Ladyzhenskyi¹, Volodymyr Petlenko², Andrii Hrynkiv², PhD tech. sci.

¹State Higher Educational Institution "Priazov National Technical University", Dnipro, Ukraine

²Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Increasing the Level of Environmental Friendliness of Transportation Based on the Intellectualization of Transport Systems

The publication is devoted to the study of ways to improve the level of environmental friendliness of transportation. The purpose of the study is to identify the possibilities of using intelligent transport systems to improve the level of environmental friendliness of transportation, as well as to conduct an analytical review of ways to increase the level of efficiency of the use of software tools, intelligent technologies that contribute to reducing the negative impact of business processes of using corporate transport in supply chains on the local environment.

The provision of a high level of environmental friendliness of transport is justified based on the use of intelligent transport systems with a plan to ensure quality standards for the implementation of logistics processes in the process of sustainable development of the corporation, which are formed from the point of view of environmental protection and measured by accompanying production activities at the level of pollutant emissions (carbon dioxide CO₂), assessment of indicators of the effective use of renewable energy, its specific weight produced per unit of cargo/number of passengers, hybridity of vehicles and the level of impact on the biodiversity of related ecosystems.

The point of view is defended that the promising capabilities of intelligent transport systems in the management of environmentally friendly transport can be realized through the use of Big Data processing algorithms with the subsequent use of systematized information for route optimization and traffic management in real time; involvement in the value chain of the intellectual potential of digital transport platforms that are able to integrate into urban transport management systems, control traffic lights, traffic and public transport; improvement of supply chain logistics through automation of freight transportation, application of analytical models for predicting future demand for transportation and appropriate management of transport and storage resources; improving road safety by improving tools for analyzing driver behavior, monitoring the condition of vehicles; systematic increase in the level of energy efficiency of fuel use; integration of different modes of transport, the use of Hyperloop technologies and other innovations

harmful emissions, environmental friendliness of transportation, intelligent transportation systems

Одержано (Received) 02.05.2025

Прорецензовано (Reviewed) 16.05.2025

Прийнято до друку (Approved) 20.05.2025