УДК 658.29 https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.13(44).399-407

А. В. Йовченко, канд. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
e-mail: a.yovchenko@chdtu.edu.ua

Lean & Green підходи в удосконаленні логістики транспортних підприємств

Анотація. Розглянуто можливості підвищення ефективності роботи транспортних підприємств шляхом впровадження ощадливого виробництва (Lean) та зеленої логістики (Green). Наведено інструменти Lean-логістики: 5S, Sustainable Transportation Value Stream Map (STVSM), Kanban, Just-in-Time та Kaizen, за рахунок яких на транспортних підприємствах може відбуватись скорочення порожніх пробігів, оптимізація маршрутів, зменшення надлишкових запасів, втрат часу та ін. Поєднання Lean та Green логістики, використання енергоефективних видів транспорту, цифрових систем управління логістичними потоками та вимог законодавства до екологічних норм зовнішнього довкілля призводить до зниження витрат та вуглецевого сліду логістичних операцій. Розроблено аналітичну модель логістичного вузла для оцінки його роботи при відмові та ремонті рамп, що дозволяє кількісно оцінити пропускну здатність системи. Наведено шляхи вирішення проблеми.
транспортна логістика, Lean-логістика, Green-логістика, система масового обслуговування

Постановка проблеми. Однією з ключових причин глобального потепління та забруднення довкілля є викиди, що виникають внаслідок логістичних перевезень вантажними транспортними засобами (ТЗ). Зростання обсягів вантажних перевезень, посилення екологічного регулювання та підвищення вартості енергоресурсів актуалізують завдання оптимізації транспортно-логістичних систем. Витрати транспортних підприємств формуються внаслідок неефективної взаємодії транспортних та складських операцій, надлишкових переміщень матеріальних потоків, простоїв рухомого складу та ін.

Зелена логістика спрямована на зменшення екологічного навантаження, яке виникає внаслідок роботи транспортно-складської інфраструктури. Застосування Lean-підходів забезпечує більш раціональне використання ресурсів та усунення повторюваних операцій. Впровадження Lean та Green підходів формує комплексний ефект, який сприяє підвищенню операційної ефективності систем та скороченню негативного впливу на довкілля.

Lean-інструменти нерідко застосовуються без належного рівня використання логістичних ресурсів та кількісного аналізу пропускної спроможності, що ускладнює прийняття управлінських рішень та знижує очікуваний ефект від їх реалізації.

В умовах зростання вимог до зменшення екологічного навантаження, підвищення економічної ефективності та стабільності логістичного сервісу традиційні підходи до управління матеріальними потоками стають недостатньо результативними. Ефективним напрямом є впровадження системи масового обслуговування (СМО), яка надасть математично обґрунтоване моделювання пропускної здатності, черг та завантаження ресурсів разом із принципами Lean-логістики, спрямованими на усунення витрат, мінімізацію варіативності процесів та оптимізацію потоків. Це дозволить одночасно оцінювати динаміку логістичних систем в кількісних показниках та впроваджувати організаційні зміни для підвищення швидкості та стійкості матеріальних потоків.

© А. В. Йовченко, 2026

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування принципів Lean в транспортній логістиці розглядається в наукових дослідженнях як ефективний інструмент підвищення результативності логістичних процесів. Зокрема, впровадження ощадливих підходів дозволяє скоротити простої ТЗ, оптимізувати маршрути перевезень, зменшити витрати палива, а також підвищити ефективність складських операцій і документообігу. В результаті підприємства отримують конкурентні переваги, а транспортні системи набувають ознак сталого розвитку [1–7].

Складські процеси відіграють ключову роль в транспортній логістиці, оскільки саме на цьому етапі формуються основні часові та ресурсні витрати. Нераціональна організація складських зон, зайві операції та складні маршрути переміщення вантажів часто призводять до затримок і перевитрат, що створює так званий ефект «петлі» — хаотичні та надмірні траєкторії руху персоналу та техніки, що виникають через відсутність узгодженого планування та ефективного управління потоками. Оптимізація цих процесів є важливою складовою підвищення ефективності логістичних систем в межах Lean-підходу [6].

В роботах [8-11] розглянуто можливості адаптації Lean-підходів до діяльності транспортних підприємств з урахуванням економічних викликів та нестабільності транспортної інфраструктури. Доведено, що впровадження ощадливих принципів у логістику сприяє скороченню часових втрат, підвищенню ефективності перевезень та підвищенню рівня обслуговування клієнтів.

До основних видів втрат, характерних для транспортної логістики, належать [7]: часові втрати, пов’язані з простоями ТЗ та очікуванням навантаження або розвантаження; надлишкові перевезення, зумовлені неоптимальними маршрутами та зворотними рейсами без вантажу; зайві переміщення вантажів і персоналу на складах; дефекти документації, зокрема помилки в товарно-транспортних накладних; нерівномірність використання ресурсів, що проявляється у перевантаженні окремих ТЗ за одночасного простою інших та ін.

Застосування Lean-підходів у транспортній логістиці забезпечить зниження непродуктивних витрат, підвищення ефективності логістичних потоків та оптимізацію витрат підприємств. Водночас, підвищення результативності внаслідок впровадження ощадливих принципів потребує попереднього аналізу складських потоків транспортного підприємства та розроблення заходів з їх оптимізації з урахуванням концепції Lean-підходів [8-11].

Lean-підхід зазвичай реалізується через систему Kanban, тоді як Green оцінюється за показниками споживання матеріалів, енергії та води. Впровадження Lean сприяє зменшенню матеріальних та енергетичних витрат за рахунок скорочення перевиробництва, що узгоджується з концепцією екологічної ефективності виробництва.

Водночас дослідження вказують на можливі компроміси між Lean і Green, зумовлені специфікою технологічних процесів. Використання DES-моделювання розглядається як ефективний інструмент для аналізу Lean&Green, оптимізації параметрів Kanban і вибору збалансованих рішень з урахуванням виробничих та екологічних показників [12].

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування доцільності впровадження Green-логістики, розроблення Lean-підходів та методів СМО для зменшення витрат і підвищення ефективності транспортно-логістичних процесів.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення таких задач:

1. Проаналізувати основні джерела витрат в транспортних та складських логістичних процесах.

2. Дослідити можливості застосування Green-логістики, Lean-інструментів (STVSM, Kanban, Kaizen, SMED) в логістиці.

3. Обґрунтувати використання моделей СМО для аналізу завантаження логістичних ресурсів.

4. Розробити практичні рекомендації щодо підвищення ефективності транспортно-складських процесів на основі поєднання підходів Green, Lean і СМО.

Виклад основного матеріалу. Автомобільний транспорт є одним із найбільших джерел викидів CO_2, займаючи до 25% у глобальному балансі. Основними факторами є інтенсивність використання автомобільного транспорту, низький рівень завантаженості рейсів, застарілі двигуни, недостатня інтеграція екологічних стандартів у логістичні операції та ін.

Методи ощадливого виробництва (Lean), запропоновані компанією Toyota, сьогодні активно інтегруються у сферу логістики. Lean-логістика дозволяє зменшувати порожні пробіги ТЗ; оптимізувати маршрути перевезень та завантаження складів; застосовувати Kanban та Just-in-Time для зниження надлишкових запасів, та ін. [6-7].

Lean-методологія пропонує низку інструментів, що можуть бути адаптовані для транспортної логістики [6-11]:

- Sustainable Transportation Value Stream Mapping (STVSM) для виявлення витрат у транспортних процесах, включає оцінку індексу загальної ефективності транспортних засобів;
- Just-in-Time для оптимізації графіків доставки;
- 5S для підвищення організованості вантажно-розвантажувальних та складських операцій;
- Kaizen як механізм постійного вдосконалення маршрутів і процесів.

Індекс загальної ефективності ТЗ складається з адміністративної або стратегічної доступності, операційної доступності, продуктивності та якості.

До Green-логістики відносяться такі екологічні впровадження в сферу діяльності підприємства як: використання ТЗ із низьким рівнем викидів; використання цифрових платформ керування ТЗ для оптимізації та зменшення неефективних рейсів, енергоефективних технологій у складській інфраструктурі та ін. [12].

Green-логістика також включає розвиток екологічних видів пакування, повторне використання ресурсів і застосування концепції зворотної логістики: перехід на багаторазові упаковки, впровадження біорозкладних та енергоефективних пакувальних рішень. Зворотна логістика надає можливість організовувати ефективні потоки повернення тари, товару з вадами, деталей для ремонту та утилізації, тобто зменшення екологічного сліду логістичної системи в цілому. У комплексі вони сприяють збільшенню екологічної стійкості транспортних та матеріальних потоків.

Поєднання Lean та Green підходів дозволяє досягти подвійного ефекту: зниження витрат підприємства та мінімізації впливу на довкілля. Наприклад, оптимізація маршрутів на основі GPS-аналітики за Lean-підходами може одночасно скоротити витрати палива на 10–15% та зменшити викиди CO_2.

Lean-підходи дозволяють ефективно синхронізувати графіки роботи різних видів ТЗ, а зелена логістика забезпечує екологічність таких перевезень. Таким чином формується концепція Green Lean Logistics, яка може стати основою для нових бізнес-моделей і державних стратегій сталого розвитку.

Існує декілька алгоритмів формування системи ощадливого виробництва, які відрізняються послідовністю дій та акцентами на окремих інструментах Lean. Підхід Дж. Вумека залежить від залучення персоналу та постійного удосконалення логістичних процесів. Необхідно створити команду впровадження, навчити її Lean-

підходам, ідентифікувати критичні проблеми підприємства та поступово їх усунути та перейти до більш складних завдань. Одним із головних питань підприєств є скорочення часу реакції та собівартості продукції. Важливе місце приділяється побудові карти потоку, яка дозволяє виявити вузькі місця та джерела витрат, а також оперативна реалізація заходів із формуванням бажаного майбутнього стану виробничої системи. Окремо наголошується на орієнтації на короткострокові результати та активному залученні працівників до процесів безперервного вдосконалення на засадах Kaizen.

Інший поширений підхід до впровадження ощадливого виробництва запропонований М. Вейдером, що ґрунтується на принципі циклічного вдосконалення виробничих процесів. Здійснюється оцінка стану підприємства, що дозволяє ідентифікувати основні види витрат. На цьому етапі важливу роль відіграють інформаційні технології, які забезпечують прозорість та стійкість транспортно-логістичних процесів. Вони дозволяють здійснювати планування маршрутів вантажних перевезень, моніторинг логістичних операцій, що дозволяє зменшити простої ТЗ та призводить до зменшення витрат.

При впровадженні системи 5S (раціональне розміщення, сортування, стандартизація, прибирання, удосконалення та дисципліна) виявляються зайві операції. Подальше застосування картування потоку дозволяє ідентифікувати приховані витрати та обґрунтувати використання таких інструментів, як швидке переналагодження, захист від помилок і візуальний контроль [13].

Аналіз різних систем свідчить про відсутність універсального підходу до впровадження ощадливого виробництва, що зумовлено специфікою галузей, масштабами підприємств та рівнем організаційної зрілості. Водночас більшість методик мають спільні концептуальні засади, серед яких ключове значення має орієнтація на людину. Принцип поваги до персоналу розглядається як фундамент Lean-філософії та передбачає перехід від контролюючої до підтримуючої ролі керівництва, розвиток компетенцій працівників і формування умов для їх активної участі в удосконаленні процесів. Такий підхід узгоджується з результатами класичних досліджень у сфері управління виробництвом, які підтверджують визначальну роль людського фактору у досягненні стійких результатів підвищення ефективності.

Для впровадження ощадливого виробництва необхідно сформувати міжфункціональну проєктну групу з представників логістичного, виробничого, складського та транспортного підрозділів, провести їх навчання методам логістичної діагностики та інструментам Lean. Дана група зможе ідентифікувати критичні складські процеси, що порушують ритмічність і безперервність матеріальних потоків, виділити «петлі», а також сформувати перелік первинних Kaizen-пропозицій, спрямованих на усунення виявлених витрат.

Подальший аналіз логістичних процесів дозволить виявити основні причини неефективності транспортно-складської діяльності. Встановити закономірності варіативності товарних і транспортних потоків, визначити рівень ритмічності роботи складу, а також здійснити класифікацію товарних позицій за методами ABC–XYZ. На основі отриманих результатів розробити систему Kaizen-заходів з оптимізації логістичних процесів, провести оцінку інвестиційних витрат і обґрунтувати вибір пріоритетних альтернатив із визначенням цільових параметрів їх реалізації [13].

Реалізація обраних рішень забезпечить комплексні зміни в організації транспортно-складського комплексу, включаючи оптимізацію руху ТЗ, удосконалення системи управління запасами, впровадження RFID-технологій, інструментів 5S, а також раціоналізацію чисельності персоналу. Внаслідок чого буде досягнуто підвищення

швидкості та ритмічності складських операцій, усунення логістичних витрат та скорочення витрат на утримання складу.

Як результат, необхідно провести моніторинг ефективності логістичних операцій та роботи транспортно-складського комплексу шляхом порівняння ключових показників до та після впровадження змін. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити вплив удосконалень на продуктивність системи, визначити рівень досягнення поставлених цілей, а також виявити проблемні ділянки, що продовжують обмежувати загальну ефективність. Крім того, систематичний аналіз динаміки показників забезпечує можливість своєчасного коригування управлінських рішень та дає змогу встановити закономірності у поведінці логістичних потоків.

У закордонній логістичній компанії на початковому етапі було застосовано картографування автомобільних перевезень (STVSM) з використанням Lean- та Green-підходів для підвищення операційної та екологічної ефективності. Компанія надає широкий спектр транспортно-логістичних послуг і щоденно обслуговує близько 4000 клієнтів за 28–32 маршрутами. Найкращою стратегією для підвищення ефективності продуктивності було визначено зменшення втрат через заповнення на 60,5 %, оскільки обсяг упаковок, що перевозився кожною вантажівкою, був меншим за її місткість.

Запропонована стратегія передбачала актуалізацію клієнтської бази, оптимізацію розподілу клієнтів між маршрутами; скорочення надлишкової протяжності маршрутів за рахунок раціоналізації послідовності обслуговування клієнтів; раціоналізацію послідовності завантаження та перерозподіл складських операцій. Паралельно було сформовано короткострокову і довгострокову екологічні стратегії, з яких у межах дослідження основну увагу зосереджено на оптимізації маршрутизації. Реалізація заходів дозволила усунути понаднормові витрати на оплату праці, зумовлені перевищенням середньої тривалості рейсів.

Далі компанія відібрала екологічні відходи, пов'язані з якістю повітря, парниковими газами, упаковкою. У цьому напрямку було проаналізовано та використано як основу екологічні програми, розроблені та впроваджені у своїх операціях такими компаніями, як DHL, Fedex та UPS. Їх стратегії підвищення екологічної ефективності базувалися на оптимізації маршрутів, використанні гібридних ТЗ, альтернативних видів палива та впровадженні інноваційних технологій. У зв'язку з цим, компанією були визначені короткострокова та довгострокова екологічні стратегії, з яких короткострокова була орієнтована на підвищення ефективності маршрутизації, а довгострокова передбачала впровадження капіталомістких екологічних ініціатив.

Впровадження заходів розпочалося з перерозподілу операцій в складському приміщенні, що забезпечило зосередження водія та його помічника виключно на виконанні функцій з обслуговування клієнтів. Такий підхід дозволив усунути додаткові витрати на оплату праці, зумовлені перевищенням середньої тривалості рейсу (10,8 год) над нормативною тривалістю робочої зміни (8 год).

Оптимізація маршрутизації включала актуалізацію клієнтської бази, кластеризацію клієнтів за зонами та формування маршрутів із використанням програмного забезпечення *My Route Online*. У результаті пілотного впровадження ефективність продуктивності зросла з 26,6 % до 35,2 %, надлишкову відстань скорочено на 57 %, а середній час у дорозі зменшено до нормативних 8 год. Це забезпечило зниження понаднормових витрат на оплату праці (35 %) та скорочення споживання палива на 13,5 %.

Дорожні затори, що виникають унаслідок перевантаженості транспортної інфраструктури, суттєво знижують ефективність транспортних операцій і погіршують екологічні показники. Для зменшення негативного впливу заторів доцільним є

впровадження нічних маршрутів, що дозволяє підвищити продуктивність маршрутів, ефективніше використовувати ТЗ та скоротити викиди забруднюючих речовин на 25–70 % за рахунок руху з оптимальними швидкостями. Додатковими заходами підвищення ефективності та сталості є використання ТЗ меншої вантажопідйомності, навчання водіїв екологічному стилю керування.

У зв'язку з необхідністю більш глибокого розуміння роботи логістичного вузла та факторів, що обумовлюють його пропускну здатність, було застосовано стохастичний підхід до моделювання процесів обслуговування ТЗ. Зокрема, для оцінювання ефективності функціонування логістичного вузла з декількома рампами розглянуто модель, у якій надходження вантажних автомобілів описується пуассонівським потоком із інтенсивністю λ, а процес обслуговування на кожній рампі характеризується експоненційним розподілом із параметром μ. На відміну від класичних моделей СМО. Запропонована постановка була розширена шляхом врахування можливих відмов та ремонтів рамп. Це дозволяє моделювати реальні умови експлуатації, коли доступність окремих точок обслуговування може тимчасово знижуватися, що безпосередньо впливає на фактичну пропускну здатність системи та рівень завантаженості черг.

Доступність однієї рампи визначається співвідношенням:

$$p = \frac{\beta}{\alpha + \beta}$$

де α – інтенсивність відмов, β – інтенсивність ремонтного відновлення. Отже, ефективна швидкість обслуговування однієї рампи становитиме $\mu_{eff} = \mu \cdot p$, а загальна пропускна здатність логістичної точки дорівнюватиме $c\mu_{\text{eff}}$. Подальший аналіз здійснюється через обчислення навантаження системи $a=\lambda/\mu_{\text{eff}}$ та рівня завантаження однієї рампи $\rho = a / c$ Сталість функціонування визначається умовою $\rho<1$.

Для розрахунку основних показників роботи логістичної системи використано класичні формули Erlang C, що дозволяють визначити ймовірність очікування, середню довжину черги та середній час перебування вантажівки в системі.

Ймовірність того, що рампа є вільною:

$$P_0 = \left(\sum_{n=0}^{c-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^c}{c!(1-\rho)} \right)^{-1}. \quad (1)$$

Ймовірність того, що всі рампи зайняті:

$$C(a,c) = \frac{a^c}{c!(1-\rho)} P_0. \quad (2)$$

Середня кількість у черзі:

$$L_q = \frac{C(a,c)\rho}{1-\rho}. \quad (3)$$

Середній час очікування у черзі:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}. \quad (4)$$

Середній час у системі (очікування + обслуговування):

$$W = W_q + \frac{1}{\mu_{eff}}. \quad (5)$$

Розглянемо приклад: λ=8 трак/год, c=3 рампи, μ=3 обсл./год, α=0.1 відмов/год, β=2 ремонти/год. Розрахунки показали, що доступність рампи становить 0.952, а ефективна швидкість обслуговування — 2.857 обсл./год. При цьому рівень завантаження рамп сягає $\rho \approx 0.93$, що є гранично високим. Застосування формул Erlang C показало, що ймовірність утворення черги становить 88%, середня довжина черги ≈12.27 вантажівок, а середній час очікування до початку обслуговування ≈1.53 год. Загальний час перебування вантажівки в системі $W \approx 1.88$ год, що свідчить про значне перевантаження логістичного вузла.

Проведений аналіз показує, що для покращення функціонування логістичного вузла можуть застосовуватися різні стратегії. Найбільш ефективним є збільшення кількості рамп: при розширенні до c=4 рівень завантаження зменшується до ρ≈0.70, а середній час очікування скорочується майже у 12 разів (до ≈0.125 год). В інших випадках можливе зменшення α або збільшення β, керування інтенсивністю прибуття вантажівок через оптимізацію графіків перевезень, зростання продуктивності μ завдяки застосуванню Lean-інструментів (VSM, Kanban, 5S, Just-in-Time, Kaizen та ін.).

Таким чином, запропонована модель дозволяє кількісно оцінити вплив відмов та ремонтів рамп на загальний час обслуговування вантажного потоку та може бути використана для прийняття управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності логістичних систем.

Висновки. Впровадження Lean-підходів дозволяє оптимізувати маршрути, зменшити витрати та підвищити ефективність транспортно-складських операцій, що знижує витрати палива та рівень викидів. Використання екологічних ТЗ та цифрових платформ в транспортно-складському комплексі посилюють цей ефект.

Вибір Lean та Green-підходів має здійснюватися індивідуально для кожного підприємства з урахуванням специфіки його операційних процесів, структури логістичних потоків та ринкових умов. Універсальні рішення є малоефективними, оскільки оптимальне поєднання Lean та Green-підходів визначається особливостями діяльності конкретного транспортного підприємства.

Green Lean Logistics забезпечує одночасне досягнення екологічної та економічної ефективності. Аналіз алгоритмів впровадження Lean показав, що основними параметрами в даній концепції є залучення персоналу, картування потоків, впровадження системи Kaizen, у тому числі з використанням цифрових технологій для моніторингу логістичних процесів в реальному часі.

Математичне моделювання логістичного вузла з врахуванням відмов рамп показало навантаження системи та значні затримки в обслуговуванні. Збільшення кількості рамп та використання Lean-підходів дозволить підвищити пропускну здатність та скоротити час очікування. Отже, інтеграція Lean, Green, СМО та цифрових рішень формує основу для створення ефективних і екологічно стійких транспортно-логістичних систем.

Список літератури

1. Кучмєєв О. О. Особливості управління матеріальними потоками в логістичних системах торговельних підприємств. *Економіка та управління підприємствами*. 2018. Вип. 30(1). С. 99-103.
2. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія / В. В. Аулін та ін., – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. 503 с.

3. Боровик Ю. Т., Василенко Х. О. Транспортна логістика та сучасні складські технології. *Вісник економіки транспорту і промисловості.* 2019. Вип. 66. С. 69-76.
4. Марінов Є. А. Інноваційні технології у транспортній логістиці: економічний потенціал і виклики впровадження. *Академічні візії*. 2024. Вип. 30. С. 1-14. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13846667.
5. Ачкасова Л. М. Впровадження інструментів ощадливого виробництва в роботу підприємства. *Економіка транспортного комплексу*. 2025. Вип. 46. С. 44-65. DOI: 10.30977/ЕТК.2225-2304.2025.46.44.
6. Йовченко А. В., Шльончак І. А. Використання системи ощадливого виробництва в транспортно-складському комплексі підприємства. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту:* зб. матеріалів наукових робіт з VI міжнародної наук.-практ. конф., 22-24 лист. 2023. Кропивницький: ЦНТУ, 2023 р. С. 123-124.
7. Йовченко А.В. Використання принципів ощадливого виробництва в транспортній логістиці. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту:* зб. матеріалів наукових робіт з XVIII міжнародної наук.-практ. інтернет-конф., 20-22 жовтня. 2025 р. Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 191-194.
8. Шкуренко В. О. Концепція «Lean production» в системі стратегічного менеджменту транспортних підприємств. *Актуальні проблеми економіки*. 2023. Вип. 7 (265). С. 57-64.
9. Сорокун Ю. С. Механізм управління діяльністю транспортних підприємств на засадах концепції ощадливого виробництва. *Проблеми економіки*. 2023. Вип. 2 (56). С. 182-189.
10. Каличева Н. Є., Мельник О. А., Подолянчук А. М. Забезпечення ефективного функціонування вітчизняних підприємств за рахунок впровадження ощадливого виробництва. *Причорноморські економічні студії*. 2018. Вип. 33. С. 79-82.
11. Терлецька Ю. О., Лозовський Л. А. Концепція ощадливого виробництва: цільові орієнтири та практичний досвід імплементації. *Science of XXI century: development, main theories and achievements*: Collection of scientific papers «SCIENTIA», 26 January. 2024. Helsinki, Republic of Finland. С. 97-100.
12. Baumer-Cardoso M. I., Campos L. M.S., Pfeifer Portela P. S., Frazzon E. M. Simulation-based analysis of catalyzers and trade-offs in Lean & Green manufacturing. *Journal of Cleaner Production.* 2020. Vol. 242. 118411. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118411.
13. Пізняк Т. І., Пізняк Д. Ю. Використання концепції кайдзен в управлінні персоналом підприємств в умовах воєнного стану. *Економіка. Фінанси. Право*. 2022. Вип. 4. С. 5-8. DOI: https://doi.org/10.37634/efp.2022.4.1.
14. Прокудін Г. С., Хоботня Т. Г., Прокудіна І. І., Назарова А. П. Система аналізу мережі СМО логістичних ланцюгів доставки вантажів. *Розумний транспорт та інтегровані транспортні технології*: зб. матеріалів наукових робіт з міжнародної наук.-практ. конф., 21-22 лист. 2023. Харків: ХНАДУ, 2023. С. 100-102.

References

1. Kuchmeev, O. O. (2018). Features of material flow management in logistics systems of commercial enterprises. *Economics and enterprise management*, 30(1), 99-103 [in Ukrainian].
2. Aulin, V. V., Grinkiv, A. V., Lysenko, S. V., Holovaty, A. O., Holub, D. V. (2021). Theoretical and methodological foundations of logistics of transport and production systems: monograph. Kropyvnytskyi: Publisher Lysenko V.F. [in Ukrainian].
3. Borovyk, Yu. T., Vasylenko, Kh. O. (2019). Transport logistics and modern warehouse technologies. *Bulletin of the economy of transport and industry*. 66. 69-76 [in Ukrainian].
4. Marinov, E. A. (2024). Innovative technologies in transport logistics: economic potential and challenges of implementation. *Academic visions,* 30 (2024), 1-14. [in Ukrainian] DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.13846667
5. Achkasova, L. M. (2025). Implementation of lean production tools in the work of the enterprise. *Economics of the transport complex*. 46 (2025). 44-65. [in Ukrainian]. DOI: 10.30977/ETK.2225-2304.2025.46.44
6. Yovchenko A. V., Shlyonchak I. A. (2023). Using the lean production system in the transport and warehouse complex of the enterprise. *Innovative technologies for the development and efficiency of the functioning of road transport*: materialy VI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (pp. 123-124). Kropyvnytskyi: TsNTU. [in Ukrainian].
7. Yovchenko, A.V. (2025). Using the principles of lean production in transport logistics. *Modern technologies and prospects for the development of road transport*: materialy XVIII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (pp. 191-194). Vinnytsia: VNTU. [in Ukrainian].
8. Shkurenko, V. O. (2023). The concept of "Lean production" in the system of strategic management of transport enterprises. *Current problems of economics*, 7 (265). 57-64 [in Ukrainian].

9. Sorokun, Yu. S. (2023). The mechanism of management of the activities of transport enterprises based on the concept of lean production. *Problems of economics*, 2 (56), 182-189 [in Ukrainian].
10. Kalycheva, N. E., Melnyk, O. A., Podolyanchuk, A. M. (2018). Ensuring the effective functioning of domestic enterprises through the introduction of lean production. *Black Sea Economic Studies*, 33, 79-82 [in Ukrainian].
11. Terletska, Yu. O., Lozovsky, L. A. (2024). The concept of lean production: target guidelines and practical experience of implementation. *Science of XXI century: development, main theories and achievements*: Collection of scientific papers «SCIENTIA» (pp. 97-100). Helsinki, Republic of Finland [in Ukrainian].
12. Baumer-Cardoso, M. I., Campos, L. M.S., Pfeifer, Portela P. S., Frazzon, E. M. (2020). Simulation-based analysis of catalysts and trade-offs in Lean & Green manufacturing. *Journal of Cleaner Production*. 242 (2020), 118411. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118411.
13. Piznyak, T. I., Piznyak, D. Yu. (2022). Using the kaizen concept in personnel management of enterprises under martial law. *Economics. Finance. Law*. 4 (2022), 5-8. [in Ukrainian]. DOI: https://doi.org/10.37634/efp.2022.4.1.
14. Prokudin, G. S., Khobotnya, T. G., Prokudina, I. I., Nazarova, A. P. (2023). System of analysis of the network of SMO logistic chains of cargo delivery. *Intelligent transport and integrated transport technologies*: materialy XVIII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (pp. 100-102). Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].

Alla Yovchenko, PhD tech. sci.
Cherkassy State Technological University, Cherkassy, Ukraine

Lean & Green Approaches to Improving Logistics in traNsport Companies

In this article examines modern approaches to improving the efficiency of transport logistics through the integration of Lean and Green principles. It is shown that traditional logistics systems face a number of challenges, including excessive downtime, inefficient transport routes, increased CO_2 emissions, and high material intensity of operations. Through the application of Lean methods in particular 5S, Value stream mapping (VSM), Kanban, Kaizen the waste in a transport and warehouse operation can be decreased and the resources can be better utilised.

Green logistics is the extension of these principles with the aim of minimizing negative environmental effects by employing energy-saving vehicles, sustainable packaging, material recycling, and reverse logistics. It demonstrates that the Lean and Green solution approach is a win-win solution for simultaneously enhancing the productivity of operations and the environmental performance of logistics systems.

The throughput of a logistics node with multiple loading docks is evaluated by a stochastical queuing model considering random interruptions due to malfunctions and repairs. The model can be used to calculate system throughput, ramp utilization, waiting times, and other important key performance indicators (KPIs) for managerial decisions.The results demonstrate that Lean-based process optimization, increased ramp availability, and the rationalization of transport flows significantly reduce idle time, queue length, and fuel consumption.

Integrating Lean and Green technologies into transport logistics creates the foundation for highly efficient balanced systems capable of enhancing organizational resilience and providing competitive advantages under transport companies.

Transport logistics, Lean logistics, Green logistics, mass service system

Одержано (Received) 19.01.2026 *Прорецензовано (Reviewed) 29.01.2026*
Прийнято до друку (Approved) 24.02.2026