

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЯК ОДИН З ГОЛОВНИХ ФАКТОРІВ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART LOGISTICS

*Данчук В.Д.*, доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vdanchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3936-4509

*Сватко В.В.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vsvatko83@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0712-5688

*Марченко В.В.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kekstarmc@gmail.com, orcid.org/0009-0000-0334-4317

*Попченко Є.С.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, multifiltyap@gmail.com, orcid.org/0009-0007-9127-5489

## INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS AS ONE OF THE MAIN FACTORS IN IMPLEMENTATION OF THE SMART LOGISTICS CONCEPT

*Danchuk V.D.*, Dr. Sc. (Phys.-Math.), National Transport University, Kyiv, Ukraine, vdanchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3936-4509

*Svatko V.V.*, Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vsvatko83@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0712-5688

*Marchenko V.V.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kekstarmc@gmail.com, orcid.org/0009-0000-0334-4317

*Popchenko Y.S.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine, multifiltyap@gmail.com, orcid.org/0009-0007-9127-5489

**Постановка проблеми.** Об'єктивне зростання та глобалізація сучасної світової економіки, збільшення інтенсивності та обігу потоків товарів, різка зміна масштабів комп'ютеризації систем управління та моніторингу різних економічних та інших процесів об'єктивно потребує інтелектуальної підтримки управління цими процесами у реальному режимі часу.

Поряд із цим, прискорена автомобілізація в умовах відставання розвитку вулично-дорожніх мереж великих міст (ВДМ) призводить до прояву низки негативних наслідків, серед яких можна виділити такі основні, як різке зменшення ефективності транспортної інфраструктури (значна нерівномірність транспортного навантаження, зменшення швидкості руху транспортних потоків (ТП), затори, дорожньо-транспортні пригоди тощо), а також підвищення рівня забруднення довкілля. Це, зокрема, зумовлює виникнення значних затримок у транспортуванні вантажів, що призводить не лише до часових, а й до суттєвих економічних втрат.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз показує, що найбільш ефективно вирішення цих проблем у сучасних умовах пов'язують із реалізацією концепції Smart Logistics, а саме, з розробкою, впровадженням та застосуванням інтелектуальних транспортних систем (ІТС), де велику роль відіграє ефективне використання сучасних інтелектуальних технологій Інтернет Речей (ІоТ), blockchain (BC), Big Data (BD) та штучний інтелект (AI).

Однак фундаментальні та прикладні теоретичні дослідження з Smart Logistics на сьогоднішній день є значною мірою розрізненими, що проводяться науковцями різних предметних галузей, спрямованими на вирішення проблем практичного застосування в різних, в кращому випадку дотичних, галузях інноваційного розвитку суспільства. Тому ці науковці мають різне бачення шляхів підвищення ефективності функціонування та розвитку Smart Logistic, що призводить до формування відповідно різних підходів.

Крім того, використання інтелектуальних інформаційних технологій для ефективної організації, оптимізації та управлінні логістичними процесами здійснення вантажних і пасажирських перевезень в реальному режимі часу при великій і змінній завантаженості УРН є епізодичним і недосконалим. В першу чергу це пов'язано з відсутністю адекватних методів дискретної оптимізації маршрутів із динамічним оновленням, які враховують реальну (нестационарну) динаміку ТП на ділянках ВДМ.

Метою дослідження є проведення порівняльного аналізу існуючих концепцій функціонування та розвитку Smart Logistics, а також в рамках концепції ІТС як кібер-фізичних систем (CPS), що

застосовуються в Smart Logistics, шляхом тестових досліджень визначення найбільш ефективних методів оптимізації логістичних потоків в реальному режимі часу щодо здійснення вантажних перевезень в умовах нестаціонарної динаміки ТП.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Фундаментальні та прикладні теоретичні дослідження функціонування та розвитку Smart Logistics в рамках існуючих на сьогоднішній день концепцій технологій ІТС, IoT, PI (Фізичний Інтернет), CPS є значною мірою розрізненими, що часто призводить до різного тлумачення сутностей процесів в Smart Logistics і, відповідно, до різного бачення шляхів підвищення її ефективності (див. наприклад, [1 – 4]). Крім того, слід зазначити, що, по мірі розвитку відповідних інноваційних технологій, зокрема, IoT, AI, BD, BC відбувається еволюція сутності тієї або іншої концепції розвитку Smart Logistic, наближаючи їх трактування одне до одного [1 – 4].

Історично першою концепцією, що є основною і в теперішній час для ефективної реалізації Smart Logistic, є концепція, яка пов'язана з ІТС. На етапі її формування, починаючи з 1986р., ІТС розглядалися групою вчених "Mobility 2000" на чолі з Joseph M. Sussman як системи підтримки прийняття рішень (СППР), що поєднують інформаційні та телекомунікаційні технології (ІКТ) з організації руху ТП, підвищення пропускної спроможності транспортної інфраструктури, безпеки руху, психологічного комфорту пасажирів, екологічної стійкості [5]. При цьому інтелектуальним агентом виступає, як правило, людина.

По мірі розвитку інноваційних технологій IoT, BD, BC, AI, PI відбувається еволюція сутності трактування та призначення ІТС, що в теперішній час наближає ІТС до сутності концепції CPS як інтелектуальних автоматичних (без участі людини) систем управління фізичними об'єктами і процесами різної природи.

CPS – це нова інтелектуальна комплексна система, яка інтегрує на глибокому рівні фізичні та кібернетичні компоненти. Тут неперервний моніторинг у реальному часі, моделювання (в тому числі імітаційне) та прогнозування, аналіз та управління фізичними об'єктами та процесами реалізуються за рахунок поєднання телекомунікаційних та інформаційних керуючих технологій, а також технологій глибоких (інтелектуальних) обчислень, зберігання, обробки, обміну та захисту даних. Концепція CPS була запропонована в 2006 році, і в даний час її реалізація охоплює різні сфери людської діяльності: виробництво, будівництво, енергетику, медицину тощо, де забезпечуються нові функціональні можливості для покращення якості життя, досягнення технічного прогресу і тому істотно впливають на світову економіку. Однією з основних галузей її застосування є транспортна галузь і логістика.

Отже, у зв'язку із зазначеним вище, ІТС в сучасних умовах, на наш погляд, необхідно розглядати як реалізацію концепції CPS в області транспортних систем, в тому числі Smart Logistics (див. рис.1).

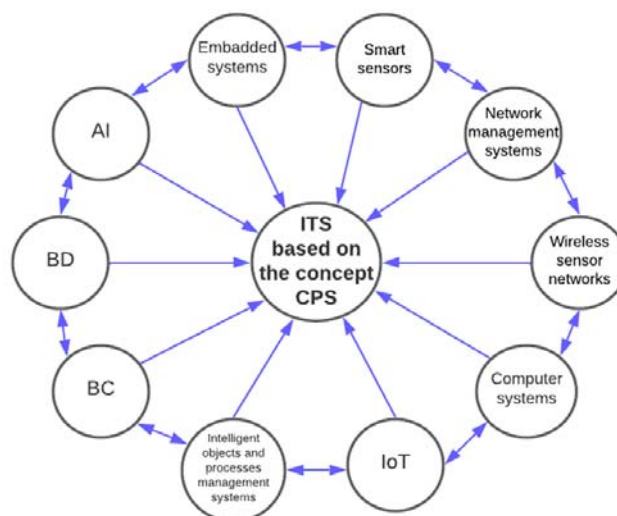


Рисунок 1 – Технології ІТС як кібер-фізичних систем в Smart Logistics  
Figure 1 – ITC technologies as cyber-physical systems in Smart Logistics

При цьому ІТС уявляє собою надзвичайно складну CPS в контексті інформаційної підтримки прийняття рішень при здійсненні управління, що обумовлене необхідністю збору, обробки, передачі великих масивів різномірних даних у просторово розподілених гетерогенних системах, використання просторово-часової інформації у різно-масштабованому інформаційному просторі. Відповідно, технології ITS, як CPS, поєднують такі взаємопов'язані і взаємопроникні технології, як комп'ютерні системи, вбудовані системи (розумні сенсори, об'єкти інфраструктури PI (π-контейнери, π-мовери, π-вузли тощо), бездротові сенсорні мережі, системи мережевого керування, IoT, AI, BD, BC, інтелектуальні системи керування транспортними об'єктами та процесами (див. рис.1).

Архітектура ІТС в рамках концепції CPS в загальному вигляді містить в собі фізичний рівень, мережевий рівень та прикладний рівень (рис. 2).

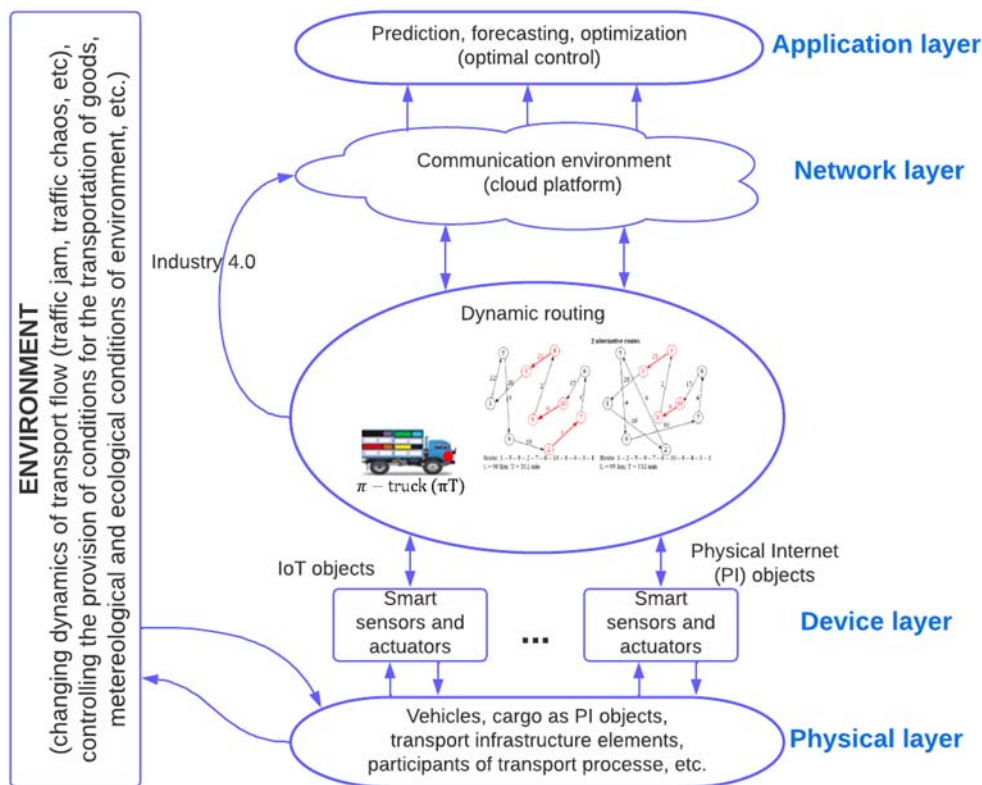


Рисунок 2 – Архітектура ІТС як кібер-фізичних систем в Smart Logistics  
 Figure 2 – ITC architecture as cyber-physical systems in Smart Logistics

Як видно з рис. 2, фізичний рівень відноситься до сенсорних (в тому числі інтелектуальних) пристроїв, виконавчих (в тому числі інтелектуальних) пристроїв та бездротового або дротового мережевого блоку ITS, які тісно пов'язані з фізичним середовищем (транспортними засобами, учасниками транспортних процесів, вантажами (в тому числі організованими як об'єкти інфраструктури PI), елементами інфраструктури транспортних систем тощо). В даний час мережевий рівень зазвичай є хмарною мережею для з'єднання та взаємодії вузлів ITS. Мережевий рівень реалізує взаємозв'язок та сумісність пристроїв для забезпечення передачі даних та спільного використання ресурсів. Характеристики хмарної платформи дозволяють ефективно інтегрувати дані у процес передачі. Відповідно, інтелектуальна система прийняття рішень в контексті Smart Logistic у випадку ITS як CPS в основному складається з рівня обладнання, хмарної платформи та прикладного рівня для проведення інтелектуальних глибоких обчислень, і призначена для визначення оптимального логістичного шляху в процесі транспортних або пасажирських перевезень з урахуванням в реальному часі впливу фізичного середовища (зміна динаміки ТП, контролінг забезпечення умов перевезення товарів, метеорологічні умови, екологічні навантаження тощо).

Як зазначалось вище, в процесі еволюції розвиток технологій, які забезпечують в даний час функціонування CPS, призводить до їх взаємопроникнення та інтеграції, наближаючи концепції їх створення по суті до концепції CPS. Наприклад, інформаційні мережі на основі інформаційно-

комунікаційних технологій та IoT надають великі дані про міські вантажні транспортні системи, що потребують використання технологій BD для їх збору, обробки та передачі [3]. Відповідно, захист отриманої інформації додатково потребує використання технологій BC. PI у поєднанні з AI, що інтегровані на основі вбудованих систем, забезпечують прийняття рішень у режимі реального часу для адаптації до міських умов з онлайн-комунікацією та підключеними елементами системи PI, такими як PI-контейнери (посилки, піддони), PI-вантажівки (PI-вантажівки, CAV), БПЛА) та PI-хаби (магазини, склади) [3].

Особливу увагу привертає до себе аналіз гносеологічних зв'язків та відмінностей у розумінні сутності технологій CPS та IoT. Концепція IoT формувалась у 90-х роках минулого століття і на початковому етапі розглядалась як телекомунікаційна парадигма глобальної мережі Інтернет, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв з радіочастотною ідентифікацією (RFID мітки), які мають вбудовані сенсори, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати ідентифікацію та моніторинг функціонування об'єктів, передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку. По мірі розвитку IoT і появою та розвитком PI, що, зокрема, було пов'язано з інтелектуалізацією фізичних об'єктів (інтелектуальні сенсори та виконавчі елементи, інтелектуальні PI-вантажі, тощо), технології IoT вдосконалювались, забезпечуючи потужну технічну підтримку досліджень CPS. В останні роки, завдяки глибоким дослідженням та розумінню IoT та CPS процесів, їх розвиток показує тенденцію до взаємної інтеграції.

Отже, можна зазначити, що на ранній стадії розвитку IoT і CPS є два різні паралельні шляхи розвитку. Відповідно зараз CPS – це еволюція IoT, IoT – це початковий етап застосування CPS [2]. При цьому, на сучасному етапі розвитку IoT наголошує на «зв'язок об'єктів, інтелектуальне сприйняття», приділяючи особливу увагу зв'язності мережі та отримання інформації про фізичні об'єкти при проведенні інтелектуальної ідентифікації, позиціонування, відстеження і управління. Тоді як у CPS акцент робиться на управління в реальному режимі часу зі зворотним зв'язком транспортними процесами та об'єктами [2]. В IoT інформація основних фізичних об'єктів, як і раніше, вимагає втручання людини, а вимоги до автономної взаємодії невисокі. У той час в CPS при управлінні зі зворотним зв'язком значно знижується участь людини, що потребує наявності сильної автономної взаємодії [2].

Такий стан сучасного розвитку концепцій IoT та CPS часто призводить до неоднозначності у трактуванні вибраного підходу щодо проведення досліджень, зокрема, з проблем Smart Logistics та отриманих результатів відповідних досліджень. Так, наприклад, в [2] на основі задекларованій автором CPS моделі прийняття рішення про логістичний шлях були проведені дослідження щодо вибору найбільш ефективного методу оптимізації шляху доставки вантажів в рамках транспортної задачі комівояжера (TSP). Тут порівнювались результати дискретної оптимізації логістичного маршруту, виконаної за допомогою таких інтелектуальних методів як метод імітації підпалу (SA), генетичного алгоритму (GA) та класичного алгоритму мурашиної колонії (ACA) для масиву з 31 точки за критеріями найкоротшої відстані транспортування та швидкості (часу) збіжності рішення. Було визначено, що з трьох розглянутих алгоритмів ACA має найкращий ефект оптимізації. На підставі отриманих результатів автор пропонує інтелектуальну систему прийняття рішень про логістичні маршрути для CPS, яка використовує алгоритм мурашиної колонії для розрахунку найкоротшого шляху логістики та транспортування за критерієм відстані. Під час транспортування Центр керування визначає місцезнаходження вантажівки за допомогою GPS і відправляє замовлення до пункту призначення [2]. В рамках такої інтерпретації в [2], на нашу думку, реалізована у більшій мірі IoT модель інтелектуального прийняття рішення про логістичний шлях, оскільки тут відсутня можливість управління логістичним шляхом в он лайн режимі під час транспортування вантажу, наприклад, при зміні характеристик динаміки ТП (збільшення навантаження на ділянках УРН, затори, дорожні інциденти, тощо), що повинно бути необхідним атрибутом для процесу управління в рамках CPS концепції.

Як показує аналіз, представлені в [2] AI алгоритми не можуть вирішувати задачу моделювання оптимального маршруту з динамічним оновленням під впливом зміни характеристик зовнішнього середовища. В [6] було запропоновано модифікований ACA (ACAmoD), в якому, на відміну від класичного ACA [7], мурашині агенти по графу можуть рухатись асинхронно з певними (навіть різними) швидкостями, а також існує можливість фіксувати результати оптимізації частково пройденого шляху для оптимізації подальшого маршруту при зміні довжини ребер графу під час руху. Це дозволяє, зокрема, проводити імітаційні моделювання оптимізації маршруту в реальному режимі часу з урахуванням реальної динаміки ТП на ділянках транспортної мережі, де мурашині

агенти, як аналоги автомобілів, рухаються із відповідними швидкостями, що відповідають середнім швидкостям ТП на цих ділянках. Отже, такий підхід дозволяє у більшій мірі реалізувати CPS концепцію для формування моделі прийняття рішення про оптимальний логістичний шлях в Smart Logistic за критерієм часу проходження маршруту.

Для перевірки надійності та достовірності результатів оптимізації за допомогою розробленого ACAmod проведено тестові дослідження вирішення задачі комівояжера з використанням найбільш відомих класичних алгоритмів (метод гілок та меж (BAB), метод повного перебору (BF)) та модифікованого мурашиного алгоритму ACAmod. Результати проведених досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз класичних методів оптимізації та ACAmod для розв’язку транспортної задачі комівояжера

Table 1 – Comparative analysis of classical optimization methods and ACAmod for solving the transport problem of a traveling salesman

Кількість вершин	Найкращий відомий результат	Мурашиний алгоритм ACAmod		Метод гілок та меж		Метод повного перебору	
		довжина, км	відхилення	довжина, км	відхилення	довжина, км	відхилення
3	48	<b>48</b>	0,00%	48	0,00%	<b>48</b>	0,00%
4	69	<b>69</b>	0,00%	69	0,00%	<b>69</b>	0,00%
5	74	<b>74</b>	0,00%	74	0,00%	<b>74</b>	0,00%
6	81	<b>81</b>	0,00%	81	0,00%	<b>81</b>	0,00%
7	80	<b>80</b>	0,00%	85	6,25%	<b>80</b>	0,00%
8	80	<b>80</b>	0,00%	103	28,75%	<b>80</b>	0,00%
9	81	<b>81</b>	0,00%	104	28,40%	<b>81</b>	0,00%
10	82	<b>82</b>	0,00%	99	20,73%	<b>82</b>	0,00%
11	83	<b>83</b>	0,00%	119	43,37%	<b>83</b>	0,00%
12	86	<b>86</b>	0,00%	133	54,65%	<b>86</b>	0,00%
13	94	95	1,06%	120	27,66%	<b>94</b>	0,00%
14	98	<b>98</b>	0,00%	-*	-*	-*	-*
15	101	106	4,95%	-*	-*	-*	-*

-\* – означає відсутність даних про отриманий розв’язок, або неможливість знаходження розв’язку для даної кількості вершин.

Як видно з табл. 1, при невеликій кількості вершин графу (не більше 13), оптимальний розв’язок можна отримати за допомогою методу повного перебору та запропонованого ACAmod. Зі збільшенням розмірності задачі (13 – 15 вершин) єдиний розв’язок дає запропонований нами метод. Використання інших методів розрахунку, що розглядається в цій задачі, для графа з розмірністю більше 13 вершин суттєво погіршують отримання оптимальних розв’язків аж до унеможливлення їх знаходження. Таким чином можна зробити висновок, що суттєвим недоліком існуючих класичних методів є їх не застосовність до задач з великою розмірністю. На відміну від існуючих класичних методів, запропонований модифікований метод мурашиного алгоритму ACAmod дає прийнятні (в межах 5-7% відхилення від найкращого маршруту) результати за досить невеликий час обчислень.

Для визначення найбільш ефективного методу оптимізації логістичного шляху в реальному режимі часу щодо здійснення вантажних перевезень в умовах нестационарної динаміки ТП в роботі проведено тестові дослідження дискретної оптимізації маршруту в рамках задачі TSP за допомогою AI методів: GA, еволюційного SA (ESA), ACA та ACA mod. Ці алгоритми застосовувались для набору відомих тестових задач для TSP: Oliver30, Eilon50, Eil51, Berlin52, St70, Eilon75, Eil76, KroA100, Eil101, Pr107, Pr124, Pr136, Pr144 та Pr152 [8]. Числа в назві кожної із цих задач вказують на кількість точок, для яких необхідно побудувати оптимальний маршрут обходу. Отже, при тестуванні найменша кількість точок складала 30, найбільша – 152. Критеріями вибору найбільш ефективного методу оптимізації при проведенні порівняльного аналізу результатів досліджень були відхилення

оптимальної відстані, отриманої за допомогою відповідного метода, від найкраще відомого результату для кожної з тестових задач, а також час збіжності розв'язку.

Дані про отримані результати роботи GA та ESA взято з відкритих джерел. В роботі вказані тестові TSP розраховувались за допомогою класичного ACA [7] та розробленого авторами модифікований ACO mod [6] із спеціально підібраними, найбільш оптимальними значеннями параметрів цих алгоритмів, які приймали однакові значення:  $\alpha = 1$ ;  $\beta = 5$ ;  $\rho = 0,67$ . Результати тестових досліджень дискретної оптимізації маршруту в рамках задачі TSP за допомогою зазначених AI методів за критерієм часу та відхилення за відстанню наведені на рис.3 та в табл. 2 відповідно.

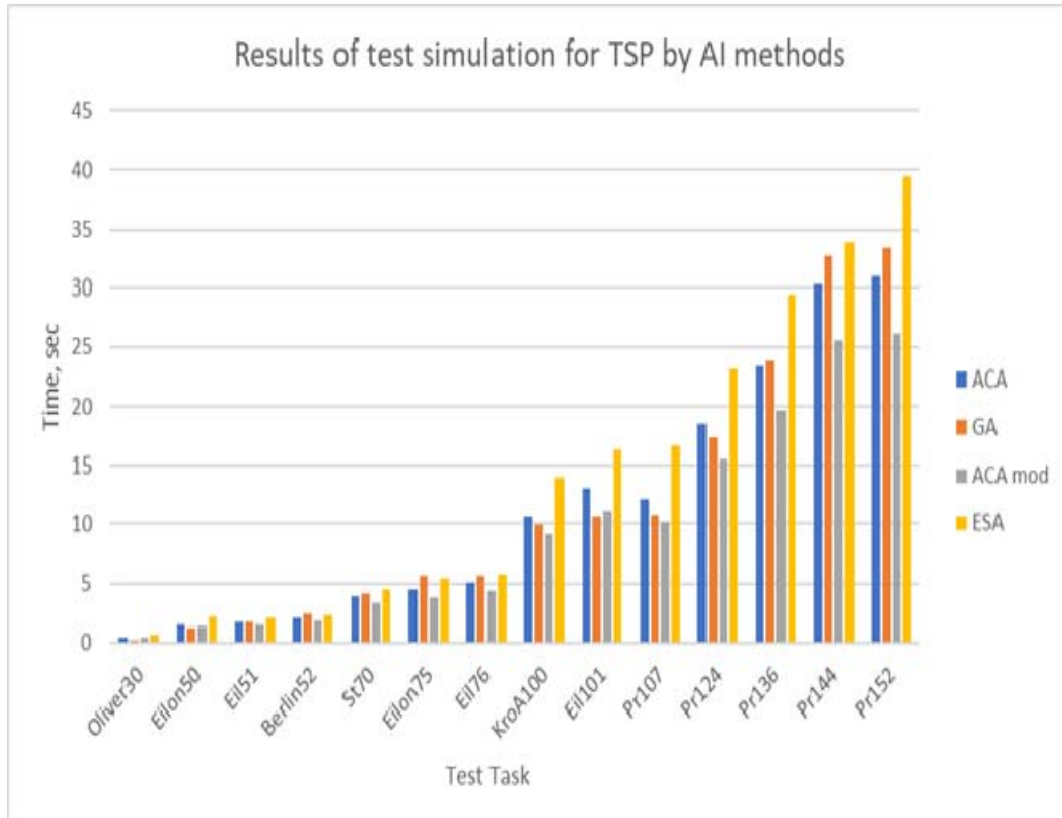


Рисунок 3 – Результати тестових досліджень транспортної задачі комівояжера AI методами оптимізації (за критерієм часу збіжності розв'язку)

Figure 3 – Results of test studies of the transport problem of the traveling salesman AI using optimization methods (according to the intersection convergence time criterion)

Як видно з рис.3 та табл. 2, найбільш ефективним методом оптимізації логістичних потоків в Smart Logistics серед представлених в цій роботі AI методів є ACAmod. Його використання дозволяє скоротити час пошуку оптимального рішення в середньому на 15% та отримувати у більшості випадків кращі результати оптимізації шляху.

Таким чином, результати тестових досліджень показали, що в рамках концепції CPS найбільш прийнятним методом оптимізації логістичних потоків при здійсненні вантажних перевезень з урахуванням нестационарної динаміки ТП є модифікований алгоритм мурашиної колонії ACAmod.

**Висновки.** За результатами порівняльний аналіз концепцій функціонування та розвитку Smart Logistic визначено, що відповідні фундаментальні та прикладні теоретичні дослідження в рамках існуючих на сьогоднішній день концепцій технологій ІТС, ІoТ, РІ, СРС є значною мірою розрізненими, що часто призводить до різного тлумачення сутностей процесів в Smart Logistics і, відповідно, до різного бачення шляхів підвищення її ефективності.

Показано, що в даний час ІТС є найбільш розвинутою концепцією реалізації Smart Logistic, і за своєю сутністю наближається до сутності концепції СРС як інтелектуальних автоматичних (без участі людини) систем управління фізичними об'єктами і процесами різної природи.

В рамках концепції СРС шляхом тестових досліджень за допомогою різних AI методів (GA, ESA, ACA та ACAmod) визначено, що найбільш ефективним методом оптимізації маршруту

вантажних перевезень є АСАmod, який дозволяє здійснювати динамічну маршрутизацію логістичних потоків в реальному режимі часу з урахуванням нестационарної динаміки ТП.

Таблиця 2 – Результати тестових досліджень транспортної задачі комівояжера AI методами оптимізації (за критерієм відхилення оптимальної відстані від найкращого відомого результату)

Table 2 – Results of test studies of the transport problem of the traveling salesman AI using optimization methods (according to the criterion of deviation of the optimal distance from the best known result)

Назва задачі	Кількість вершин	Найкраще відоме значення	Класичний алгоритм мурашиної колонії (ACO)		Генетичний алгоритм (GA)		Еволюційний метод відпалу (ESA)		Модифікований мурашиний алгоритм (ACA mod)	
			Отримане значення	Час	Отримане значення	Час	Отримане значення	Час	Отримане значення	Час
Oliver30	30	420	420	0.4	420	0.2	420	0.7	420	0.40
Eilon50	50	425	427.4	1.5	426	1.2	427	2.2	427.4	1.40
Eil51	51	426	428.1	1.7	427	1.7	426	2.1	426	1.50
Berlin52	52	7542	7542	2.1	7542	2.4	7542	2.3	7542	1.80
St70	70	675	679.1	3.9	675	4.2	675	4.5	679.1	3.30
Eilon75	75	535	547.4	4.5	550	5.6	545	5.4	541.2	3.80
Eil76	76	538	548.1	5.1	545	5.6	546	5.8	545.8	4.40
KroA100	100	21282	21445.3	10.6	21350	9.9	21282	14.0	21388.6	9.10
Eil101	101	629	646.4	13.1	655	10.6	650	16.3	633.2	11.10
Pr107	107	44303	44793.8	12.1	44392	10.8	44413	16.7	44428	10.20
Pr124	124	59030	59412.1	18.5	59030	17.3	59030	23.1	59122.5	15.50
Pr136	136	96772	99351.2	23.4	98432	23.8	98499	29.5	97541.3	19.70
Pr144	144	58537	58876.2	30.3	58599	32.8	58574	33.9	58712	25.60
Pr152	152	73682	74676.9	31.0	74520	33.4	74172	39.5	74231.5	26.10

Одним із перспективних напрямків подальших досліджень автори вважають створення в рамках концепції ІТС, як CPS для Smart Logistic, інтелектуальної системи підтримки рішень транспортно-логістичного управління вантажними перевезеннями в реальному режимі часу з урахуванням впливу зовнішніх чинників різної природи на процес перевезень.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Taniguchia, E., Thompson, R. G., Qureshic, A. G. (2020). Modelling city logistics using recent innovative technologies. *Transportation Research Procedia*, 46, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.157>
2. Zhang, N. (2018). Smart Logistics Path for Cyber-Physical Systems With Internet of Things. *IEEE ACCESS*, 6, 70808 – 70819. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2879966>
3. Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Tchouamou, N.E., Karampatzakis, D. (2020). Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era”. *Sustainability*, 12(2789), 1 – 19. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
4. Hofmann, E., Rüsч, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
5. Sussman, J.M. (2005). *Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS)*. Springer Science+Business Media, 232p.
6. Danchuk, V., Bakulich, O., Svatko, V. (2019). Building Optimal Routes for Cargo Delivery in Megacities. *Transport and Telecommunications*, 20(2), 142–152. <https://doi.org/10.2478/tj-2019-0013>.
7. Dorigo, M., Di Caro, G. (1999). The ant colony optimization meta-heuristic. *New Idea in Optimization*. McGraw-Hill, 1, 11–32.

8. Osaba, E., Yang, X.-S., Diaza, F., Lopez-Garcia, P., Carballedo, R. (2016). An improved discrete bat algorithm for symmetric and asymmetric Traveling Salesman Problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 48( C), 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.10.006>

#### REFERENCES

1. Taniguchia, E., Thompson, R. G., Qureshic, A. G. (2020). Modelling city logistics using recent innovative technologies. *Transportation Research Procedia*, 46, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.157>
2. Zhang, N. (2018). Smart Logistics Path for Cyber-Physical Systems With Internet of Things. *IEEE ACCESS*, 6, 70808 – 70819. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2879966>
3. Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Tchouamou, N.E., Karampatzakis, D. (2020). Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era”. *Sustainability*, 12(2789), 1 – 19. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
4. Hofmann, E., Rüsck, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
5. Sussman, J.M. (2005). *Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS)*. Springer Science+Business Media, 232p.
6. Danchuk, V., Bakulich, O., Svatko, V. (2019). Building Optimal Routes for Cargo Delivery in Megacities. *Transport and Telecommunications*, 20(2), 142–152. <https://doi.org/10.2478/ttj-2019-0013>.
7. Dorigo, M., Di Caro, G. (1999). The ant colony optimization meta-heuristic. *New Idea in Optimization*. McGraw-Hill, 1, 11–32.
8. Osaba, E., Yang, X.-S., Diaza, F., Lopez-Garcia, P., Carballedo, R. (2016). An improved discrete bat algorithm for symmetric and asymmetric Traveling Salesman Problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 48( C), 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.10.006>

#### РЕФЕРАТ

Данчук В.Д. Інтелектуальні транспортні системи як один з головних факторів реалізації концепції Smart Logistics / В.Д. Данчук, В.В. Сватко, В.В. Марченко, Є.С. Попченко// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В роботі показано, що в даний час ІТС є найбільш розвинутою концепцією реалізації Smart Logistic, і за своєю сутністю наближається до сутності концепції кіберфізичних систем (CPS), як інтелектуальних автоматичних або максимально автоматизованих систем управління фізичними об'єктами і процесами різної природи.

Шляхом тестових досліджень за допомогою різних методів штучного інтелекту визначено, що найбільш ефективним методом оптимізації маршруту вантажних перевезень є модифікований мурашиний алгоритм, який дозволяє здійснювати динамічну маршрутизацію логістичних потоків в реальному режимі часу з урахуванням нестационарної динаміки транспортних потоків. Його використання дозволяє скоротити час пошуку оптимального рішення в середньому на 15% та отримувати у більшості випадків кращі результати оптимізації шляху.

Одним із перспективних напрямків подальших досліджень автори вважають створення в рамках концепції ІТС, як CPS для Smart Logistic, інтелектуальної системи підтримки рішень транспортно-логістичного управління вантажними перевезеннями в режимі реального часу з урахуванням впливу зовнішніх чинників різної природи на процес перевезень.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, РОЗУМНА ЛОГІСТИКА, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ОПТИМІЗАЦІЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ.

#### ABSTRACT

Danchuk V.D., Svatko V.V., Marchenko V.V., Popchenko Y.S. Intelligent Transport Systems as One of the Main Factors in Implementation of the Smart Logistics Concept. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The paper proposes that currently ITS is the most developed concept of Smart Logistic implementation, and in its essence approaches the essence of the concept of cyber-physical systems (CPS), as intelligent automatic or maximally automated control systems for physical objects and processes of various nature.



Through test studies with the help of various methods of artificial intelligence, it was determined that the most effective method of optimizing the route of freight transport is a modified ant algorithm, which allows dynamic routing of logistics flows in real time, taking into account the non-stationary dynamics of transport flows. Its use allows to reduce the time of searching for the optimal solution by an average of 15% and to obtain better results of path optimization in most cases.

The authors consider one of the perspective areas of further research to be the creation within the framework of the ITS concept, as CPS for Smart Logistic, of an intelligent support system for transport and logistics management of cargo transportation in real time, taking into account the impact of various external factors on the transportation process.

**KEYWORDS:** INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM, SMART LOGISTICS, CYBERPHYSICAL SYSTEM, OPTIMIZATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS OF OPTIMIZATION.

**АВТОРИ:**

Данчук Віктор Дмитрович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, e-mail: vdanchuk@ukr.net, тел. +380996376677, Україна, 01010, м.Київ, вул. М. Бойчука 42, к. 211, orcid.org/0000-0003-3936-4509.

Сватко Віталій Володимирович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: vsvatko83@gmail.com, тел. +380672351170, Україна, 01010, м.Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 347а, orcid.org/0000-0002-0712-5688.

Марченко Владислав Віталійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: kekstarmc@gmail.com, тел. +380668900371, Україна, 01010, м.Київ, вул. М. Бойчука 42, к. 202, orcid.org/0009-0000-0334-4317.

Попченко Євгеній Сергійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: multifiltyap@gmail.com, тел. +380936007777, Україна, 01010, м.Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 347а, orcid.org/0009-0007-9127-5489.

**AUTHOR:**

Danchuk V.D., Dr. Sc. (Phys.-Math.), National Transport University, Dean of the Faculty of Transport and Information Technology, e-mail: vdanchuk@ukr.net, tel. +380996376677 Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuk str. 42, of. 211, orcid.org/0000-0003-3936-4509.

Svatko V.V., Ph.D., National Transport University, associate professor department of information systems and technology, e-mail: vsvatko83@gmail.com, tel. +380672351170 Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0002-0712-5688.

Marchenko V.V., National Transport University, PhD student, e-mail: kekstarmc@gmail.com, tel. +380668900371, Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuk str. 42, of. 202, orcid.org/0009-0000-0334-4317.

Popchenko Y.S., National Transport University, PhD student, e-mail: multifiltyap@gmail.com, tel. +380936007777, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0009-0007-9127-5489.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Івохін Є.В., доктор фіз.-мат. наук, професор, Київський національний університет імені Т.Г.Шевченка, професор кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень, Київ, Україна.

Аль-Амморі Алі Н., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Ivohin I.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Professor of the Department of System Analysis and Decision Making Theory, Kyiv, Ukraine.

Al-Ammori Ali N., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head Department of Information Analysis and Information Security, Kyiv, Ukraine.