

**Н. Л. Костьян**, доц., канд. техн. наук

*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*

*e-mail: n.kostian@chdtu.edu.ua*

## Методологія адаптивного розвитку морфологічної моделі міської транспортної системи для динамічного синтезу проєктних рішень

Представлено методологію розвинення морфологічної моделі міської транспортної системи шляхом інтеграції моделей дотичних систем. Механізми адаптації композитної моделі реалізуються засобами крос-консистентних матриць та динамічного поліморфізму функцій об'єктів системи, що узгоджують морфологічні структури взаємодіючих систем через дотичні атрибути. Представлено залежності між атрибутами транспортної та зарядної систем. Розвинена морфологічна структура є моделлю відкритого типу та може бути розширена на основі адекватних імітаційних моделей.

**міська транспортна система, морфологічна модель, адаптивний розвиток, динамічний синтез**

**Постановка проблеми.** Багато ключових глобальних проблем сталого розвитку тісно пов'язані між собою, таких як забруднення повітря, зміна клімату, дефіцит ресурсів. Ці проблеми є результатом злиття та взаємодії численних, взаємопідсилювальних соціальних подій та екологічних процесів у різних масштабах. За даними Європейської комісії, транспортний сектор є відповідальним за близько чверті викидів парникових газів у ЄС [1], що актуалізує проблему комплексного оцінювання та управління ефективністю транспортних систем на мікро-, макро- та метарівнях. Сучасні тенденції розвитку транспортних систем характеризуються зростанням рівня автомобілізації, відмовою від експлуатації транспортних засобів з традиційними енергетичними установками та переходом на альтернативні джерела енергії, впровадженню інтелектуальних систем управління.

Специфіка функціонування транспортних систем в Україні обумовлена низкою особливостей. В Україні відбувається поступове, проте стале зростання віку автопарку. Станом на кінець 2025 року середній вік легкових автомобілів на ринку України склав 16,4 року. Цей показник суттєво вищий за середній вік легкових автомобілів в країнах ЄС (близько 12 років). Середній вік вантажних автомобілів в Україні складає 18 років, автобусів – понад 20 років [2]. Середній вік автомобілів різниться не лише залежно від категорії транспортних засобів, а і від типу енергетичної установки: бензинова – 14,3 року; дизельна – 14,8 року; газобалонна – 18,3 року; електрична – 4,7 року; гібридна – 5,8 року [3]. Оскільки в регіональних транспортних системах розвиток електромобільності обмежується дефіцитом електроенергії в умовах блекаутів, експлуатація застарілого автопарку з традиційними енергетичними установками призводить до підвищеного споживання палива та значних викидів забруднювальних речовин. За цих умов традиційні статичні моделі оцінювання транспортних систем виявляються неефективними, оскільки не здатні враховувати широку варіативність транспортних засобів, стан дорожнього покриття та інші параметри, що постійно змінюються в часі. Крім того, різні категорії транспортних засобів залежно від типу енергетичних установок потребують спеціалізованої інфраструктури та сервісу. За обмежень енергетичних ресурсів та необхідності забезпечення сталого розвитку

транспортного сектору актуалізується потреба у розробці адаптивних моделей для оцінювання ефективності функціональних елементів транспортних систем, здатних враховувати динамічну зміну параметрів системи та інтегруватися в інтелектуальні системи управління міським транспортом. В наукових дослідженнях представлено низку варіантів морфологічних структур транспортних систем, тому виникає нова наукова проблема узгодження їх з моделями дотичних систем та адаптивного розвитку в заданих умовах міської мобільності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Морфологічний аналіз дозволяє будувати моделі міської транспортної системи як ієрархічну структуру, де кожен рівень (макро-, мікро-, мета-) має свої закономірності формування [4]. Конфігурації транспортної системи визначають енергетичні потреби, екологічність та безпеку функціонування елементів системи [5]. Сучасні дослідження розширюють морфологічний аналіз, включаючи в морфологічну структуру, крім технічних об'єктів, нематеріальні аспекти: інформаційні, енергетичні потоки, сервісні мережі та інші. Багато досліджень присвячено морфологічному моделюванню інших підсистем міської системи, ефективність яких впливає на ефективність елементів транспортної системи. Зокрема, автори [6] визначили морфологічну структуру системи зарядних станцій для електромобілів. В роботі [7] зарядна інфраструктура представлена окремим функціональним елементом в морфологічній моделі режимів роботи електромобілів. Автори [8] розробили морфологічну матрицю системи автосервісу. Дослідження [9] присвячено побудові морфологічної моделі для підвищення паливної економічності транспортних засобів категорії N3 у взаємодії з інфраструктурою. Зазначені морфологічні моделі відповідають системам закритого типу, а визначені показники ефективності оцінюють відповідні системи в цілому, не характеризуючи їх складові, або обмежені ефективністю транспортних засобів одного типу. Отримані на основі цих моделей результати також не дозволяють оцінити вплив дотичних систем на транспортну систему міст. Авторами [10] запропоновано підхід на основі моделювання гібридної урбаністичної системи, що містить 7 підсистем, пов'язаних спільним інтерфейсом. В цій роботі також наведено 11 груп ключових показників ефективності такої системи та критерії їх моніторингу. Робота має концептуальний характер без детального проектування.

Аналіз останніх досліджень показав, що незважаючи на значну кількість досліджень щодо морфологічного моделювання урбаністичних систем отримані моделі задають сталу множину конфігурацій таких систем. Не визначеним в повній мірі залишається механізм трансформації моделі транспортної системи під впливом дотичних до неї систем.

**Постановка завдання.** Метою даного дослідження є визначення механізму та засобів адаптації морфологічної структури транспортної системи під динамічні зміни її функціонування для подальшої інтеграції в інтелектуальні системи. Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- формулювання концепції розвитку морфологічної структури міської транспортної системи через інтеграцію моделей дотичних систем;
- визначення принципу динамічного поліморфізму оцінювання ефективності функціональних елементів системи;
- застосування імітаційного моделювання для розширення множини та доменів параметрів впливу на ефективність системи.

**Виклад основного матеріалу.** Морфологічна модель транспортної системи не є статичною, а її конфігурації (стані) набувають постійної трансформації. Множину можливих проєктних рішень системи доцільно розширити через динамічний синтез додаткових конфігурацій, структура яких відрізняється від базових. В широкому

розумінні динамічний синтез системи базується на функціональних та морфологічних моделях, які відтворюють зміни системи в довільні моменти часу. В межах даного дослідження під динамічним синтезом транспортної системи будемо розуміти процес морфологічного моделювання системи, що еволюціонує у часі під дією зовнішніх або внутрішніх сил. Тобто, конфігурації композитної системи, що утворюється шляхом приєднання до транспортної системи інших міських систем, можуть відрізнятися не лише значеннями морфологічних ознак, а і самою структурою, яка трансформується залежно від заданих умов та цілей.

Прикладом композитної системи може виступати поєднання «Транспортна система – Зарядна інфраструктура (система зарядних станцій)». Морфологічні ознаки системи зарядних станцій охоплюють фізичні пристрої, енергетичні мережі та цифрові платформи. Технічна морфологія зарядної інфраструктури базується на рівнях потужності та типах струму. Різні режими заряджання корелюють з часовими характеристиками перебування транспортного засобу на сегменті транспортної системи. Окрім технічних характеристик, морфологія зарядної інфраструктури включає операційні та бізнес-параметри: напрямок енергетичного потоку, методи автентифікації, джерела живлення, стратегії ціноутворення та інші. Зазначені ознаки визначають життєздатність інфраструктури в ринкових умовах. Інтеграція двох морфологічних моделей (транспортної та зарядної) вимагає створення методологічної основи, яка б дозволила переносити обмеження та можливості однієї системи на іншу. Найбільш ефективним способом такого з'єднання є використання морфологічних матриць. В даному контексті цей методологічний підхід містить наступні кроки:

1. Ідентифікація спільних ключових змінних, які існують в обох моделях або мають безпосередній причинно-наслідковий зв'язок. Так у транспортній моделі це характеристика вузла (наприклад, 8 годин на робочому місці, 2 години у торговому центрі). У моделі зарядної інфраструктури цей параметр визначає максимально допустиму потужність пристрою для повного заряджання батареї. Тип сегменту, або тип локації, диктує обмеження на електричну потужність та доступну площу для зарядної станції. Параметри функціонального елементу «Транспортний потік» визначають кількість необхідних зарядних точок та ймовірність черг. Цей зв'язок моделюється через багатоканальну систему масового обслуговування. Такий підхід дозволяє врахувати і зворотний зв'язок: встановлення потужної станції може змінити транспортну морфологію міста, притягуючи нові транспортні потоки. Таблиця 1 ілюструє приклад залежності ефективності обох систем від варіантів реалізації атрибутів транспортної системи.

Таблиця 1 – Вплив атрибутів ФЕ «Дорога» [4] на параметри дотичних систем (транспортної та зарядної) в композитній системі на заданому сегменті транспортної мережі

| Варіант реалізації атрибутів ФЕ «Дорога»  | Вплив на ефективність ФЕ «Транспортний засіб» у складі транспортній системі | Вплив на систему зарядних станцій                 |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Високий ступінь дорожнього опору, $f + i$ | Підвищене споживання енергії                                                | Необхідність у більш щільній мережі станцій       |
| Високий рівень кривизни дороги            | Зниження швидкості, рекуперація енергії                                     | Зміна прогнозованого запасу ходу та точок зарядки |

*Джерело: розроблено автором*

Окрім якісного морфологічного аналізу, існують методи математичного поєднання моделей через аналіз даних. Один із таких підходів полягає у використанні

архітектури типу GeoAdvAE, які дозволяють інтегрувати різномірні морфологічні дані у спільний латентний простір [11]. Теорія систем масового обслуговування та імітаційне моделювання також може застосовуватись в якості інструменту для виявлення аналітичних залежностей між параметрами, що об'єднано у складні композитні системи за заданих морфологічних обмежень. Так в ході комп'ютерної імітації роботи заданої зарядної станції для електромобілів в м. Черкаси на рівні управління зарядною інфраструктурою було виявлено залежність її ефективності від атрибуту «Інтенсивність руху» ФЕ «Транспортний потік». При цьому, було досліджено загальний транспортний потік через прилеглий сегмент транспортної системи в центральній частині міста (по вул. Благівісна, від вул. Смілянська до вул. Дашкевича). Імітацію проведено в програмному середовищі, розробленому в Microsoft Visual C++. Регресійна залежність сумарних втрат на рівні управління зарядною інфраструктурою від інтенсивності руху складного транспортного потоку апроксимується поліномом 4-го порядку з коефіцієнтом детермінації  $R^2=0.98$ :

$$Los = 8 \times 10^{-9} I_{tr}^4 - 0,00002 I_{tr}^3 + 0,0207 I_{tr}^2 - 8,8078 I_{tr} + 1516,3, \quad (1)$$

де  $Los$  – сумарні втрати бізнесу та клієнтів при функціонуванні зарядної станції за оптимальних режимів роботи (без врахування параметрів транспортної системи),  $I_{tr}$  – інтенсивність руху загального транспортного потоку через прилеглу до станції територію.

На основі функції сумарних втрат (1) було визначено двоїсту до неї функцію ефективності зарядної інфраструктури  $E_f$  з приведенням області її визначення до інтервалу  $[0,1]$ :

$$E_f = 1 - \frac{Los - Los_{\min}}{Los_{\max} - Los_{\min}}. \quad (2)$$

Функція ефективності також добре апроксимується поліномом 4-го порядку:

$$E_f = -3 \times 10^{-10} I_{tr}^4 + 9 \times 10^{-7} I_{tr}^3 - 0,0009 I_{tr}^2 + 0,3791 I_{tr} - 58,257. \quad (3)$$

Морфологічний аналіз дозволяє ідентифікувати суттєві атрибути та критерії ефективності композитної системи та вбудувати їх у гнучкі сценарії транспортного планування міст.

2. Побудова композитної морфологічної матриці (крос-консистентний аналіз). Після ідентифікації параметрів будується крос-консистентна матриця, в якій стовпці відповідають параметрам транспортної системи, а рядки параметрам зарядної інфраструктури. В комірки матриці заноситься оцінка сумісності відповідних параметрів, яка визначає емпіричну ймовірність та нормативні обмеження. Тобто, значення в комірці відображає ступінь консистентності параметрів. Наприклад, пара з параметрів двох вихідних морфологічних моделей («Швидкісна магістраль», «Зарядка електромобіля рівня 1 (Level 1 AC)») отримує оцінку 0 (повна невідповідність), а пара («Житлова зона», «Level 2 V2G») має високий бал за синергію.

3. Редукція множини синтезованих рішень. Для завершення процесу з'єднання моделей необхідно перейти від аналізу окремих параметрів до синтезу конфігурацій моделі композитної системи. Це реалізується через побудову зведеної морфологічної матриці. Поєднання двох моделей може дати значну кількість теоретичних комбінацій. Аналіз крос-консистентної матриці, отриманої на попередньому кроці, дозволяє відсіяти нежиттєздатні варіанти.

Сформовану композитну матрицю зручно застосовувати за невеликої кількості дотичних систем (2 або 3). На практиці їх може виявитись більше [10]. Для різних елементів композитної системи застосовані окремі показники ефективності, алгоритм розрахунку яких різниться залежно до конфігурації системи. Морфологічну структуру системи (ФЕ, атрибути, їхні варіанти реалізації) доречно зберігати у вигляді об'єктної моделі з перевіркою на повноту, цілісність та надлишковість даних. Вибір суттєвих атрибутів та синтез раціональних конфігурацій композитної системи залежить від визначених критеріїв ефективності. Алгоритми оцінювання ефективності системи та її компонентів буде автоматично визначено на основі ключів (дотичних атрибутів) систем на основі динамічного поліморфізму, що реалізується в об'єктно-орієнтованій парадигмі. Так при приєднанні до поточної конфігурації транспортної системи атрибутів моделі зарядної інфраструктури через ключ «Тип енергетичної установки» в значенні «Електрична» метод відповідного класу реалізує функцію оцінювання енергоефективності електромобілів. За потреби може бути задано складений ключ (наприклад, Тип енергетичної установки–Категорія–Вік транспортного засобу).

На попередніх етапах множина атрибутів композитної систем може мати велику потужність. Після усунення залежних атрибутів морфологічну структуру пропонується розширити за рахунок атрибутів, які не було визначено на ранніх стадіях аналізу, але можуть виявитись параметрами впливу при врахуванні додаткових умов. Виникає необхідність розширити морфологічну структуру системи. Для перевірки цієї гіпотези було побудовано транспортні моделі двох вузлів транспортної мережі м. Черкаси із використанням PTV Vissim. Зазначені вузли мають обмеження щодо зміни конфігурацій системи через особливості геометрії (різниця рівнів ландшафту в місті локації, велика кривизна дороги, ухил, багаторівнева розв'язка), розташування додаткових об'єктів (залізнична колія, стадіон, теплотраса, місця для паркування, промислові об'єкти, автозаправна станція) та високий рівень складності транспортного потоку. Підвищення ефективності транспортної системи в заданих вузлах досягається коригуванням керуючих елементів. Для вузла (рис. 1) визначено два варіанти альтернативних транспортних моделей.

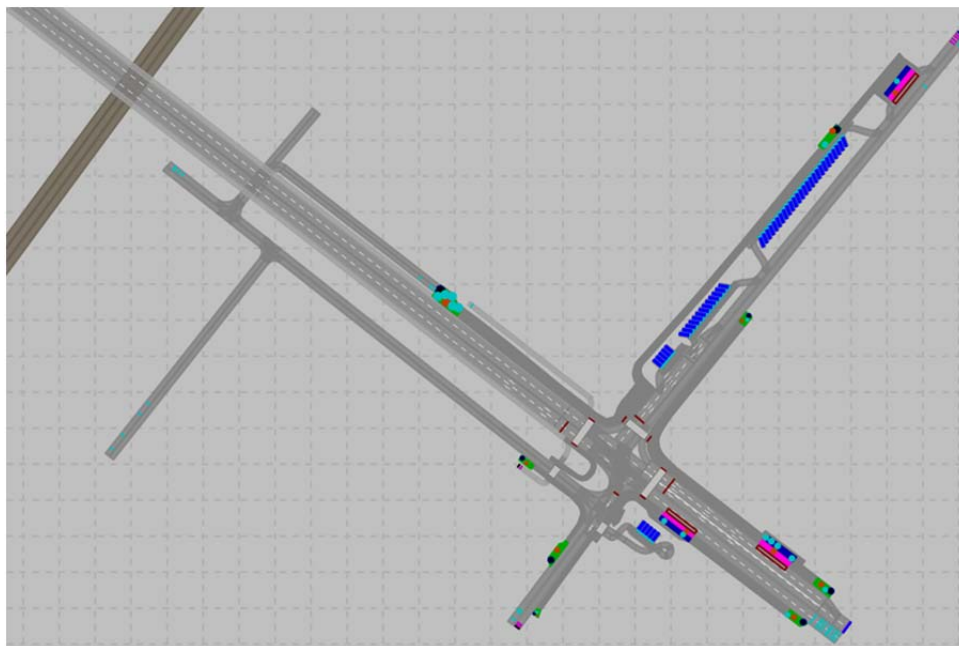


Рисунок 1 – Транспортна модель перехрестя пр. Хіміків – вул. М. Залізняка, м. Черкаси  
Джерело: розроблено автором

Перший варіант реалізовано шляхом збільшення циклових параметрів та додаткових секцій світлосигнальних пристроїв по пр. Хіміків. Другий варіант представляє модель перехрестя з відокремленими світлофорними фазами для лівих смуг за незмінного циклу програми світлосигнальних пристроїв. Крім того, було виконано перерозподіл напрямків руху за окремими смугами. Результати аналізу отриманих моделей наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння імітаційних моделей вузла: пр. Хіміків – вул. М. Залізняка, м. Черкаси

| Параметри транспортних моделей                     | Значення параметрів |                                |                                 |
|----------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|                                                    | Вихідна модель      | I варіант вдосконаленої моделі | II варіант вдосконаленої моделі |
| Середній час затримки, сек. імітації               | 26,1                | 28,59                          | 20,88                           |
| Середня швидкість                                  | 21,44               | 20,99                          | 22,57                           |
| Середній час затримки стоячи, сек. імітації        | 16,33               | 18,38                          | 12,32                           |
| Загальний час затримки, сек. імітації              | 9701,52             | 10463,56                       | 7643,28                         |
| Загальний час в дорозі, сек. імітації              | 39267,3             | 40062,2                        | 37218,5                         |
| Загальний час затримки стоячи, сек. імітації       | 5978,46             | 6728,37                        | 4507,92                         |
| Зупинок всього                                     | 319                 | 359                            | 251                             |
| Загальна кількість ТЗ в мережі наприкінці імітації | 91                  | 88                             | 87                              |

Джерело: розроблено автором

Другий варіант транспортної моделі виявився оптимальним за однакових варіантів реалізації інших ФЕ транспортної системи на заданому вузлу.

Другий змодельований вузол містив кілька перехресть (рис. 2).

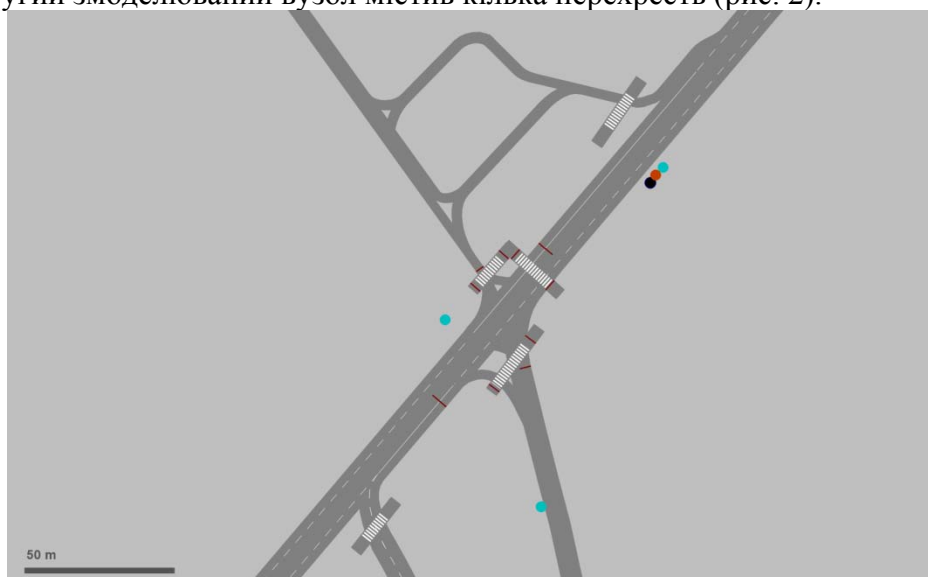


Рисунок 2 – Транспортна модель вузла: вул. Смілянська – вул. Свято-Макаріївська  
а вул. Смілянська – вул. В. Ложешнікова, м. Черкаси

Джерело: розроблено автором

Транспортний потік через зазначений вузол характеризується високим рівнем конгестії протягом доби, окрім нічних годин. Модель має велику кількість конфліктних точок. Через вузол проходить 20 маршрутів міських автобусів. Вдосконалена транспортна модель відрізняється додатковими напрямками руху, зміною розташування світлосигнальних пристроїв та їх програмами. При цьому швидкість проходження даного сегмента транспортної мережі міста зросла на 20%, а середній час затримки в дорозі скоротився на чверть. Результати аналізу побудованих моделей зазначеного вузла представлено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Порівняння імітаційних моделей вузла: вул. Смілянська – вул. Свято-Макаріївська та вул. Смілянська – вул. В. Ложешнікова, м. Черкаси

| Параметри транспортних моделей                     | Значення параметрів |                     |
|----------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                                    | Вихідна модель      | Вдосконалена модель |
| Середній час затримки, сек. імітації               | 63,32               | 45,80               |
| Середня швидкість                                  | 22,41               | 26,77               |
| Середній час затримки стоячи, сек. імітації        | 39,46               | 25,83               |
| Загальний час затримки, сек. імітації              | 39320,10            | 28670,28            |
| Загальний час в дорозі, сек. імітації              | 72398               | 62811,4             |
| Загальний час затримки стоячи, сек. імітації       | 24505,35            | 16172,08            |
| Зупинок всього                                     | 1615                | 1282                |
| Загальна кількість ТЗ в мережі наприкінці імітації | 167                 | 136                 |

*Джерело: розроблено автором*

Результати роботи імітаційних моделей підтвердили доцільність введення в морфологічну модель транспортної системи ФЕ «Засоби керування рухом», що характеризується наявністю засобів статичного (детектори транспорту, дорожня розмітка, знаки, освітлення, світлофорне регулювання із незмінними у добовому циклі параметрами) та адаптивного керування та їх варіантами реалізації на заданому сегменті системи.

**Висновки.** Спосіб інтеграції моделей дотичних до транспортної системи систем в межах області визначення їх морфологічних ознак полягає у створенні системи взаємозв'язків, що охоплює фізичні, технічні, енергетичні та цифрові аспекти міської мобільності. Ключовим методологічним інструментом є загальний морфологічний аналіз, який через крос-консистентні матриці дозволяє узгодити їх суттєві параметри та розвинути морфологічну модель транспортної системи залежно від реальних умов. Такий підхід дозволяє уникати малоефективних рішень, стимулюючи розробку інноваційних комбінацій, які можуть бути неочевидними при традиційному проектуванні. Для перевірки повноти множини атрибутів об'єднаної моделі ефективним є використання імітаційних моделей, для яких задано параметри, що узгоджено з морфологічною структурою композитної транспортної системи. Додаткові атрибути функціонального елемента «Засоби керування рухом» суттєво впливають на значення ключових показників ефективності. При раціональному налаштуванні параметрів засобів статичного керування рухом спостерігається покращення ключових показників, що впливають на енергоефективність та екологічність транспорту. Функція оцінювання показників ефективності залежить від атрибутів-ключів зв'язку між морфологічними моделями підсистем та реалізується через динамічний поліморфізм об'єктів композитної системи. Запропонований адаптивний підхід перетворює

морфологічну модель на потужний інструмент динамічної підтримки прийняття рішень для міських планувальників.

## Список літератури

1. Fatorachian H., Kazemi H., Pawar K. Digital transformation for sustainable transportation: leveraging Industry 4.0 technologies to optimize efficiency and reduce emissions. *Future Transportation*. 2025. Vol. 5, № 2. 34. DOI: 10.3390/futuretransp5020034.
2. Середній вік легкових авто в Україні: жовтень 2025 року. Інститут досліджень авторинку : веб-сайт. URL: <https://eauto.org.ua> (дата звернення: 30.01.2026).
3. The Ukrainian car fleet is aging: where the youngest and oldest cars will be sold in 2025 / Visit Ukraine. URL: <https://visitukraine.today/uk/blog/7503/the-ukrainian-car-fleet-is-aging-where-the-youngest-and-oldest-cars-will-be-sold-in-2025> (дата звернення: 30.01.2026).
4. Mateichyk V., Kostian N., Smieszek M., Mosciszewski J., Tarandushka L. Evaluating vehicle energy efficiency in urban transport systems based on fuzzy logic models. *Energies*. 2023. Vol. 16, № 2. 734. DOI: 10.3390/en16020734.
5. Mateichyk V., Smieszek M., Kostian N. Evaluation of transport system configuration by efficiency indicators. *Transport technologies*. 2022. Vol. 3, № 2. P. 52–62. DOI: 10.23939/tt2022.02.052.
6. Grascht R., Mateichyk P. V. Complex methodology of managing the development of the charging station network. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. № 3(90). С. 324–330. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2024.3.40.
7. Li S., Chen X., Song Z. Morphological Analysis on Electric Vehicles' Operating Model: Cases of Beijing Taxi Area. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. 2021. Vol. 610. P. 309–314. DOI: 10.2991/assehr.k.211215.057.
8. Tarandushka L., Mateichyk V., Kostian N., Tarandushka I., Rud M. Assessing the quality level of technological processes at car service enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2, № 3 (104). P. 58–75. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.200332.
9. Грицук І. В., Волков В. П., Маяк М. М., Український С. О., Володарець М. В., Волкова Т. В., Риждова В. Ю. Формування методу забезпечення нормування показників і керування паливною економічністю транспортного засобу у змінних умовах експлуатації. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. № 18, т. 1. С. 56–65. DOI: 10.36910/automash.v1i18.760.
10. Gabbar H. A. Modeling of interconnected infrastructures with unified interface design toward smart cities. *Energies*. 2021. Vol. 14, № 15. 4572. DOI: 10.3390/en14154572.
11. Du J. T., Lin K. Z. Integrating morphology and gene expression of neural cells in unpaired single-cell data using GeoAdvAE. *bioRxiv*. 2025. 11(19). 689368. <https://doi.org/10.1101/2025.11.19.689368>.

## References

1. Fatorachian, H., Kazemi, H., & Pawar, K. (2025). Digital transformation for sustainable transportation: Leveraging Industry 4.0 technologies to optimize efficiency and reduce emissions. *Future Transportation*, 5(2), Article 34. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5020034>.
2. Institute of Automotive Market Research. (2026, January 30). Serednii vik lehkovykh avto v Ukraini: zhovten 2025 roku [Average age of passenger cars in Ukraine: October 2025]. <https://eauto.org.ua>.
3. Visit Ukraine. (2026, January 30). The Ukrainian car fleet is aging: Where the youngest and oldest cars will be sold in 2025. <https://visitukraine.today/uk/blog/7503/the-ukrainian-car-fleet-is-aging-where-the-youngest-and-oldest-cars-will-be-sold-in-2025>.
4. Mateichyk, V., Kostian, N., Smieszek, M., Mosciszewski, J., & Tarandushka, L. (2023). Evaluating vehicle energy efficiency in urban transport systems based on fuzzy logic models. *Energies*, 16(2), Article 734. <https://doi.org/10.3390/en16020734>.
5. Mateichyk, V., Smieszek, M., & Kostian, N. (2022). Evaluation of transport system configuration by efficiency indicators. *Transport Technologies*, 3(2), 52–62. <https://doi.org/10.23939/tt2022.02.052>.
6. Grascht, R., & Mateichyk, P. V. (2024). Complex methodology of managing the development of the charging station network. *Bulletin of Kherson National Technical University*, 3(90), 324–330. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.3.40>.
7. Li, S., Chen, X., & Song, Z. (2021) Morphological analysis on electric vehicles' operating model: Cases of Beijing taxi area. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, Vol. 610, 309–314. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211215.057>.



8. Tarandushka, L., Mateichyk, V., Kostian, N., Tarandushka, I., & Rud, M. (2020). Assessing the quality level of technological processes at car service enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(3), 58–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200332>.
9. Gritsuk, I., Volkov, V., Majak, M., Ukrainskiy, Ye., Volodarets, M., Volkova, T., & Ryzhova, V. (2022). Formation of the Method of ensuring the Rating of indicators and management of the Fuel economy of the Vehicle in variable operating conditions. *Advances in mechanical engineering and transport*, 1(18), 56–65 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.760>.
10. Gabbar, H. A. (2021). Modeling of interconnected infrastructures with unified interface design toward smart cities. *Energies*, 14(15), Article 4572. <https://doi.org/10.3390/en14154572>.
11. Du, J. T., & Lin, K. Z. (2025). Integrating morphology and gene expression of neural cells in unpaired single-cell data using GeoAdvAE. *bioRxiv*, 11(19), Article 689368. <https://doi.org/10.1101/2025.11.19.689368>.

**Nataliia Kostian**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine*

### **Methodology of Adaptive Development of Morphological Model of Urban Transport System for Dynamic Synthesis of deSign Solutions**

The aim of the research is to scientifically substantiate and determine the mechanism for adapting the morphological structure of the urban transport system to dynamic changes in its functioning. The work is aimed at developing a methodological basis for integrating transport network models with related urban systems within a single intelligent management environment. The main focus is on ensuring the possibility of dynamic synthesis of design solutions that take into account the variability of vehicles and environmental parameters.

The work develops a concept for the development of a morphological model of a transport system through the use of cross-consistent matrices and dynamic polymorphism of object functions. which allows to coordinate complex composite systems through common tangent attributes. An approach to assessing the effectiveness of functional elements is proposed, which provides the possibility of using several alternative algorithms for assessing and taking into account different configurations of a composite system. As an example, the interaction of the transport network and the charging infrastructure for electric vehicles is considered, analytical dependencies between the intensity of traffic flow and the efficiency of the charging infrastructure are identified. To expand the set of influence parameters, simulation modelling was carried out in the PTV Vissim 2026 environment. The methodology was tested on complex nodes of the transport network of the city of Cherkasy. The complexity of the nodes is determined by spatial and other configurational constraints. This makes it impossible to go beyond the area of definition of the accepted morphological features of the transport system in difficult conditions of lack of financial and energy resources. There is a need to expand the morphological structure of the system. Within the framework of a computer experiment, alternative options for organizing traffic were simulated using additional traffic light sections and redistribution of regulation phases. The simulation results allowed us to identify optimal system configurations and confirmed the feasibility of introducing new attributes into the morphological structure, such as statistical and dynamic traffic control tools.

The results of the work prove that the use of extended morphological analysis provides high accuracy of matching parameters of tangential systems, allowing to avoid inefficient solutions. It is established that the implementation of improved models in the nodal sections of the network allows to reduce the average delay time on the road by a quarter. The proposed adaptive approach turns the morphological model into a powerful decision-making support tool for urban planning. The created model is open and suitable for further integration into intelligent transport systems.

**urban transport system, morphological model, adaptive development, dynamic synthesis**

*Одержано (Received) 27.02.2026*

*Прорецензовано (Reviewed) 27.03.2026*

*Прийнято до друку (Approved) 01.04.2026*