

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ТРАНСПОРТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Шелудченко Л.С.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
вул. Шевченка 13, 32300, м. Кам'янець-Подільський
seludcenkolesa@gmail.com

Функціонування автодорожньої інфраструктури має забезпечувати екологічну та техногенну безпеку, економічну доцільність та технічну надійність. В свою чергу, автодорожня інфраструктура являє собою складну систему, яка за нормальних умов функціонування не призводить до негативного впливу на об'єкти навколишнього середовища та не впливає на здоров'я людей. Тому забезпечення екологічної безпеки території з щільною мережею автомобільних доріг є важливим завданням, щодо функціонування системи «автомобіль-дорога-довкілля», яке можливо досягнути шляхом використання сучасних інформаційних технологій. Зокрема, застосуванням кіберфізичної системи на транспорті дозволить підвищити ефективність функціонування автодорожньої інфраструктури на основі реальної інформації, що дасть можливість зменшити завантаженість транспортними засобами вулиць і доріг, підвищити рівень безпеки дорожнього руху, інформувати учасників руху про стан дорожньо-транспортної ситуації по обраному маршруту, рекомендувати оптимальний маршрут, покращити рівень екологічної безпеки території, встановлювати пріоритетність заходів, щодо підвищення ефективності функціонування транспортної системи на основі зібраних даних тощо.

В роботі розроблена та запропонована загальна схема поширення небезпеки в умовах функціонування автодорожньої мережі. Зокрема встановлено, що негативний вплив на навколишнє середовище здійснюється як в процесі «нормального» функціонування транспортної системи, так і при виникненні аварійних ситуацій. Теоретично обгрунтовано про необхідність забезпечення економічної доцільності, техногенної безпеки та екологічної надійності функціонування транспортної системи відповідно до принципу системного підходу, а зокрема базованих на критеріях ефективності та встановлених нормованих показниках транспортного потоку в реальних умовах.

Впровадження кіберфізичної системи на транспорті необхідно здійснювати з урахуванням трьох векторних напрямків: у транспортній інфраструктурі, у взаємодії транспортних засобів з інфраструктурою та на транспортних засобах. Це дасть можливість здійснювати управління дорожнім рухом з метою попереджувальної, інформативної, регулятивної функції та дозволить забезпечити достатній рівень екологічної безпеки автодорожньої інфраструктури. *Ключові слова:* автодорожня інфраструктура, екологічна безпека, кіберфізична система, транспортні потоки.

Theoretical substantiation of application of cyberphysical system on transport for maintenance of ecologically safe functioning of road infrastructure. Sheludchenko L.

The functioning of road infrastructure should ensure environmental and ecological safety, economic feasibility and technical reliability. In turn, the road infrastructure is a complex system that under normal operating conditions does not adversely affect the environment and does not affect human health. Therefore, ensuring the environmental safety of the territory is an important task of the system «car-road-environment», which can be achieved using modern technologies. In particular, the use of cyberphysical system will increase the efficiency of transport infrastructure based on real information, which will reduce traffic congestion on streets and roads, increase road safety, inform road users about the traffic situation on the selected route, and recommend the optimal route, to improve the level of ecological safety of the territory, to establish the priority of measures to increase the efficiency of the transport system on the basis of collected data, etc.

The general scheme of danger distribution in the conditions of road network functioning is developed and offered in the work. In particular, it is established that the negative impact on the environment is carried out both in the process of «normal» functioning of the transport system and in the event of emergencies. Theoretically substantiated the need to ensure economic feasibility, technogenic safety and environmental reliability of the transport system in accordance with the principle of a systematic approach, and in particular based on efficiency criteria and established standardized indicators of traffic flow in real conditions. The implementation of cyberphysical systems must be caring out taking into account three areas: in transport infrastructure, in the interaction of vehicles directly with the infrastructure and on vehicles. The use of cyberphysical systems will make it possible to manage traffic not only as a preventive, informative, regulatory function, but also to ensure a sufficient level of environmental safety of road infrastructure. *Key words:* road infrastructure, environmental safety, cyberphysical system, transport flows.

Постановка проблеми. Розвиток сучасного суспільства характеризується інтенсивним загостренням ряду глобальних екологічних проблем, детальний аналіз яких дозволить розробити дієвий алгоритм дій та рішень для забезпечення достат-

нього рівня екологічної безпеки. Сучасний розвиток всієї автодорожньої інфраструктури зумовлюється значним збільшенням кількості транспорту, обсягів пасажирських та вантажних перевезень. Таким чином, функціонування автодорожньої інфраструк-

тури має забезпечувати екологічну та техногенну безпеку, економічну доцільність, технічну надійність та мобільність функціонування всього автотранспортного комплексу [1].

Актуальність досліджень. Національна безпека України включає в себе комплекс як законодавчих, так і організаційних заходів, які мають бути спрямовані на постійну захищеність важливих інтересів людини, суспільства і держави, за яких забезпечуються сталий розвиток суспільства, здійснюється своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних та потенційних загроз, в тому числі, у сферах транспорту та зв'язку, інформаційних технологій, захисту довкілля тощо. Слід відмітити, що автодорожня інфраструктура являє собою складну, багаторівневу систему «автомобіль-дорога-довкілля», яка за нормальних умов функціонування перебуває у стані, коли дія зовнішніх факторів і внутрішніх чинників не призводить до певних негативних процесів, її функціонального призначення та стійкості [2; 3].

Проте автомобільні магістралі та окремі об'єкти інфраструктури автомобільних доріг відносять до «...об'єктів підвищеної екологічної небезпеки техногенного характеру». В свою чергу, техногенна безпека охоплює питання раціонального використання та відновлення природних ресурсів та охорони об'єктів навколишнього середовища (атмосфери, гідросфери, літосфери), здоров'я людини [4]. Відповідно до загальноприйнятого розуміння термін «техногенна безпека» тлумачиться як «відсутність виникнення надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах». Джерелом небезпеки, в такому випадку, можуть виступати потенційно небезпечні об'єкти та об'єкти підвищеної небезпеки господарської діяльності, будівлі та споруди із порушенням умов їх експлуатації. Таким чином, забезпечення техногенної безпеки є основною функцією захисту територій і населення від виникнення надзвичайних ситуацій в зоні впливу джерела небезпеки.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями виконаний відповідно до «Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року», яка визначає основні пріоритети комплексного формування транспортної політики та ефективного державного управління, основні напрями розвитку транспортної галузі на період до 2030 року. Метою Стратегії є створення інтегрованого до світової транспортної мережі безпечно функціонуючого та ефективного транспортного комплексу України. Зокрема важливий акцент у даній роботі базується на врахування світових тенденцій, які враховує Стратегія: «...*пріоритетність потреб охорони навколишнього природного середовища та збереження цінних природоохоронних територій під час розвитку транспортної інфраструктури*».

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Загальна екологічна оцінка функціонування

автодорожньої інфраструктури висвітлювалася в дослідженнях провідних науковців: у галузі екологічної безпеки (Внукова Н. В., Шмандій В. М., Хрутьба В. О., Бахарев В. С., Артемчук В. О., Кундельська Т. В.), у галузі екологічного права (Антонюк У. В.) тощо.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячуються означена стаття. Водночас, недостатньо дослідженим і актуальним залишається питання, щодо застосування кіберфізичної складової в системі «автомобіль-дорога-довкілля» для забезпечення екологічно безпечного функціонування автодорожньої інфраструктури в цілому.

Новизна полягає у покращенні ефективності функціонування системи «автомобіль-дорога-довкілля» шляхом застосування кіберфізичної системи, спрямованої на підвищення надійності та безпечності функціонування автодорожньої інфраструктури в цілому в умовах екологічної безпеки.

Методологічне або загальнонаукове значення. Реалізація технічних та технологічних рішень для окремих елементів системи транспортної інфраструктури не можуть призвести до підвищення загальної ефективності функціонування системи в цілому. Саме тому, інженерні рішення для задоволення транспортно-комунікаційних потреб необхідно розглядати як комплексну задачу, яка поєднує в собі комп'ютерні, інформаційні та комунікаційні технології в режимі реального часу для усіх учасників дорожнього руху, що дозволить значно підвищити рівень безпеки транспортного обслуговування в тому числі з високим рівнем екологічної безпеки.

Виклад основного матеріалу. Вплив автодорожньої мережі на навколишнє середовище визначається технічними характеристиками транспортних засобів, експлуатаційними показниками автомобільної дороги, основними характеристиками транспортного потоку (його інтенсивністю, швидкістю та складом), а також щільністю автомобільних доріг. Пропускна здатність автомобільної дороги визначається її конструкцією, особливістю організації дорожнього руху, яка має забезпечувати безпеку усіх учасників дорожнього руху [5]. Відповідно до принципу системного підходу, ефективність транспортного потоку може базуватися на прийнятному критерії ефективності на основі загальних оцінок:

$$\varphi = \sum_{i=1}^m b_i \times g_i, \quad (1)$$

де g_i – нормований показник ефективності;

m – кількість показників ефективності.

b_i – вагові коефіцієнти, які відповідають умові

наступного виразу $\sum_{i=1}^m b_i = 1$.

До нормованих показників транспортного потоку можна віднести:

- 1) показник виконаної корисної роботи;
- 2) ефективність витрати пального;
- 3) екологічність корисної дії.

Негативний вплив транспортної інфраструктури на навколишнє середовище відбувається як в процесі «нормальної» експлуатації (постійний вплив з ефектом накопичення небезпеки), так і в результаті виникнення аварійної ситуації (раптовий одномоментний вплив та миттєвість виникнення небезпеки), що характеризується різким надходженням небезпечних речовин та інших негативних проявів в результаті руйнування транспортних споруд і дорожньо-транспортних пригод (рис. 1).

Слід відмітити, що вплив, який можна охарактеризувати як наслідок «нормального» функціонування автодорожньої інфраструктури, можна контролювати та обмежувати за допомогою інженерних рішень захисту довкілля, розрахунку ризиків та превентивних заходів, які працюють на випередження.

Таким чином мова йде про дотримання рівня автотранспортної ємності певної локальної території, вихід за межі якої може призвести до ймовірності виникнення екологічної небезпеки (табл. 1).

Слід відмітити, що саме транспортні потоки здійснюють найбільший негативний вплив на навколишнє середовище на відміну від одиничних транспортних засобів, особливо в умовах урбосистеми. Серед основних факторів транспортного впливу є: склад, інтенсивність, швидкість, прискорення транспортного потоку, технічний рівень транспортних засобів, їх експлуатаційний стан, пальне, яке вико-

ристовується ТЗ, об'єм та номенклатура вантажів тощо [6]. Рівень впливу транспорту, а зокрема викидів забруднюючих речовин CO, C_xH_y, NO_x в складі автотранспортного потоку [7] (табл. 2), визначений на прикладі м. Кам'янець-Подільський:

$$Y_i = \begin{cases} N_a \times A_{j1}^m, & \text{якщо } S_{вант.а} \leq 5 \% \\ N_a \times A_{j2}^m, & \text{якщо } S_{вант.а} \geq 5 \dots \leq 25 \% , (2) \\ N_a \times A_{j3}^m, & \text{якщо } S_{вант.а} \geq 25 \% \end{cases}$$

де N_a – загальна кількість транспортних засобів, авт./год;

$A_{j1,2,3}^m$ – коефіцієнти регресії, $\left[\frac{кг}{год \cdot км} \right]$;

$S_{в.а}$ – частка вантажних автотранспортних засобів в автотранспортному потоці, %.

Для забезпечення ефективних нормованих показників функціонування автодорожньої інфраструктури необхідні реальні дані, щодо стану завантаженості ВДМ міста або окремих ділянок транспортними засобами, кількісного і якісного складу транспортного потоку, дослідження характеру руху та його розподілу по функціональних зонах міста тощо.

Удосконалення організації руху можливо здійснювати на основі впровадження сучасних технологій, а зокрема кіберфізичних систем (КС) по трьох векторах: 1) КС транспортної інфраструктури, 2) КС взаємодії транспортних засобів з інфраструктурою, 3) КС транспортних засобів [8; 9].

Головні висновки. Застосування кіберфізичних систем дасть можливість збору великої кількості інформації, що значно підвищує характер процесу

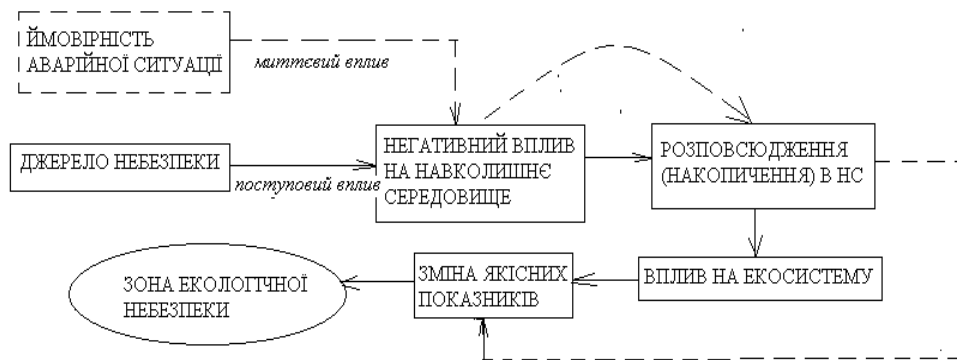


Рис. 1. Загальна схема поширення небезпеки в межах функціонування транспортної інфраструктури

Таблиця 1

Небезпечні впливи транспорту на навколишнє середовище, які можуть призвести до виникнення екологічної аварії

Назва впливу	Транспортні засоби	Автомобільні дороги	Транспортна інфраструктура
Вплив на навколишнє середовище	Викиди забруднюючих речовин (ЗР); дорожньо-транспортні пригоди (ДТП); порушення умов перевезення небезпечних вантажів	Вилучення території; Зміна показників якості; Вплив на екосистеми	Вилучення території; Забруднення водних стоків; Небезпечні відходи
Масштаби впливу	Придорожні території	Зона впливу автодороги	Уся територія +СЗЗ

Викиди ЗР потоком транспортних засобів

Назва вулиці	Легкові ТЗ, авт/год	Вантажні ТЗ, авт/год	Сумарна кількість ТЗ, авт/год	Викиди ЗР (CO, C _x H _y , NO _x) транспортним потоком
Хмельницьке шосе	708	24	732	5112,29
вул. Шевченка	580	6	586	4092,62
Проспект Грушевського (центр)	888	54	942	9876,12
Проспект Грушевського (до центру)	905	124	1029	10788,24
Північна (центр)	580	21	601	4197,38
Північна	108	60	168	2672,88
Привокзальна	108	60	168	2672,88
Князів Кориатовичів	660	36	696	7297,0
Замкова	54	1	55	384,12

фізичної, соціальної та інформаційної складової транспортної системи шляхом розрахунків, комунікаційних зв'язків та системи управління дорожнім рухом не лише в якості попереджувальної, інформативної, регулятивної функції, а й у забезпеченні достатнього рівня екологічної безпеки.

Слід додати, що з початку війни російськими окупантами відбувається цілеспрямоване знищення транспортної інфраструктури по всій території України. Суттєво знизилася обсяги перевезень пасажирів і вантажів усіма видами транспорту, що призводить до зниження соціально-економічного становища усіх регіонів країни. В результаті екологічного злочину в навколишнє середовище потрапляють небезпечні речовини в концентраціях, які значно перевищують їх ГДК. Зокрема зруйновано та пошкоджено майже 8 тис. км доріг. Повністю оцінити вартість шкоди заподіяної транспортній інфраструктурі

та навколишньому середовищу можливо буде лише після завершення невинуватеної війни росії проти українського народу.

Перспективи дослідження. Застосування кіберфізичної системи в транспорті дозволить забезпечити взаємодію всіх учасників дорожнього руху між собою та транспортною інфраструктурою загалом та дозволить вирішити наступні завдання: інформувати учасників руху про дорожні умови; здійснювати управління рухом транспортних засобів; визначати завантаженість транспортними засобами вулично-дорожньої мережі; здійснювати моніторинг умов руху транспортних засобів у реальному часі; проводити оптимізацію алгоритмів керування світлофорними об'єктами; здійснювати моніторинг якості атмосферного повітря в режимі реального часу та при цьому забезпечити достатній рівень екологічної безпеки функціонування автодорожньої інфраструктури.

Література

1. Екологічна безпека та економіка : монографія / М. І. Сокур, В. М. Шмандій, Є. К. Бабєць, В. С. Білецький, І. Є. Мельнікова, О. В. Харламова, Л. С. Шелудченко. – Кременчук, ПП Щербатих О. В., 2020. 240 с.
2. Борисов О. О., Кофанов О. Є. Екологічне навантаження з боку автотранспортних потоків на придорожні території рекреаційного призначення. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. № 4. С. 124–133.
3. Вознюк С. В. Аналіз впливу дорожньо-транспортного комплексу на придорожній ландшафт. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологічний стан і здоров'я жителів міських екосистем. Горбуновські читання». Чернівці: «Місто», 2015. С. 44–46.
4. Борисов О. О., Кофанова О. В. Проблеми вторинної міграції хімічних елементів – інгредієнтів викидів автотранспортних засобів на придорожніх рекреаційних територіях міст. Екологічні науки, 2019. Вип. 1(924). Т. 1. С. 17–21.
5. Мнацаканян В. Г., Мнацаканян М. С. Екологічна безпека транспортних систем індустріального центру на основі методів імітаційного моделювання. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 29 (68). Ч. 1. № 1. Київ, 2018. С. 191–196.
6. Шелудченко Л. С. Дослідження матеріального балансу “пальне – викиди”. Склад та обсяги шкідливих викидів, які продукуються автотранспортними потоками. Наук.-техн. журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування». Вип. № 2 (16) – ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2017. С. 133–140.
7. Шелудченко Л. С., Чинчик О. С., Поліщук Д. В. Функціональні ознаки автотранспортного потоку та шляхи забезпечення екологічної безпеки природних територій. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки Том 29 (68) № 4, 2018. Частина 2, Київ, 2018. С. 163–167.
8. Dusan Jolovic, Aleksandar Stevanovic, Soheil Sajjadi, Peter T. Martin, 2016. Assessment of Level-Of-Service for Freeway Segments Using HCM and Microsimulation Methods, ISEHP 2016. International Symposium on Enhancing Highway Performance, Transportation Research Procedia, 15 (2016) 403–416.
9. Shi Jianjuna, Wu Xub, Guan Jizhenc, Chen Yangzhoua, 2013. The analysis of traffic control cyber-physical systems, 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013), Procedia – Social and Behavioral Sciences, 96 (2013) 2487–2496.