

## ТЕХНОЕКОЛОГІЯ

УДК 629.015: 625.7 (07)

*Л. С. Шелудченко*  
*Подільський державний*  
*аграрно-технічний університет*

### ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА АВТОДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ, ЯК ВІДКРИТОЇ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

На підставі аналізу відкритої термодинамічної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” встановлено, що для обмеження впливу автотранспортного комплексу на природно-техногенну геоекосистему необхідно мінімізувати інтенсивність переносу координат стану (узагальнених зарядів) термодинамічної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” за межі контрольної поверхні цієї системи, яка в даному випадку визначена границею резервно-технологічної смуги автомобільної дороги. Встановлено екологічну доцільність створення двобічних геохімічних бар’єрів в межах резервно-технологічних смуг автодоріг у вигляді газо-пилізахисних лісосмуг.

**Ключові слова:** термодинамічна система, автотранспортний потік, мережа автомобільних доріг, лісовий масив, газо-пилізахисна лісосмуга.

On the basis of the analysis of the open thermodynamic system "road network - motor transport flow" it was established that in order to limit the influence of the motor transport complex on the natural and technogenic geoecosystem, it is necessary to minimize the intensity of the transport of the coordinates of the state (generalized charges) of the thermodynamic system "road network - motor transport flow" beyond the control surface of this system, which in this case is determined by the boundary of the reserve and technological lane of the highway. The ecological expediency of creation of bilateral geochemical barriers within the limits of the reserve technological bands of highways in the form of gas-dust protection forest bogs is established.

**Key words:** thermodynamic system, motor transport, network of highways, forest, gas-dust protection forest belt.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв’язок із важливими практичними завданнями.** З точки зору системного термодинамічного аналізу динаміки процесів енерго-масопереносу, система мережі автомобільних доріг є відкритою термодинамічною системою, для якої відбувається обмін енергією і речовиною з навколишнім середовищем, а отже закон неспадання ентропії  $S$  (другий закон термодинаміки) є несправедливим, як для системи, що перебуває у стані далекому від стану макроскопічної рівноваги. Надходження енергії до автодорожньої мережі у вигляді хімічної енергії палива автотранспортних засобів і зумовлює, в першу чергу, синергетичні процеси організації автотранспортних потоків [1, 3, 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв’язок даної проблеми.** Макроскопічний стан термодинамічної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” в певний момент часу визначається  $n$  параметрами стану залежності поміж  $n+1$  термодинамічних параметрів як [2, 4]:

$$f(Z_1, Z_2, \dots, P_i, E_i, \dots, Z_n, Z_{n+1}) = 0, \quad (1)$$

де  $Z$  – узагальнені координати або потенціали термодинамічної системи;

$P$  – потенціали системи, які є однозначними функціями координат  $E$  стану системи:

$$P_i = \varphi'(E_1, E_2, \dots, E_n), \quad (2)$$

і навпаки,  $E$  – координати стану системи однозначно визначаються через їх потенціали:

$$E_i = \varphi''(P_1, P_2, \dots, P_n). \quad (3)$$

В рівнянні (1) величини  $Z$  можуть бути як координатами, так і потенціалами термодинамічної системи, але як мінімум одна з пар  $Z$ , а саме  $P_i, E_i$  має бути суміщеною. Рівняння (1), (2), (3) визначають, що різниця потенціалів  $P$  по обидва боки контрольної поверхні системи призводять до зміни координат  $E$  стану системи і тому, по суті є рушійними силами динамічних змін стану системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. При цьому під категорією “контрольна поверхня системи” розуміємо умовну граничну поверхню на якій відбувається зміна величини потенціалів  $P$ , які мігрують в систему ззовні і в зворотному напрямку з системи в навколишнє середовище [2].

**Виділення раніше невирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Зміна внутрішньої енергії системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”, яка відбувається з одного боку в результаті хімічних реакцій спалювання автотранспортними засобами палива, що призводить до виконання механічної роботи руху автотранспортних потоків, а з іншого – зумовлена процесами енерго-масопереносу через контрольну поверхню за межі розглядуваної системи (за межі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги), призводить до зміни потенціалів  $P$  по обидва боки контрольної поверхні системи. Якщо сукупність координат стану системи  $E$  виразити через певний узагальнений заряд  $U$  як:

$$U = \varphi'''(E_1, E_2, \dots, E_n), \quad (4)$$

то значення  $U$  є по-суті внутрішньою енергією системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”.

В результаті переносу зарядів через контрольну поверхню системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” відбувається зміна внутрішньої енергії системи, яка вимірюється добутком різниці потенціалів  $P$  на величину перенесеного заряду. Цей добуток є узагальненою роботою функціонування системи. Елементарна кількість роботи  $dA$  буде:

$$dA = P \cdot dE, \quad (5)$$

де  $P$  – різниця потенціалів;

$dE$  – перенесений заряд.

В залежності від знаку  $P$  та  $dE$  визначається і знак  $dA$ .

Робота не є властивістю системи, а характеризує лише процес переносу заряду через контрольну поверхню системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. Як тільки припиняється процес переносу заряду, припиняється і виконання роботи. Тому, при застосуванні позначення  $dA$ , воно розглядається не як диференціал  $A$ , не як приріст  $A$ , а лише як деяку елементарну кількість виконуваної роботи.

**Формулювання мети статті.** Встановити основні критерії та принципи екологічно безпечної ландшафтної організації комунікаційної системи мережі автомобільних доріг з урахуванням особливостей рельєфу території смуги впливу автодороги, наявностей лісових масивів, напрямів водотоків та контурів берегів поверхневих водних об’єктів тощо.

**Виклад основного матеріалу.** Диференціальне рівняння стану системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” в нашому випадку ( $dU$  – приріст внутрішньої енергії системи) буде:

$$dU = P \cdot dE. \quad (6)$$

При цьому швидкість  $V_{E_i}$  зміни координати стану (узагальненого заряду) системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” – це потік цієї координати (заряду). Потік заряду і різниця потенціалів, яка викликає цей потік є спряженими величинами. За Л. Онзагером – потік є похідною параметру стану системи (узагальненого заряду):

$$V_{E_i} = \dot{E}. \quad (7)$$

При цьому, система яка перебуває в стані динамічної рівноваги з навколишнім середовищем може розглядатись як ізольована внаслідок усталеності  $\Delta P$ , що підтримує стабільність (незмінюваність) координат  $E$  стану системи, тобто  $E_i = const$ .

З точки зору захисту природно-техногенної геоекосистеми від впливу автодорожньої мережі необхідно мінімізувати перенос зарядів  $dE_i$ , які визначають структуру та обсяги шкідливих викидів, за межі контрольної поверхні системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” (в даному випадку – за межі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги). Разом із цим, необхідно враховувати, що до системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” безперервно надходить із зовнішнього середовища деяка маса речовини у вигляді маси палива, яке споживається автотранспортним потоком і перетворюється в енергію з приростом  $dU$ . Безперервний відтік зарядів  $dU_i$  в навколишнє середовище призводить до невинного зростання ентропії  $S$  природно-техногенної геоекосистеми в цілому.

Таким чином, виходячи з вище викладеного походить, що застосування будь-яких систем інженерного захисту автодорожньої мережі в жодному разі не дозволяє ізолювати (відокремити) підсистему “автодорожня мережа – автотранспортний потік” від природно-техногенної геоекосистеми.

Очевидно, що у випадку, коли на певній визначеній ділянці автомобільної дороги відбувається синхронізація колективного руху автотранспортних засобів [7], в системі “автодорожня мережа – автотранспортний потік” відбувається процес самоорганізації [5], який виявляється у зрівноваженості характеристики інтенсивності  $q$  автотранспортного потоку. В цьому випадку маємо розглядати координату стану системи  $E_{палива}$  як таку, що є заданою частиною розглядуваної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”. Тобто, приріст  $dU_{палива}$  з зовнішнього середовища до системи відсутній ( $E_{палива}$  є ознакою системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”). Це твердження базується на висновку Г. Хакена про те, що “довготривалі системи підпорядковують собі системи з коротшим періодом існування” [5].

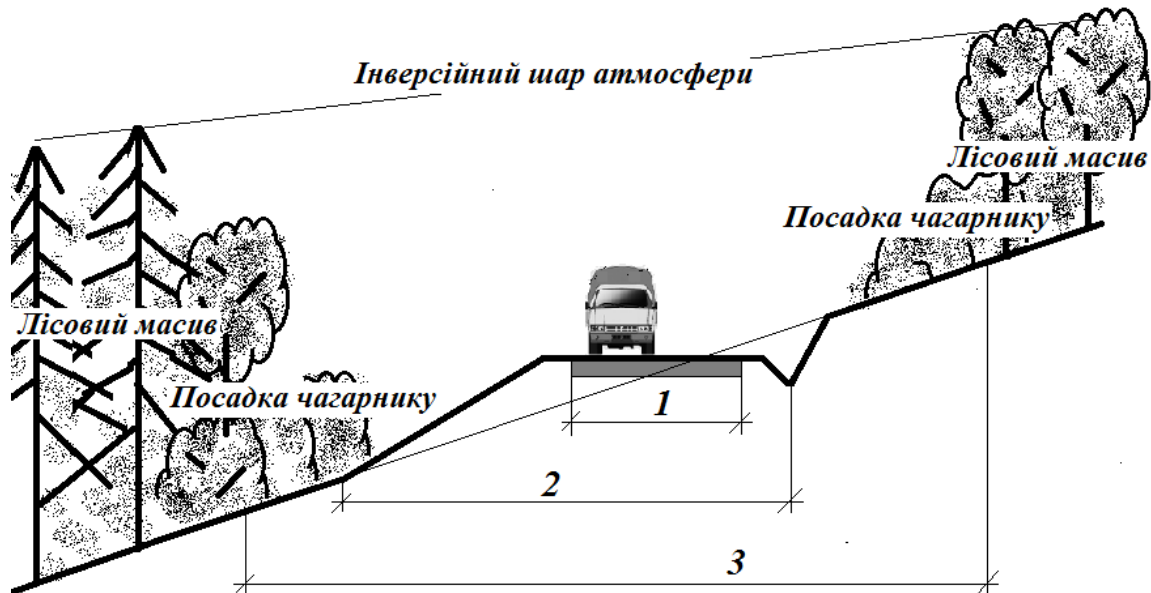
Отже, система “автодорожня мережа – автотранспортний потік” має розглядатися як така, для якої обмін зарядами  $dU_i$  з навколишнім середовищем через контрольну поверхню відбувається виключно через процеси масообміну (міграції) викидів, які продукуються автотранспортним потоком.

Таким чином, максимально можливий захист природно-техногенної системи від газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортним потоком, має передбачати наявність такої контрольної поверхні системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”, яка б задовольняла умові мінімізації потоку  $dU_i$  за межі резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.

При цьому, як оптимальне рішення щодо конструкції такої контрольної поверхні, має розглядатись варіант в якому було б максимально використано природні ландшафтні об'єкти природно-територіального комплексу (особливості рельєфу території смуги впливу автодороги, наявність лісових масивів, напрям водотоків та контури берегів поверхневих водних об'єктів тощо) [6].

**Реалізація результатів досліджень.** Найхарактернішими прикладами використання елементів природного ландшафту, як контрольної поверхні системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” є ділянки автомобільних доріг, які перетинають лісові масиви.

За результатами картографічного оцінювання встановлено, що при загальній залісненості території України 15,9% [7], протяжність автомобільних доріг, які лежать в межах лісових масивів, є безпосередньо дотичними (суміщеними) до них, або перетинають ці масиви, становить близько 1,5% (без урахування протяжності газо-пилрозахисних лісосмуг автодоріг). Це, в першу чергу такі автомобільні дороги міжнародного значення як: М01 (Е95), М02 (Е101, Е391), М06 (Е40, Е471), М07 (Е373), М08, М09 (Е372), М10, М11, М12 (Е50), М23 (Е58, Е81) тощо. Приклад поперечного профілю автомобільної дороги, яка розташована в межах лісового масиву, наведено на рис.1.



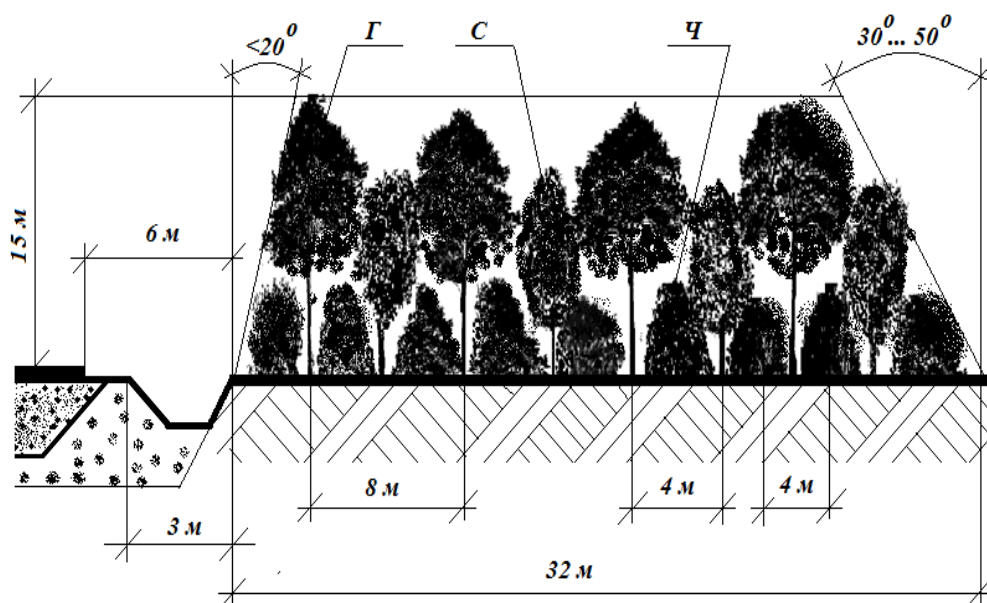
**Рис. 1.** Поперечний профіль автомобільної дороги, яка розташована в лісовому масиві: 1 – проїжджа частина, 2 – земляне полотно, 3 – резервно-технологічна смуга

Конструкційним розвитком найефективнішого (з точки зору захисту природно-техногенної геоекосистеми від впливу автотранспортної мережі) ландшафтного варіанту комунікаційної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік”, яка передбачає прокладення траси автомобільної дороги за межами лісового масиву, є варіант створення штучних лінійно-двобічних геохімічних бар’єрів у вигляді газо-пилрозахисних деревно-чагарникових лісосмуг, як складової частини інженерної інфраструктури автомобільно-комунікаційного комплексу.

При цьому конструкція лісової газо-пилрозахисної смуги, яка визначена характеристиками відповідних транспортних потоків (щільність та інтенсивність потоку і його когерентна швидкість), а також відповідною категорією автодороги, за своїми фрактально-інваріантними ознаками має бути узгоджена з фрактально-інваріантними ознаками ландшафту природно-техногенної геоекосистеми, що забезпечує мінімізацію трансформаційних змін природно-територіального комплексу регіонів з розвиненими мережами автомобільних доріг.

Приклад конструкції профілю поперечного перерізу такої газо-пилрозахисної лісосмуги ізолюючого типу, структура якої складається з дерев головної та супутньої порід і чагарнику, для автомобільних доріг категорій 1-а та 1-б наведено на рис.2.

**Висновок.** Встановлено, що для обмеження впливу автотранспортного комплексу на природно-техногенну геоекосистему необхідно мінімізувати інтенсивність переносу координат стану (узагальнених зарядів) термодинамічної системи “автодорожня мережа – автотранспортний потік” за межі контрольної поверхні цієї системи, яка в даному випадку визначена границею резервно-технологічної смуги автомобільної дороги.



**Рис. 2. Фрагмент проектної документації на закладення газо-пілозахисної лісосмуги автомобільної дороги категорії 1-а, 1-б (профіль поперечного перерізу лісосмуги): Г – головна деревна порода, С – супутня деревна порода, Ч – чагарник**

### Література

- 1 Внукова Н.В. Вплив автомобільних доріг на екобезпеку комплексу “автомобіль – дорога – середовище” / Н.В. Внукова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – №5/3(53). – С. 43-46.
- 2 Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. – М.: Изд. лит. по строительству, 1971. – 368 с.
- 3 Озарків І.М. Основи аеродинаміки і тепломасообміну / І.М. Озарків, Л.Я. Сорока, Ю.І. Грицюк – К.: ІЗМН, 1997. – 280 с.
- 4 Путилов К.А. Термодинамика / К.А. Путилов. – М.: Наука, 1971. – 376 с.
- 5 Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Издательство «Мир», 1980. – 404 с.
- 6 Шелудченко Б.А. Вступ до конструювання природно-техногенних геоекосистем (ландшафтно-територіальний аспект) / Б.А. Шелудченко. – Кам’янець-Подільський: Вид-во ПДАТУ, 2014. – 170 с.
- 7 Шелудченко Л.С. Обґрунтування еколого-ландшафтних параметрів та розроблення конструкцій газо-пілозахисних смуг автодорожньої мережі: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01. / Л.С. Шелудченко. – Кам’янець-Подільський, 2013. – 181с.

© Л. С. Шелудченко

*Надійшла до редакції 05 лютого 2018 р.  
Рекомендував до друку  
докт. техн. наук Л. І. Челядин*