

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОЗНАКИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Шелудченко Л. С.¹

¹Подільський державний аграрно-технічний університет

Анотація. На підставі критерію неперервності кусочно-лінійної функції режимів руху автотранспортних засобів встановлено мінімальні значення щільності, інтенсивності та швидкості, за яких колективний рух фізичних одиниць автотранспорту набуває характерних ознак синхронізованого автотранспортного потоку.

Ключові слова: автотранспортний потік, синхронізація, функціональні ознаки, кусочно-лінійна функція.

Вступ

Загалом, категорія “автотранспортний потік” визначається як множина (C) автотранспортних засобів, які беруть участь у спільному русі вздовж деякої ділянки автомобільної дороги і характеризуються такими фізичними ознаками як габарит (L) автотранспортного засобу, його динамічний габарит (LD), інтервал руху (I) та напрямок руху, протилежно напрямлені підмножини (C_1 і C_2) транспортних засобів тощо [2, 3, 6].

Рух автотранспортного засобу в складі автотранспортних потоків значно відрізняється від руху відокремленого (одиночного) транспортного засобу, що зумовлює зміну навантажувально-швидкісних режимів роботи двигунів, а отже і показників витрат палива та, як наслідок, обсягів викидів шкідливих речовин [5, 6], які продукуються потоками цих автотранспортних засобів.

Аналіз публікацій

Основними чинниками, які спричиняють вплив автотранспортних потоків на навколишнє середовище є: склад і структура автотранспортних засобів у потоці, швидкість, навантажувальний режим, інтенсивність і щільність руху, технічний стан і експлуатаційні властивості окремих фізичних одиниць потоку, хімічний склад використовуваних палив, експлуатаційний стан автомобільної дороги, обсяги і номенклатура транспортованих вантажів тощо [2, 6].

Окрім суто технічних чинників автотранспортного потоку, визначальним чинником міграційних процесів забруднювачів в межах природно-техногенної геоекосистеми (смуги впливу автомобільної дороги) є експлуатаційні характеристики як окремих резервно-технологічних смуг автомобільних доріг, так і

всієї інфраструктури автотранспортної мережі цілому [1]. До цих характеристик необхідно віднести: показник автотранспортної ємності території природно-техногенної геоекосистеми, ландшафтні особливості трасування та конструкційні параметри автомобільної дороги, її технічний стан (в тому числі за показником пошкодження дорожнього покриття) та її експлуатаційні показники, відповідність щодо рівня інтенсивності автотранспортного потоку і питомого навантаження на дорожнє покриття, наявність газо-пилозахисної інфраструктури в межах резервно-технологічної смуги, локальну варіативність (деформацію) усталеного функціонального стану автотранспортного потоку на ділянках автомобільної дороги з особливими умовами руху (перехрестя та вузли автотранспортної мережі, спуски-підйоми, серпантини, тунелі, мостові переходи, екодуки тощо) [1, 5, 6].

Таким чином розроблення заходів, які передбачали б зниження впливів сукупності автотранспортних засобів та автодорожньої мережі на природно-техногенні геоекосистеми неможливе без формалізації основних фізичних характеристик когерентного руху автотранспортних засобів у складі потоків, а отже і без встановлення функціональних ознак категорії “автотранспортний потік”.

Формулювання мети статті

Метою даної статті є визначення основних функціональних ознак потоків автотранспортних засобів на підставі їх фізико-динамічних та транспортно-експлуатаційних характеристик.

Функціональний аналіз колективного руху автотранспортних засобів

Розглянемо фрагмент потоку автотранспор-

ртних засобів, як спрямовану сукупність (деяку динамічну множину (C) автотранспортних засобів) на певній ділянці автомобільної дороги (вздовж осі x - x). Підмножини (C_1 і C_2) множини (C) рухаються в протилежних напрямках (рис.1). При цьому вважаємо, що внесок підмножин C_1 і C_2 однаковий і дорівнює кількості частки їх по довжині, які припадають на ділянку A_x - B_x автомобільної дороги. Позначимо цю кількість автотранспортних засобів через $R(t, x_{A-B})$.

Оскільки кожний транспортний засіб з множини $R(t, x_{A-B})$ визначений певним дійсним числом на заданому інтервалі, то функція $R(t, x_{A-B})$ неперервна за t , є гладкою, а отже має кусочно-неперервні похідні першого і другого порядків. Таким чином $R(t, x_{A-B})$ є кусочно-лінійною по t (за умови усталеної швидкості потоку автотранспортних засобів) [4, 7].

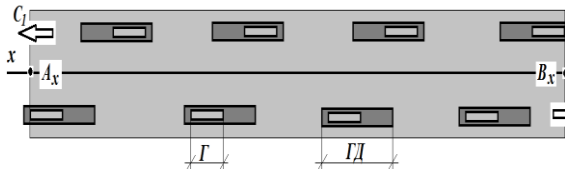


Рис.1. Фрагмент автотранспортного потоку, підмножини (C_1 і C_2) якого рухаються вздовж x - x

В цьому випадку основні транспортно-експлуатаційні характеристики потоку можуть бути визначені як:

– інтенсивність автотранспортного потоку:

$$\frac{\partial R}{\partial t} = q(t, x) \quad (1)$$

– щільність автотранспортного потоку:

$$\frac{\partial R}{\partial x} = \rho(t, x) \quad (2)$$

Звідси швидкістю автотранспортного потоку є функція:

$$V(t, x) = \frac{q(t, x)}{\rho(t, x)} \quad (3)$$

Якщо швидкість V автотранспортного потоку є відомою функцією його щільності ρ , отримуємо:

$$V = f(\rho) \quad (4)$$

Будемо вважати вираз (4) функцією стану потоку автотранспортних засобів. Тому:

$$q(t, x) = \rho(t, x) \cdot f[\rho(t, x)] \quad (5)$$

а також:

$$\frac{\partial R}{\partial t}(t, x) = \frac{\partial R}{\partial x}(t, x) \cdot f[\rho(t, x)] \quad (6)$$

Відповідно (6) необхідно розрізняти три основних режими руху автотранспортних засобів:

– вільний рух – характеризується малими інтенсивностями, відсутністю взаємних перешкод поміж окремими автотранспортними засобами і відповідною швидкістю V_c . Незначна щільність автотранспортних засобів зумовлює нещільну кореляцію поміж V_c та ρ ;

– колективний рух (колективний потік) – визначається зростанням щільності ρ потоку автотранспортних засобів. В цьому випадку колективна швидкість V_k автотранспортних засобів визначається проектною пропускну здатністю автодороги. Кореляційний зв'язок поміж V_c та ρ є достатньо щільним;

– насичений (синхронізований або певною мірою “когерентний”) потік – характеризується суттєвим взаємовпливом окремих автотранспортних засобів, швидкість автотранспортного потоку V_n тісно корелює з інтенсивністю q та щільністю ρ . Характерною рисою синхронізованого, “когерентного” автотранспортного потоку є несуттєве варіювання значення середньої швидкості потоку. Визначального значення, в цьому випадку, набуває технічний та транспортно-експлуатаційний стани автомобільної дороги.

Термін “когерентність” застосовано в даному випадку, як певну модельну ознаку потоку автотранспортних засобів, яка має визначати корельований в часі і у просторі ймовірнісний, усталений (на певній ділянці автомобільної дороги) процес синхронного руху автотранспортних засобів з постійними характеристиками інтенсивності q , щільності ρ та швидкості V_n автотранспортного потоку. При цьому, обов'язково має бути визначена відстань ділянки автомобільної дороги, на якій і зберігається когерентність, тобто “довжина когерентності” автотранспортного потоку.

Результати функціонального аналізу когерентності колективного руху автотранспортних засобів

Для подальшого аналізу режимів колективного руху автотранспортних засобів у складі автотранспортних потоків узгоджуємо відповідність розрахункової інтенсивності q потоку з технічною класифікацією автомобільних доріг за ДБН В.2.3-4:2007 С.77.

Представивши значення щільності ρ , інтенсивності q та характерної (“когерентної”) швидкості V сукупності автотранспортних засобів на фрагменті A_x-B_x автомобільної дороги (рис.1), відповідно ДБН В.2.3-4:2007 С.77, в основних одиницях SI (метр, секунда), функція стану автотранспортного потоку (4) може бути представленою у матричній формі у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Функціональні ознаки стану автотранспортних потоків

Категорія автомобільної дороги	Швидкість автотранспортного потоку, м/с	Інтенсивність потоку, 1/с	Щільність потоку, 1/м
1-а	41	> 0,17	> 0,005
1-б	38	> 0,17	> 0,004
2	33	0,17	0,005
3	27	0,07	0,003
4	25	0,03	0,001
5	25	0,003	0,0001

Якщо визначити категорію автомобільної дороги деяким бальним показником K , який набуває значень $K = 1a; 1б; 2; 3; 4; 5$ (категорійність автомобільних доріг за ДБН В.2.3-4:2007 С.77) і враховуючи кусочно-лінійний характер функцій (3) і (4) відповідно до числових значень матриці, які наведено в таблиці 1, може бути побудована поверхня відгуку для основних характеристик автотранспортних потоків в координатах $K-\rho-q$ (рис.2).

Графічний аналіз висхідного лівостороннього тренду значень q та ρ поверхні відгуку (рис. 2) в напрямку зворотному зростанню координати K чітко визначає характерні координати деякої площини Φ , яка відокремлює режим вільного руху автотранспортних засобів від колективного та синхронізованого “когерентного” руху автотранспортних потоків [4, 7].

Координати цієї площини за значеннями q та ρ становлять:

$$\begin{cases} q = 0,035 [1/с] \\ \rho = 0,0021 [1/м] \end{cases} \quad (7)$$

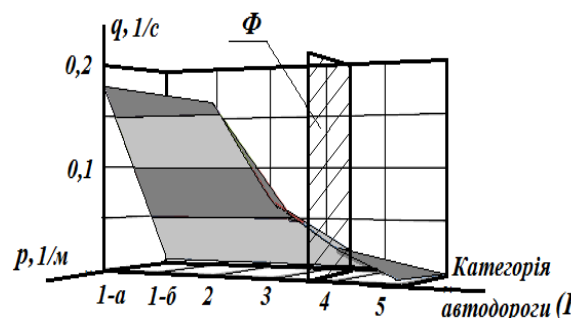


Рис. 2. Поверхня відгуку функціональних ознак стану автотранспортних потоків в координатах: категорія автодороги (K) ~ щільність автотранспортного потоку (ρ) ~ інтенсивність автотранспортного потоку (q)

Наведені в (7) значення інтенсивності q та щільності ρ автотранспортного потоку визначають мінімальну швидкість V автотранспортних засобів, за якої відбувається перехід від вільного руху до колективного та синхронізованого “когерентного” потоків, яка відповідно до (3) становитиме:

$$V = \frac{q}{\rho} = \frac{0,035}{0,002} = 17,5 [м/с] \quad (8)$$

Мінімальні значення швидкості V , інтенсивності q та щільності ρ , за яких характер руху автотранспортних засобів набуває ознак колективного руху з подальшою синхронізацією автотранспортного потоку, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Мінімальні значення щільності ρ , інтенсивності q та швидкості V , за яких автотранспортний потік набуває характерних ознак

Інтенсивність автотранспортного потоку, авт./добу	Щільність автотранспортного потоку, авт./км	Швидкість автотранспортного потоку, км/год.
3024	2,1	63,0

Аналіз даних за показниками інтенсивності q , щільності ρ та швидкості V автотранспортних потоків, які наведено в таблиці 2, свідчить про те, що лише автомобільні дороги категорій 1-а, 1-б, 2 і 3 можуть бути віднесені, в строгому розумінні, до автодоріг на яких відбувається колективний синхронізований “когерентний” рух автотранспортних засобів у складі автотранспортних потоків (відповідно до ДБН В.2.3-4:2007 С.77 “Споруди транспорту. Автомобільні дороги”).

Отримані результати щодо мінімальної

межі характерних ознак автотранспортного потоку (за ознаками щільності ρ , інтенсивності q та характерної “когерентної” швидкості V сукупності автотранспортних засобів) достатньою мірою корелюють з результатами розрахунків категорії небезпечності автомобільних доріг, як об’єктів господарської діяльності у відповідності до вимог галузевих будівельних норм України ГБН В.2.3-218-007:2012 “Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування”.

Висновки

Мінімальне значення інтенсивності руху автотранспортних засобів, за якого режим вільного руху сукупності фізичних автотранспортних одиниць набуває ознак колективного синхронізованого (“когерентного”) руху в складі автотранспортного потоку становить 3×10^3 авт./добу, що відповідає нормованим значенням інтенсивності руху для автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2, 3.

Встановлені за результатами функціонального аналізу основні фізико-динамічні та транспортно-експлуатаційні ознаки колективного руху автотранспортних засобів в складі автотранспортних потоків дозволяють суттєво уточнити показники екологічної безпеки автотранспортних мереж, які визначені проектом ОВД та розробити заходи, які передбачають зниження рівнів впливів сукупності автотранспортних засобів та автодорожньої мережі на природно-техногенні геоекосистеми.

Література

1. Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.
2. Внукова Н.В. Аналіз та прогнозування європейських екологічних норм для автомобільного транспорту та аналогічні нормативи в Україні / Н.В. Внукова, М.А. Подригало, А.В. Калініченко, А.І. Коробко // *Екологія и промышленность*. – 2010. – № 1(22). – С. 4-9.
3. 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.
4. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике / В.Н. Глазунов. – М.: Речной транспорт, 1999. – 150 с.
5. Дзенис П.Я. Пространственное проектирование автомобильных дорог / П.Я. Дзенис, В.Р. Рейнфельд. – М.: Транспорт, 1968. – 112 с.
6. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко;

[Под ред. В.Н. Луканина]. – М.: Высш. шк., 2001. – 273 с.

7. Завало С.Т. Элементы анализа. Алгебра многочленов / С.Т. Завало. – К.: Радянська школа, 1972. – 462 с.

References

1. Babkov V.F. Landshaftnoye proyektirovaniye avtomobil'nykh dorog / V.F. Babkov. – M.: Transport, 1980. – 189 s.
2. Vnukova N.V. Analiz ta prohozuvannya yevropeys'kykh ekolohichnykh norm dlya avtomobil'noho transportu ta analohichni normatyvy v Ukrayini / N.V. Vnukova, M.A. Podryhalo, A.V. Kalinichenko, A.I. Korobko // *Ékolyhyya y promyshlennost'*. – 2010. – № 1(22). – S. 4-9.
3. Vnukova N.V. Vplyv avtomobil'nykh dorih na ekobezpeku kompleksu “avtomobil' – doroha – seredovyshche” / N.V. Vnukova // *Skhidno-Yevropeys'ky zhurnal peredovykh tekhnolohiy*. – 2011. – №5/3(53). – S. 43-46.
4. Glazunov V.N. Parametricheskiy metod razresheniya protivorechiy v tekhnike / V.N. Glazunov. – M.: Rechnoy transport, 1999. – 150 s.
5. Dzenis P.YA. Prostranstvennoye proyektirovaniye avtomobil'nykh dorog / P.YA. Dzenis, V.R. Reynfel'd. – M.: Transport, 1968. – 112 s.
6. Lukanin V.N. Promyshlenno-transportnaya ekologiya / V.N. Lukanin, YU.V. Trofimenko; [Pod red. V.N. Lukanina]. – M.: Vyssh. shk., 2001. – 273 s.
7. Zavalo S.T. Elementy analizu. Alhebra mnohochleniv / S.T. Zavalo. – K.: Radyans'ka shkola, 1972. – 462 s.

Шелудченко Леся Сергіївна¹, к. т. н., доц., +380982337273, e-mail: seludcencoleca@gmail.com, ¹Подільський державний аграрно-технічний університет, вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., Україна, 32300

Functional characters of the motor vehicle flow

Abstract. *The development of measures to reduce the impact of road traffic and road network on natural-technogenic geo-ecosystems is impossible without formalizing their main transport-operational characteristics. The purpose of the article is to determine the main functional features of motor transport flows. Methodology. Functional analysis of sets as a piecewise-linear function of a dynamical flow. Results. It is established that the minimum value of traffic intensity of vehicles, in which their free movement mode acquires the signs of collective synchronous (“coherent”) traffic in the composition of the autotransport flow is 3×10^3 aut./day, which corresponds to the normalized values for highways categories 1-a, 1-b, 2, 3. Practical significance. The main physico-dynamic and transport-operational characteristics of the collective movement of vehicles in the structure of motor transport flows, established*

on the basis of the results of the functional analysis, make it possible to significantly improve the indicators of the ecological safety of motor transport networks and develop measures to reduce the levels of influence of the motor transport complex on the near-technogenic geoecosystems.

Key words: motor flow, synchronization, functional properties, piecewise linear function.

Sheludchenko Lesya S.¹, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., +380982337273, seludcencoleca@gmail.com

¹State Agrarian and Engineering University in Podilya

Функциональные признаки автотранспортного потока

Аннотация. Разработка мероприятий, предусматривающих снижение влияния автотранспортных потоков и автотранспортной сети на природно-техногенные геосистемы невозможно без формализации основных их транспортно-эксплуатационных характеристик. **Целью** статьи является определение основных функциональных признаков автотранспортных потоков. **Методология.** Функциональный анализ множеств, как кусочно-линейной функции динамического потока. **Результаты.** Установлено, что минимальное значение интенсивности движения

автотранспортных средств, при котором режим их свободного движения приобретает признаки коллективного синхронного (“когерентного”) движения в составе автотранспортного потока составляет 3×10^3 авт./сутки, что соответствует нормированным значениям для автомобильных дорог категорий 1-а, 1-б, 2, 3. **Практическое значение.** Установленные по результатам функционального анализа основные физико-динамические и транспортно-эксплуатационные признаки коллективного движения автотранспортных средств в составе автотранспортных потоков позволяют существенно уточнить показатели экологической безопасности автотранспортных сетей и разработать мероприятия по снижению уровней влияния автотранспортного комплекса на природно-техногенные геосистемы.

Ключевые слова: автотранспортный поток, синхронизация, функциональные свойства, кусочно-линейная функция.

Шелудченко Леся Сергеевна¹, к.т.н., доц., +380982337273, seludcencole-ca@gmail.com,

¹Подольский государственный аграрно-технический университет, ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Хмельницкая обл., Украина, 32300