

doi: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-3-7

УДК 629.341

СИНХРОНІЗАЦІЯ ДИНАМІКИ КОЛЕКТИВНОГО РУХУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У ВУЗЛАХ АВТОТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

Б. А. Шелудченко¹, Ю. І. Тростенюк², С. М. Кухарець¹,
П. М. Забродський¹, В. І. Котков¹, О. Б. Плужніков¹
e-mail: sheludchenkobogdan@ukr.net

¹Житомирський національний агроекологічний університет
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

²Житомирський державний технологічний університет,
вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10002

Встановлено, що розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів у складі транспортних потоків на ділянках з особливими умовами руху призводить до порушення когерентності цих потоків, що зумовлює не лише зниження рівнів безпеки транспортно-технологічного процесу, але і інтенсифікації емісії аерозолів газо-пилових викидів, які продукуються автотранспортними потоками. За результатами досліджень, які проводилися на підставі методів аналітичної геометрії на площині та з урахуванням топологічних особливостей алгебраїчних функцій, якими описувалися траєкторії градієнтів руху потоків автотранспортних засобів, розроблено топологічні параметри та двомірні графічні моделі можливих варіантів транспортно-технологічної оптимізації автодорожньої мережі у вузлах перехрещення автотранспортних потоків. Визначено розміри мінімально допустимої ширини проїжджої частини у вузлах автодорожньої мережі для автотранспортних потоків залежно від інтенсивності руху по автомобільних дорогах різних категорій. Відповідно, запропонована оптимізація конструкційних параметрів автодорожньої мережі у вузлах перехрещення автотранспортних потоків передбачає можливість синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у складі транспортних потоків що забезпечує стабілізацію виконання транспортно-технологічних операцій і, як наслідок, підвищує загальний рівень безпеки автотранспортного комплексу.

Ключові слова: автотранспортний потік, вузли перехрещення автотранспортних потоків, синхронізація, особливі умови руху, траєкторія, гіпербола, еліпс, топологія.

Постановка проблеми

До специфічних ділянок автомобільних доріг з особливими умовами руху мають бути віднесені всі ділянки, на яких відбувається розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів у складі транспортних потоків. Зокрема, це, в першу чергу, вузли автотранспортної мережі, де відбувається перехрещення декількох автотранспортних потоків, різного роду “серпантини” і звивисті ділянки автодоріг, зумовлені фрактальними [5] особливостями мезорельєфу, що визначає рух автотранспортних потоків у так званих “шпильках”, а також, певною мірою, лісові ділянки автомобільних доріг, де обмежено візуальне сприйняття дорожніх умов.

Розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів у складі потоків на таких ділянках автомобільних доріг призводить не лише до порушення усталеної роботи двигунів, що збільшує обсяги викидів відпрацьованих газів, але і до інтенсифікації процесів руйнування конструкційних матеріалів автомобільних доріг, що зумовлює підвищення рівнів пилового забруднення придорожніх ландшафтів природно-техногенної геоекосистеми з розвиненою автотранспортною мережею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Характер колективного руху автотранспортних засобів у потоці загалом визначається його швидкістю $V(t, x)$, яка є функцією інтенсивності $q(t, x)$ і щільності $\rho(t, x)$ автотранспортного

потоків [1, 2, 3, 4]. В умовах наближення автотранспортного засобу до вузла автотранспортної мережі зростає ймовірність виконання маневрів окремим автотранспортним засобом, які мають бути розцінені як випадкові події. Відповідно відбувається розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів у потоці, а отже зростає значення дисперсії σ_V^2 швидкості $V(t, x)$ потоку. Найпомітнішою є розсинхронізація колективного руху автотранспортних засобів при перехрещенні двох (або декількох) транспортних потоків, які є сумірними за показниками їх інтенсивності $q(t, x)$ та щільності $\rho(t, x)$. В цьому випадку необхідно розрізнити [2, 4]:

– $V(t, x)$ – синхронізовану просторову швидкість потоку, тобто усереднену швидкість автотранспортних засобів, які перебувають на заданій ділянці автомобільної дороги у визначений момент часу t ;

– V_D – середню миттєву швидкість автотранспортного засобу, тобто усереднену швидкість n автотранспортних засобів, які переміщуються через визначений поперечний переріз автомобільної дороги (в даному випадку через точку перехрещення потоків) за визначений проміжок часу t .

При цьому [3, 4]:

$$V(t, x) = V_D \left[1 + \left(\frac{\sigma_D^2}{V_D^2} \right) \right] \quad (1)$$

З (1) походить, що для забезпечення синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у складі перехрещуваних потоків має бути забезпечено умову:

$$V(t, x) - V_D \quad (2)$$

що досягається при дотриманні:

$$\lim_{V_D \rightarrow V(t, x)} \sigma^2 = 0 \quad (3)$$

Таким чином, синхронізація колективного руху автотранспортних засобів у вузлах автодорожньої мережі забезпечується дотриманням синхронізованої просторової швидкості кожного з потоків, які мають рухатись незалежно один від одного з послідовною дотичною перебудовою траєкторій руху.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою роботи є підвищення рівнів безпеки транспортно-технологічних процесів на ділянках автодорожньої мережі з особливими умовами руху.

Відповідно до поставленої мети визначено такі завдання досліджень:

– розробити топологічну форму внутрішньої зони вузла перехрещення автотранспортних потоків;

– визначити топологічні розміри мінімально допустимої ширини проїжджої частини у вузлах автомобільної мережі для автотранспортних потоків визначеної інтенсивності.

Дослідження виконані на підставі методів аналітичної геометрії на площині з урахуванням топологічних особливостей алгебраїчних функцій, якими описувалися траєкторії градієнтів руху потоків автотранспортних засобів.

Результати досліджень

Розглянемо перехрещення траєкторій mm' та nn' руху автотранспортних потоків під довільним кутом α в деякій прямокутній системі координат xOy (рис.1).

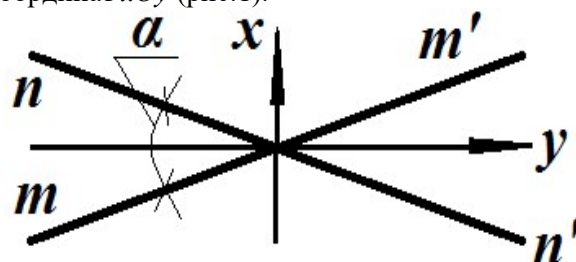


Рис. 1. Траєкторії mm' та nn' руху перехрещуваних автотранспортних потоків на координатній площині xOy

Якщо визначити, що прями mm' та nn' траєкторій руху автотранспортних потоків є асимптотами кривих другого порядку на координатній площині xOy , то відповідно отримуємо сімейство спряжених гіпербол (рис.2), які в загальному випадку описуються рівнянням:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (4)$$

де a та b – дійсна та уявна напівосі гіперболи (рис.3).

Основними характеристиками гіперболи є відрізок FF' , який визначає її фокусну відстань c (точки F та F' – фокуси параболи), а саме $FF' = 2c$; дійсна вісь гіперболи $2a$, яка визначена

точками A та A' , які є вершинами обох гілок гіперболи, тобто $AA'=2a$; уявна вісь гіперболи $BB'=2b$, які пов'язані, відповідно, (4) рівнянням:

$$b^2 = c^2 - a^2 \quad (5)$$

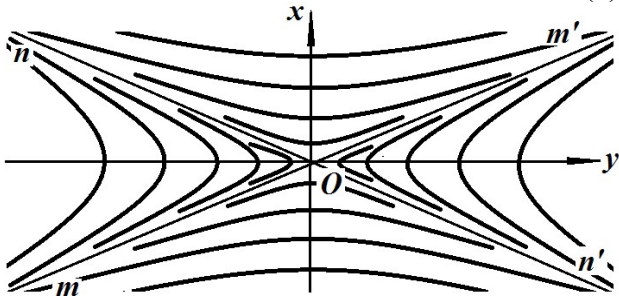


Рис. 2. Сімейство спряжених гіпербол з асимптотами mm' та nn'

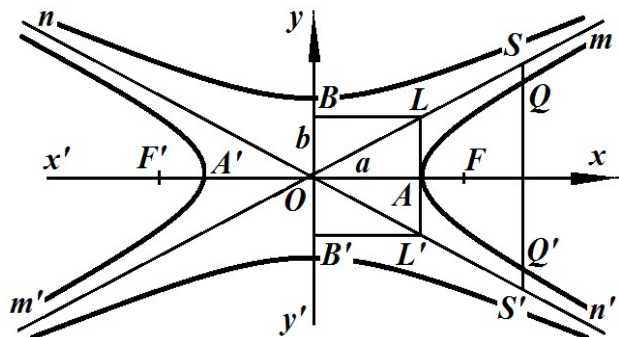


Рис. 3. Геометричні ознаки спряжених гіпербол

При цьому, завжди виконується $c > a$, а гілки гіперболи є симетричними відносно точки O , яка визначає центр гіперболи. Траєкторії напрямків руху автотransпортних потоків mm' та nn' є асимптотами гіперболи, проходять через центр O гіперболи, описуються рівняннями $y=kx$, причому $|k| \geq \frac{b}{a}$, а отже рівняннями асимптот

гіперболи є $y = \frac{b}{a}x$ та $y = -\frac{b}{a}x$. Отже, якщо деяку пряму SS' , яка є паралельною до координатної осі yy' , необмежено віддаляти від центра O гіперболи (вправо або вліво), то відрізки QS та $Q'S'$ поміж гілками гіперболи і траєкторіями mm' та nn' руху автотransпортних потоків будуть необмежено зменшуватися (точки Q та Q' належать прямій SS').

Таблиця 1. Мінімально допустима ширина проїжджої частини у вузлах автомобільної мережі для автотransпортних потоків визначеної інтенсивності q , м

Категорія автодороги (ДБН В.2.3-4:2007)	1а, 1б	2	3
Мінімально допустима ширина проїжджої частини у вузлах перехрещення автотransпортних потоків, м	11,3 (7,5)	11,3 (7,5)	10,5 (7,0)
В дужках наведено значення ширини проїжджої частини в напрямку, який орієнтовано вздовж меншої з осей спряжених гіпербол			

На підставі вищевикладених ознак гіперболи запропоновано варіант (рис. 4) синхронізації колективного руху автотransпортних засобів у вузлі перехрещення для рівнозначних за інтенсивністю q транспортних потоків (наприклад, для автомобільної дороги категорії 2).

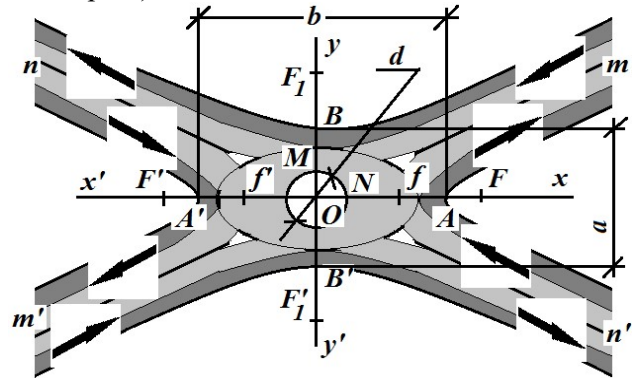


Рис. 4. Перехрещення автотransпортних потоків у вузлах автодорожньої мережі

Форма внутрішньої зони вузла (рис.4) перехрещення автотransпортних потоків визначається еліпсом з фокусами, які розташовано в точках f та f' . Контур (повнота) еліпсу залежить від кута α і у випадку $\alpha = \frac{\pi}{2}$ перетворюється на коло. Для забезпечення максимально можливої синхронізації колективного руху автотransпортних засобів з інтенсивністю q у вузлі автодорожньої мережі визначальними є розміри дійсної $2a$ та уявної $2b$ осей спряжених гіпербол, тобто розміри відрізків NA та MB (рис.4). Розміри NA та MB для автомобільних доріг категорій 1-а, 1-б, 2 і 3 визначається як:

$$NA(MB) = k \cdot s \quad (6)$$

де k – кількість смуг руху;
 s – ширина смуги руху, м.

Розміри проїжджої частини (NA та MB) для автомобільних доріг відповідних категорій обчислені за формулою 6, що наведено в таблиці.

На підставі вищевикладених досліджень портної мережі з варіантами організації запропоновано принципові схеми руху напрямків руху автотранспортних засобів автотранспортних потоків у вузлах автотранс- (рис.5).

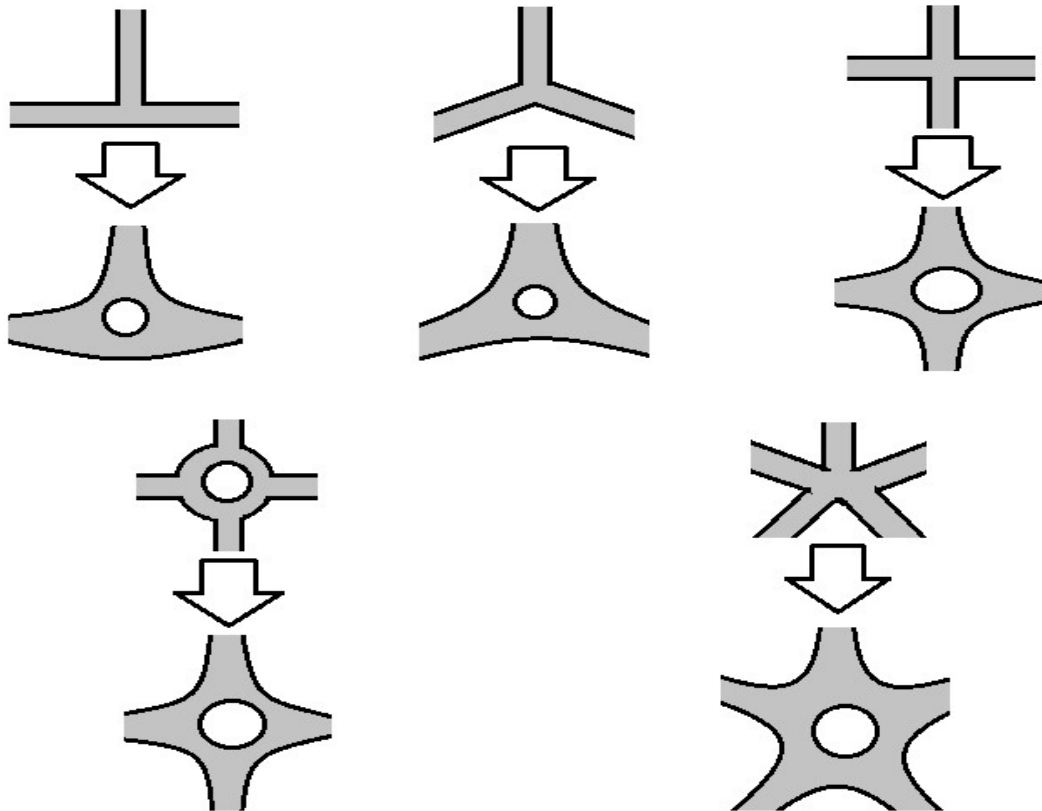


Рис.5. Варіанти транспортно-екологічної оптимізації автодорожньої мережі у вузлах перехрещення автотранспортних потоків

Висновки та перспективи подальших досліджень

Пропонована оптимізація конструкційних параметрів автодорожньої мережі у вузлах перехрещення автотранспортних потоків передбачає можливість синхронізації колективного руху автотранспортних засобів у складі транспортних потоків, що забезпечує стабілізацію виконання транспортно-технологічних операцій і, як наслідок, підвищує загальний рівень безпеки автотранспортного комплексу.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на забезпечення безпечних транспортно-технологічних режимів функціонування автотранспортного комплексу в умовах зростання частки автономних роботизованих безпілотних автотранспортних засобів у складі автотранспортних потоків.

References

1. Babkov, V. F. (1980). *Landshaftnoe proektirovanie avtomobilnyih dorog* [Landscape design of roads]. Moskva: Transport [in Russian].
2. Lukanin, V. N. & Trofimenko, Yu. V. (2001). *Promyishlenno-transportnaya ekologiya* [Industrial and transport ecology]. Moskva: Vysshaya shkola [in Russian].
3. Sheludchenko, B. A. (2014). *Vstup do konstruiuvannia pryrodno-tekhnohenykh heoekosystem (landshaftno-terytorialnyi aspekt)* [Introduction to the design of natural-technogenic geo-ecosystems (landscape-territorial aspect)]. Kamianets-Podilskyi: PDATU [in Ukrainian].
4. Sheludchenko, L. S. (2018). *Funktionalni oznaky avtotransportnoho potoku* [Functional signs of motor transport]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii*, 13, 75–79. doi: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2018.13.0.75> [in Ukrainian].
5. Mandelbrot, B. B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. W. H.: Freeman and Company.

SYNCHRONIZATION OF THE DYNAMICS OF THE COLLECTIVE MOVEMENT OF TRAFFIC FLOWS

B. Sheludchenko¹, Yu. Trostenyuk²,
S. Kuharets¹, P. Zabrodskiy¹,
V. Kotkov¹, O. Pluzhnikov¹

e-mail: sheludchenkobogdan@ukr.net

¹Zhytomyr National Agroecological University
7, Stary Blvd, Zhytomyr, 10008, Ukraine

²Zhytomyr State Technological University,
Stary Boulevard, 103, Zhytomyr, 10002, Ukraine

It was established that the resynchronization of the collective movement of vehicles as part of traffic flows in areas with special traffic conditions leads to a violation of the coherence of these flows, which leads not only to a decrease in the safety levels of the transport process, but also to the intensification of aerosol emissions of gas-dust emissions traffic flows. According to the results of studies that were carried out on the basis of analytical geometry methods on the plane and taking into account the topological features of algebraic functions, which describe the trajectories of the gradients of the traffic flow of vehicles, topological parameters and two-dimensional graphical models of possible options for transport and technological optimization of the road network were developed. The dimensions of the minimum allowable width of the carriageway in the nodes of the road network for motor traffic flows are determined depending on the intensity of traffic on roads of various categories. Accordingly, the proposed optimization of the design parameters of the road network at the intersection of motor traffic flows provides for the possibility of synchronizing the collective movement of motor vehicles as part of traffic flows, which stabilizes the performance of transport and technological operations and, consequently, increases the overall safety level of the motor complex.

Keywords. Motor traffic flow, motor traffic intersection nodes, synchronization, special motion conditions, trajectory, hyperbola, ellipse, topology.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ДИНАМИКИ КОЛЛЕКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В УЗЛАХ АВТОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Б. А. Шелудченко¹, Ю. И. Тростенюк²,
С. Н. Кухарец¹, П. М. Забродский¹,
В. И. Котков¹, О. Б. Плужников¹

e-mail: sheludchenkobogdan@ukr.net

¹Житомирский национальный агроэкологический университет,
бульвар Старый, 7, г. Житомир, Украина, 10008

²Житомирский государственный технологический университет,
ул. Чудновская, 103, г. Житомир, Украина, 10002

Установлено, что рассинхронизация коллективного движения автотранспортных средств в составе транспортных потоков на участках с особыми условиями движения приводит к нарушению когерентности этих потоков, что обуславливает не только снижение уровней безопасности транспортно-технологического процесса, но и к интенсификации эмиссии аэрозоль газопылевых выбросов, которые производятся автотранспортными потоками. По результатам исследований, которые проводились на основании методов аналитической геометрии на плоскости и с учетом топологических особенностей алгебраических функций, которыми описываются траектории градиентов движения потоков автотранспортных средств разработаны топологические параметры и двумерные графические модели возможных вариантов транспортно-технологической оптимизации автодорожной сети в узлах пересечения автотранспортных потоков. Определены размеры минимально допустимой ширины проезжей части в узлах автодорожной сети для автотранспортных потоков в зависимости от интенсивности движения по автомобильным дорогам различных категорий. Соответственно, предложенная оптимизация конструктивных параметров автодорожной сети в узлах пересечения автотранспортных потоков предусматривает возможность синхронизации коллективного движения автотранспортных средств в составе транспортных потоков, что обеспечивает стабилизацию выполнения транспортно-технологических операций и, как следствие, повышает общий уровень безопасности автотранспортного комплекса.

Ключевые слова: автотранспортный поток, узлы пересечения автотранспортных потоков, синхронизация, особые условия движения, траектория, гипербола, эллипс, топология.