

УДК 656.013
UDC 656.013

СИНЕРГЕТИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ МІЖ РЕЖИМАМИ ВІЛЬНОГО ТА СИНХРОНІЗОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет,
Київ, Україна

Бакуліч О.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Сватко В.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна

SYNERGETIC INTERPRETATION OF PHASE TRANSITION IS BETWEEN MODES OF A FREE AND SYNCHRONIZED TRAFFIC FLOW

Danchuk V.D., Dr.Sc. (phys.-math.), National Transport University, Kyiv, Ukraine

Bakulich O.O., Ph.D. (engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine

Svatko V.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine

СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА МЕЖДУ РЕЖИМАМИ СВОБОДНОГО И СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

Данчук В.Д., доктор физико-математических наук, Национальный транспортный университет,
Киев, Украина

Бакуліч Е.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина

Сватко В.В., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка проблеми. В теперішній час питанням удосконалення умов дорожнього руху приділяється багато уваги. Різке збільшення кількості транспортних засобів, інтенсифікація дорожнього руху зумовлюють критично високий рівень аварійності. А це в свою чергу, суттєво впливає на завантаженість вулично-дорожньої мережі, сприяє виникненню заторів та зменшенню швидкості руху. У зв'язку з цим, важливого значення набувають підходи, що описують переходи між режимами транспортного потоку (вільним рухом, узгодженим рухом та затором).

Аналіз публікацій. Останнім часом питанню моделювання транспортних потоків у транспортній мережі міста приділяють значну увагу. Для опису колективних характеристик транспортного потоку застосовується багато підходів. У [1,2] показано, що перехід між різними режимами транспортного потоку має властивість звичайного фазового переходу рідина-пар, де вільний та ускладнений рух автомобілів відповідає паровій та рідкій фазам відповідно. Перехід між відповідними станами відбувається, коли щільність автомобілів досягає критичного значення. Транспортний потік зі збільшеною щільністю та нестійкою однорідною частиною супроводжується виникненням затору на вулично-дорожній мережі. Таким чином, при даному фазовому переході неупорядкований стан відповідає вільному руху транспортних засобів з інтервалом h , а впорядкований – затору на дорозі, коли вільний рух автомобілів з малою щільністю співіснує з затором (велика щільність автомобілів).

З іншого боку, у [3,4] виділяють три фази транспортного потоку: вільний потік, синхронізований потік, широкий кластер автомобілів, що рухається. Згідно роботи [4] у щільному потоці виділяються дві фази, синхронізований потік і широкий кластер автомобілів, що рухається.

Метою роботи є аналітичний опис переходу типу транспортного затору в результаті самоорганізації системи. Для цього використовується синергетична концепція фазового переходу, який проявляється в результаті узгодженої поведінки трьох ступенів свободи: параметра порядку, спряженого поля та управляючого параметра [2].

Основна частина. В рамках термодинамічного наближення [1,2] перехід між режимами транспортного потоку уявляється як фазовий перехід першого роду, характер якого визначається відстанню між автомобілями $\Delta x(t)$, що відіграє роль об'єму чи щільності, та оберненим часом затримки (часом розгону/гальмування) $1/\tau$, що відповідає температурі. Для опису використовується рівняння руху n -го автомобіля:

$$dx_n / d(t + \tau) = V(\Delta x_n(t)) \quad (1)$$

Тут задається оптимальна швидкість $V(\Delta x_n(t))$, яка задовольняє наступним вимогам: $V(\Delta x_n)$ - монотонно зростаюча функція; має верхню межу; при інтервалі між автомобілями, що рівний критичному значенню h_c , має точку налаштування.

В процесі досліджень даної моделі отримано умову стійкості, згідно якої при появі незначного впливу в однорідному потоці автомобілів, він залишається стабільним, якщо час затримки відповідає нерівності

$$1/\tau > 2V'(h), \quad (2)$$

де $V'(h) = dV(\Delta x_n) / d\Delta x_n |_{\Delta x_n = h}$

Для найпростішої моделі автомобілів, що рухаються один за одним величини

$$\eta = h - \Delta x, \Delta x = h - \eta \quad (3)$$

де η - відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами;

Δx - реальне значення відстані між транспортними засобами;

h - оптимальне значення інтервалу між транспортними засобами.

$$v = \dot{\Delta x} = h/t_0 - v_0, \dot{v} = \dot{\Delta x} = -\dot{\eta} \quad (4)$$

де v - швидкість відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами;

$\dot{\Delta x}$ - реальне значення швидкості відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами.

Відхилення інтервалу між транспортними засобами та швидкості його зміни від відповідних оптимальних значень h та $h/t_0 - v_0$ (t_0 - характерний часовий інтервал, v_0 - швидкість автомобіля) відіграють роль параметру порядку та спряженого поля відповідно. Таким чином, поведінка транспортного потоку характеризується величинами η , v та часом розгону/гальмування τ , що зводиться до управляючого параметру. Нехай вказані величини є дисипативними, і їх релаксація до рівноважних значень описується рівнянням Дебая. Основою синергетичного підходу є те, що позитивний зворотній зв'язок між змінними η і τ може призвести до самоорганізації системи, яка є причиною переходу між режимами транспортного потоку. Для забезпечення стабільності системи введемо від'ємний зворотній зв'язок між η та v . Отримані в результаті рівняння, що визначають часові залежності $\eta(t)$, $v(t)$ та $\tau(t)$, формально співпадають з системою Лоренца, яка описує систему, що самоорганізовується [2]:

$$\dot{\eta} = -\eta/t_\eta + v, \quad (5)$$

$$\dot{v} = -v/t_v + g_v \eta \tau, \quad (6)$$

$$\dot{\tau} = (\tau_0 - \tau)/t_\tau - g_\tau \eta v \quad (7)$$

Тут крапка означає диференціювання по часу; t_η, t_v, t_τ - відповідно часи релаксації; g_v, g_τ - додаткові константи зв'язку між динамічними змінними. Рівняння (5) - (7) є основою самоузгодженого опису моделі автомобілів, що рухаються один за одним. Суттєвою особливістю даної моделі є те, що у (6) - (7) входять нелінійні складові з різними знаками, в той час як рівняння (5) - лінійне. Останнє обумовлено тим, що відхилення швидкості v є похідною відхилення інтервалу η по часу. Друга складова в правій частині (6) описує додатній зворотній зв'язок між відхиленням інтервалу та часу розгону/гальмування, в результаті чого збільшується значення v , що є причиною виникнення транспортного затору. Кінетичне рівняння для величини τ відрізняється тим, що релаксація відбувається не до нуля, а до кінцевого значення τ_0 , що визначає час, необхідний автомобілю для досягнення характерної швидкості (техніко-експлуатаційна характеристика транспортного засобу). Знак мінус перед останнім елементом в правій частині рівняння (7) можна розглядати як виникнення принципу Ле-Шательє, оскільки збільшення часу розгону/гальмування τ призводить до виникнення потоку машин, при чому ріст величин η і v заважає збільшенню τ .

Стаціонарне значення відхилення інтервалу η має вигляд:

$$\eta_e^m = \eta_{00} \left\{ 1 \mp \left[1 + \eta_0^2 \eta_{00}^{-4} (\tau_0 - \tau_c) \right]^{1/2} \right\}^{1/2} \quad (8)$$

$$2\eta_{00}^2 = (\tau_0 - 1) - \tau_c \eta_0^2, \quad \tau_c = 1 + k$$

Верхній знак в правій частині рівняння (8) відповідає значенню η^m для нестійкого стану, а нижній знак відповідає стійкому стану η_e . Відповідне значення стаціонарного часу розгону/гальмування

$$\tau_m = \frac{1 + \eta_{00}^2 + \sqrt{(1 + \eta_{00}^2)^2 - (1 - \eta_0^2)^2 \tau_0}}{1 - \eta_0^2} \quad (9)$$

що плавно зростає від значення

$$\tau_m = 1 + \eta_0 \sqrt{k/(1 - \eta_0^2)} \quad (10)$$

при

$$\tau_0 = \tau_{c0} = (1 - \eta_0^2) \tau_m^2 \quad (11)$$

до граничного значення $\tau_c = 1 + k$ при $\tau_0 = \tau_c$. Тут τ_c - граничне (критичне) значення часу розгону/гальмування автомобіля, τ_{c0} - час розгону/гальмування, характерний для однорідного потоку машин.

Згідно (4) легко знайти швидкість автомобіля V у синхронізованому режимі, коли існує взаємодія між транспортними засобами, що призводить до формування транспортного затору. При цьому значення швидкості обумовлене проявом синергетичних ефектів, які описуються системою рівнянь [5-7].

$$V = \dot{\eta}_e^m = \frac{1}{4\sqrt{\eta_{00}^2 \mp \sqrt{\eta_{00}^4 + \eta_0^2 (\tau_0 - \tau_c)}}} \cdot \left(1 \mp \frac{\eta_0^2 - \eta_{00}^2}{\sqrt{\eta_{00}^4 + \eta_0^2 (\tau_0 - \tau_c)}} \right) \quad (12)$$

Верхній знак в правій частині рівняння (12) відповідає значенню для нестійкого стану, а нижній знак відповідає стійкому стану.

На основі отриманих розрахунків побудуємо залежності стаціонарного значення відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами η_e^m та швидкості V від значення τ_0 , що визначає час, необхідний автомобілю для досягнення характерної швидкості. Значення η_e^m, V, τ_0 наведені у відносних одиницях.

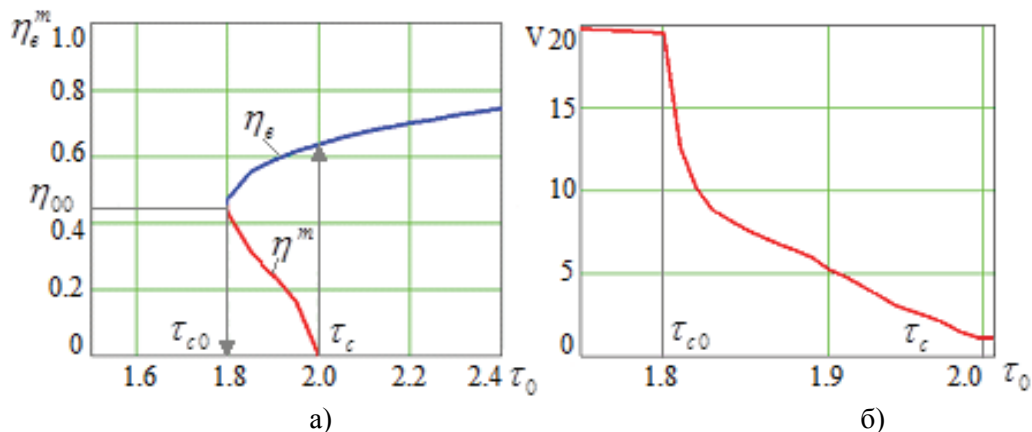


Рисунок 1 – Залежності стаціонарних значень відхилення інтервалу між автомобілями η_e, η^m (а) та швидкості автомобіля V від характерного часу τ_0 (б)

Як показано на рис. 1а при повільному збільшенні параметру τ_0 в інтервалі від 0 до τ_{c0} виникнення транспортного затору неможливе. В точці $\tau_0 = \tau_c$ відхилення інтервалу η_e спричиняє

стрибок до значення $\sqrt{2}\eta_{00}$, а потім плавно зростає згідно (8). При зменшенні параметру τ_0 величина η_e неперервно зменшується до точки $\tau_0 = \tau_{c0}$, $\eta_e = \eta_{00}$, а потім різко спадає до нуля.

Як показано на рис. 1б, повільне збільшення параметру τ_0 в інтервалі від 0 до τ_{c0} , що дорівнює 1.8, швидкість руху транспортного потоку практично незмінна, як результат – транспортний затор виникнути не може. На даному проміжку транспортні засоби рухаються у вільному транспортному потоці. На даній ділянці швидкість руху транспортних засобів обмежується лише правилами дорожнього руху, технічними характеристиками автомобіля та кваліфікацією водія.

На проміжку від τ_{c0} до τ_c , що на рисунку відповідає діапазону від 1.8 до 2.0 спостерігається різке зменшення величини швидкості, яке стрімко наближається до нуля. Такий стан транспортного потоку характеризується як синхронізований потік (згідно класифікації Кернера). Для даного стану характерне різке зменшення швидкості потоку. В синхронізованому транспортному потоці, швидкість автомобілів менша, ніж мінімально можлива швидкість транспортних засобів у вільному потоці. На даній ділянці спостерігається суттєва взаємодія між транспортними засобами в потоці, швидкість руху транспортного засобу залежить від загальної швидкості потоку і не може бути більшою за неї.

На проміжку від τ_c , що на рисунку відповідає діапазону від 2.0 спостерігається практично незмінна в часі швидкість руху автомобілів в транспортному потоці. Величина швидкості на даній ділянці фактично наближається до нуля, рух транспортних засобів фактично зупинено. Такий стан транспортного потоку відповідає транспортному затору. Для такого стану характерна повна взаємодія між усіма учасниками дорожнього руху, маневри, перестроювання та інші дії можливі лише при узгодженні з іншими учасниками. Згідно класифікації Кернера такий стан транспортного потоку називається широкий кластер автомобілів, що рухаються.

Одним з найголовніших показників, що характеризує завантаженість транспортної мережі є щільність дороги ρ , яка визначається як кількість транспортних засобів, що знаходяться в даній момент часу на заданій ділянці дороги. Максимальне значення щільності ρ_{\max} відповідає кількості нерухомих транспортних засобів розташованих впритул один до одного. Виходячи з цього, можна визначити залежність між щільністю та реальною відстанню між транспортними засобами за наступною формулою:

$$\rho \sim \frac{1}{\Delta x}, \quad (13)$$

де ρ - щільність завантаження транспортної мережі;

Δx - реальні відстань між транспортними засобами.

Оскільки, згідно (3) $\Delta x = h - \eta$ маємо:

$$\rho \sim \frac{1}{h - \eta} \quad (14)$$

Крім того, розглядаючи згідно [5] модель ефективного автомобіля як ефективну характеристику транспортного засобу реального транспортного потоку, можна описувати динаміку фазових переходів транспортного потоку в теорії Кернера в рамках синергетичного підходу, розвинутого в даній роботі.

Тоді, використовуючи формулу (14), можна побудувати залежність швидкості руху транспортного потоку V від показників завантаженості дорожньо-транспортної мережі ρ .

Як показано на рис. 2, швидкість транспортного потоку залишається незмінною високою до досягнення певного значення насиченості дорожньо-транспортної мережі (в нашому випадку до значення $\rho = 0,655$). Після цього швидкість транспортного потоку різко зменшується при збільшенні насиченості дороги. При досягненні критичного значення завантаженості транспортно-дорожньої мережі (в нашому випадку до значення $\rho = 0,731$) значення швидкості транспортного потоку наближається до нуля. Після цього величини щільності завантаження дороги та швидкості руху транспортного потоку залишаються незмінними.

Таким чином, отриманий графік залежності швидкості руху транспортного потоку від завантаженості дорожньо-транспортної мережі відображає реальну обстановку на дорозі, яку можна спостерігати в реальному часі.

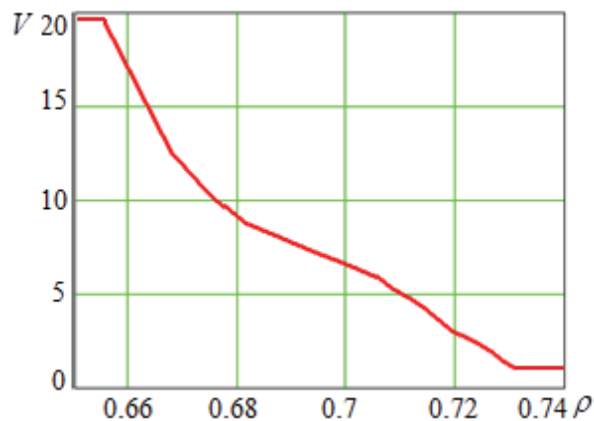


Рисунок 2 – Залежність швидкості руху V від щільності завантаження дорожньо-транспортної мережі ρ

Висновки. Вперше в рамках адіабатичного наближення моделі Лоренца отримана синергетична інтерпретація фазової діаграми Кернера переходу від вільного до щільного транспортного потоку, що базується на аналізі експериментальних даних. Теоретично підтверджена наявність, згідно праць Кернера, трьох фаз у транспортному потоці: вільного, синхронізованого та широкого кластеру, що рухається. Отримані аналітичні залежності швидкості руху транспортного потоку від характерного часу τ_0 та щільності завантаження дорожньо-транспортної мережі ρ , які вказують на наявність чітких границь переходу між фазами транспортного потоку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – М.: Наука, 1966. – 616с.
2. Хоменко А.В., Ющенко О.В. Синергетическая теория перехода между режимами транспортного потока // Вісник СДУ. – 2000. – №1(17). – С.20-26.
3. Кленов С.Л. Теория Кернера трех фаз в транспортном потоке – новый теоретический базис для интеллектуальных транспортных технологий // Труды МФТИ, 2010, том 2, №4, с.75-89
4. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. — Berlin: Springer, 2009.
5. Данчук В.Д. Визначення ефективного автомобіля як характеристики транспортного потоку за допомогою методу аналізу ієрархій / В.Д. Данчук, О.О. Бакуліч, В.В. Сватко // Вісник НТУ. – К.: НТУ – 2012. – Вип. 26. – Ч.2. – С.123-127.

REFERENCES

1. Tamm I.E. Osnovi teorii electrichestva [Bases of theory of electricity]. – М.: Nauka, 1966. – 616 p. (Rus)
2. Khomenko A.V., Yushchenko O.V. Sinergeticheskaja teoriya perehoda mejdu rejimami transportnogo potoka [Synergetic Theory for Jamming Transition in Traffic Flow] // Visnyk SDU [Herald of Sumy State University], 2000. No. 17. Part 1. P.20-26. (Ukr)
3. Klenov S.L. Teoriya Kernerera trioh faz v transportnom potoke – novij teoreticheskij basis dlya intelektualnih transportnih tehnologiy [A theory of Kernerera of three phases in a traffic flow is a new theoretical base for intellectual transport technologies] Trudy MFTI, 2010. No. 4. Part 2. P.75-89. (Rus)
4. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. — Berlin: Springer, 2009.
5. Danchuk V.D., Bakulich O.O., Svatko V.V. Vznachennia effektivnogo avtomobilia iak harakteristiki transportnogo potoku za dopomogoyu metodu analizu ierarhiy [Determination of an efficient car as a characteristic of a traffic flow using the method of hierarchies analysis]. Visnyk NTU [Herald of National Transport University], 2012. No. 26. Part 2. P.123-127. (Ukr)

РЕФЕРАТ

Данчук В.Д. Синергетична інтерпретація фазового переходу між режимами вільного та синхронізованого транспортного потоку/ В.Д. Данчук, О.О. Бакуліч, В.В. Сватко // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К.: НТУ, 2014. – Вип. 29.

У роботі запропонована, в рамках адіабатичного наближення моделі Лоренца, синергетична інтерпретація фазової діаграми Кернера переходу від вільного до щільного транспортного потоку, що базується на аналізі експериментальних даних.

Об'єкт дослідження – процеси в транспортних потоках вуличної мережі міста.

Мета роботи – аналітичний опис переходу типу транспортного затору в результаті самоорганізації системи.

Методи дослідження – аналітичний опис переходу між режимами транспортного потоку.

Вперше в рамках адиабатичного наближення моделі Лоренца, отримана синергетична інтерпретація фазової діаграми Кернера переходу від вільного до щільного транспортного потоку, що базується на аналізі експериментальних даних. Теоретично підтверджена наявність, згідно праць Кернера, трьох фаз у транспортному потоці: вільного, синхронізованого та широкого кластеру, що рухається. Отримані аналітичні залежності швидкості руху транспортного потоку від характерного часу τ_0 та щільності завантаження дорожньо-транспортної мережі ρ , які вказують на наявність чітких границь переходу між фазами транспортного потоку.

Результати статті можуть бути використані при дослідженні транспортної мережі міст, у яких спостерігаються транспортні затори.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – використання аналітичного опису переходу між режимами транспортного потоку дозволить здійснити у майбутньому подальший розвиток теоретичних уявлень про динаміку транспортних потоків, вдосконалення методів моделювання процесів, що відбуваються в них.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИНЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ ЛОРЕНЦА, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ТЕОРІЯ ТРЬОХ ФАЗ КЕРНЕРА, РЕЖИМИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАТОР.

ABSTRACT

Danchuk V.D., Bakulich O.O., Svatko V.V. Synergetic interpretation of phase transition is between modes of a free and synchronized traffic flow. Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series «Technical sciences». – Kyiv: National Transport University, 2014. – Issue 29.

The concept of within the framework of the adiabatic approaching of Lorenz model, synergetic interpretation of phase diagram of Kerner transition from free to a dense transport stream that is based on the analysis of experimental data.

The object of the study is processes are in traffic flow of street network of city.

The purpose of the study is analytical description of transition as transport congestion as a result of self-organization of the system.

Research methods – analytical description of transition is between the modes of a traffic flow.

First within the framework of the adiabatic approaching of Lorenz model, synergetic interpretation of phase diagram of Kerner transition is got from free to a dense traffic flow that is based on the analysis of experimental data. Presence confirmed in theory, in obedience of Kerner labors, three phases in a traffic flow: free, synchronized and wide to the cluster that moves. The got analytical dependences of rate of movement of a traffic flow of characteristic time τ_0 and closeness of loading of road and transportation network ρ , specify that in the presence of clear borders of transition phase-to-phase a traffic flow.

The results of the study can be used at research of a transport network of cities there are transport congestions in that.

Forecast assumption for the object of the study the use of analytical description of transition between the modes of a traffic flow will allow carrying out in the future further development of theoretical ideas about the dynamics of traffic flow, perfection of methods of design of processes that take place in them.

KEYWORDS: LORENZ SYNERGETIC MODEL, TRAFFIC FLOW, KERNER'S THREE-PHASE TRAFFIC THEORY, MODES OF A TRAFFIC FLOW, TRANSPORT CONGESTION.

РЕФЕРАТ

Данчук В.Д. Синергетическая интерпретация фазового перехода между режимами свободного и синхронизированного транспортного потока / В.Д. Данчук, Е.А.Бакулич, В.В.Сватко // Вестник Национального транспортного университета. Научно-технический сборник: в 2 ч. Ч. 1: Серия «Технические науки». – К. : НТУ, 2014. – Вып. 29.

В работе предложена, в рамках адиабатического приближения модели Лоренца, синергетическая интерпретация фазовой диаграммы Кернера перехода от свободного к плотному транспортному потоку, базирующаяся на анализе экспериментальных данных.

Объект исследования – процессы в транспортных потоках дорожной городской сети.

Цель работы – аналитическое описание перехода типа транспортной пробки в результате самоорганизации системы.

Методы исследования – аналитическое описание переходов между режимами транспортного потока.

Впервые в рамках адиабатического приближения модели Лоренца, получена синергетическая интерпретация фазовой диаграммы Кернера перехода от свободного к плотному транспортному потоку, базирующаяся на анализе экспериментальных данных. Согласно трудов Кернера, теоретически подтверждено наличие трех фаз в транспортном потоке: свободного, синхронизированного и широко движущегося кластера. Получены аналитические зависимости скорости движения транспортного потока от характерного времени τ_0 и плотности загрузки транспортной сети ρ , которые указывают на наличие четких пределов перехода между фазами транспортного потока.

Результаты работы могут быть использованы при исследовании транспортных сетей городов, в которых наблюдаются транспортные пробки.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – использование аналитического описания перехода между режимами транспортного потока даст возможность в будущем дальнейшее развитие теоретических представлений о динамике транспортных потоков, усовершенствование методов моделирования процессов, что в них происходят.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОРЕНЦА, ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК, ТЕОРИЯ ТРЕХ ФАЗ КЕРНЕРА, РЕЖИМИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА, ТРАНСПОРТНАЯ ПРОБКА.

АВТОРИ:

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, e-mail: vdanchuk@ukr.net, тел. +380442849441, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, УБК, к. 211.

Бакуліч О.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, декан факультету економіки, менеджменту і права, e-mail: bakulich@rambler.ru, тел. +380442803876, Україна, 01010, м.Київ, вул. Суворова 1, к. 245.

Сватко В.В., Національний транспортний університет, аспірант кафедри електроніки та обчислювальної техніки, e-mail: vitaliy_svatko@ukr.net, тел. +380442846439, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, УБК, к. 213.

AUTHOR:

Danchuk V.D., Dr.Sc. (phys.-math.), National Transport University, the dean of the faculty of transport and information technologies, e-mail: vdanchuk@ukr.net, tel. +380442849441, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, ELC, of. 211.

Bakulich O.O, Ph.D. (engineering), National Transport University, the dean of the faculty Economics, Management and Law, e-mail: bakulich@rambler.ru, tel. +380442803876, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 245.

Svatko V.V., National Transport University, postgraduate, department of electronics and computers, e-mail: vitaliy_svatko@ukr.net, tel. +380442846439, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, ELC, of. 213.

АВТОРЫ:

Данчук В.Д., доктор физико-математических наук, профессор, Национальный транспортный университет, декан факультета транспортных и информационных технологий, e-mail: vdanchuk@ukr.net, тел. +380442849441, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, УБК, к. 211.

Бакулич Е.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, декан факультета экономики, менеджмента и права, e-mail: bakulich@rambler.ru, тел. +380442803876, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 245.

Сватко В.В., Национальный транспортный университет, аспирант кафедры электроники и вычислительной техники, e-mail: vitaliy_svatko@ukr.net, тел. +380442846439, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, УБК, к. 213.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Оксіюк О.Г., доктор технічних наук, професор, Європейський університет, зав. каф. інформаційних систем та математичних дисциплін, Київ, Україна.

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, зав. кафедрою міжнародних перевезень та митного контролю, Київ, Україна.

REVIEWER:

Oksiyuk O.G., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, European University, Head of the department of Information Systems and mathematics, Kyiv, Ukraine.

Prokudin G.S., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head of the department of international transportation and customs control, Kyiv, Ukraine.