

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003559

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 25-08-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ Сумського державного університету № 0303-V від 29 вересня 2025 р.



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шикура Олексій Юрійович

2. Oleksii Shykura

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-5258-0084

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 105

Назва наукової спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 20725 прикладна фізика та наноматеріали

Дата захисту: 05-09-2025

Спеціальність за освітою: 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Місце роботи здобувача: Організація відсутня

Код за ЄДРПОУ: 00000000

Місцезнаходження: -----, Київ, 00000, Україна

Форма власності: Змішана

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 10338

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, буд. 116, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, буд. 116, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 27.35, 27.43, 29.17, 73.31, 73.31.01, 27.35.01

Тема дисертації:

1. Використання синергетичного підходу при моделюванні переходів між режимами транспортного потоку
2. Application of the synergetic approach to modeling transitions between traffic flow regimes

Реферат/анотація:

1. Дисертація присвячена дослідженню динаміки транспортного потоку як відкритої фізичної системи з багатьма взаємодіючими елементами, що виявляє властивості складних нелінійних середовищ, зокрема фазові переходи, біфуркації, нестійкість і самоподібність. Основна увага зосереджена на фізико-математичному моделюванні механізмів утворення заторів, умов втрати стійкості та переходів між режимами вільного руху й накопичення, а також на ролі детермінованих і стохастичних чинників у поведінці системи. Розглянуто три взаємодоповнюючі підходи: (1) детерміновану систему типу Лоренца, (2) стохастичну модель на основі рівняння Фоккера–Планка та (3) нелінійну систему зі змінними, що описують фазову структуру потоку. Ці моделі структурно пов'язані та відображають різні аспекти динаміки в умовах неоднорідності, затримок реакції та зовнішніх збурень. Нелінійна модель типу Лоренца описує взаємодію між гальмуванням, прискоренням і часом реакції. Динаміка системи формалізується трьома пов'язаними змінними: відхиленням від оптимальної дистанції p , швидкістю v та часом реакції τ . Проведено побудову фазових портретів, аналіз рівноважних точок і визначено умови фазових переходів. Ідентифіковано критичні

значення ρ , p та τ , що показують, як локальні параметри, зокрема середній час реакції, можуть зумовлювати макроскопічні зрушення та багатостійкість. Карти фазових траєкторій демонструють стійкі й нестійкі режими, різкі переходи до заторів і узгодженість із емпіричними даними. Стохастична модель на основі рівняння Фоккера–Планка враховує флуктуації ρ , де основними змінними є параметр порядку r (щільність) та фазова змінна ϕ (зміна швидкості). Показано, що випадкові збурення інтенсивності $D\rho$ здатні індукувати переходи між режимами навіть без зовнішніх чинників. Чисельні симуляції виявляють автоколивальні стани, зростання ентропійної складності та кластеризацію, подібну до процесів у фізиці конденсованих середовищ або нестабільної плазми. Тип шуму виявився визначальним: некорельовані збурення спричиняють розпад потоку, тоді як корельовані — регулярні коливання. Резонансне підсилення шумом сигналізує про наближення критичних станів. Спектри самоподібності та оцінка ентропійної складності підтверджують фазові переходи, індуковані флуктуаціями. Узагальнена модель Лоренца з урахуванням розстройки частоти Δ та симетрійного аналізу описує просторово-часову динаміку швидкості та фази. Виявлено безперервну симетрію обертань типу $U(1)$ і дискретну Δ -симетрію. Система може формувати інваріантний тор — двовимірну поверхню у фазовому просторі, що відповідає режиму подвійної періодичності. Такий режим відтворює хвилі «стоп-енд-гоу» як когерентні нелінійні структури. При зростанні Δ квазіперіодичні режими змінюються хаотичними обертаннями з порушенням симетрії. Біфуркаційний аналіз Хопфа та карти стійкості виявляють локалізовані коливання й квазістаціонарні хвилі уповільнення. Таким чином, у дисертації розроблено багаторівневу модель, що поєднує нелінійні, стохастичні та симетрійні ефекти. Вона пояснює механізми формування заторів, умови втрати стійкості та переходів у переважаних мережах з неоднорідною щільністю, затримками та шумами. Практичне значення полягає у застосуванні для адаптивного керування рухом — виявлення зон ризику, оптимізації сигналізації, організації реверсивного руху — та інтеграції у гібридні симуляційні середовища з використанням методів машинного навчання. Запропонований підхід має також міждисциплінарний потенціал: завдяки універсальним закономірностям нелінійної динаміки модель може бути адаптована для аналізу подібних явищ у біологічних, технічних та інформаційних системах, що відкриває перспективу створення єдиного синергетичного підходу до опису складних процесів.

2. The dissertation investigates traffic flow dynamics as an open physical system with many interacting elements, showing properties of complex nonlinear media such as phase transitions, bifurcations, instability, and self-similarity. The focus is on physico-mathematical modeling of traffic jam formation, conditions of stability loss, and transitions between free flow and congestion, as well as the role of deterministic and stochastic factors. Three complementary approaches are used: (1) a deterministic Lorenz-type system, (2) a stochastic Fokker–Planck model, and (3) a nonlinear system with variables describing the phase structure of the flow. These models are interconnected and represent different aspects of traffic dynamics under heterogeneity, delayed reactions, and external perturbations. A Lorenz-type nonlinear model describes interactions between braking, acceleration, and reaction time. It formalizes system dynamics with three coupled variables: headway deviation ρ , velocity v , and reaction time τ . Phase portraits, equilibrium analysis, and conditions for phase transitions are obtained. Critical values of ρ , v , and τ are identified, showing how changes in local parameters like average reaction time cause macroscopic shifts and multistability. Maps of trajectories reveal stable and unstable regimes, abrupt transitions to congestion, and consistency with empirical traffic data. The stochastic model based on the Fokker–Planck equation examines fluctuations ρ , with order parameter r (density) and phase ϕ (velocity change). Random perturbations of intensity $D\rho$ can induce transitions between regimes without external triggers. Simulations show self-oscillatory states, entropy growth, and clustering similar to condensed matter or plasma. Noise type matters: uncorrelated fluctuations cause decay, while correlated ones produce regular oscillations. Resonant amplification by noise signals critical states. Self-similarity spectra and entropy analysis confirm phase transitions driven by fluctuations. A generalized Lorenz model with frequency detuning Δ and symmetry analysis describes spatiotemporal velocity–phase dynamics. Continuous $U(1)$ and discrete Δ symmetries are identified. The system can form an invariant torus, modeling stop-and-go waves as coherent nonlinear structures. With larger Δ , quasi-periodic regimes shift to chaotic rotations and broken symmetries. Hopf bifurcations and stability maps reveal

localized oscillations and quasi-stationary deceleration waves. The dissertation thus develops a multi-level framework combining nonlinear, stochastic, and symmetry effects. It explains jam formation mechanisms, conditions of stability loss, and transitions in overloaded networks with heterogeneous densities, delays, and noise. Practical value lies in adaptive traffic control—risk detection, signal optimization, reversible lane management—and integration into hybrid simulations with machine learning. The approach also has interdisciplinary potential, applicable to biological, technical, and information systems, opening perspectives for a unified synergetic framework for complex processes.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Нові речовини і матеріали

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- Khomenko A., Shikura A. Nonlinear kinetics of transition between transport flow modes. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2020. № 557. 124965
- Khomenko O., Shikura O., Trofymenko P., Biesiedina A. Statistical analysis of self-similar behavior in a traffic flow model. *Journal of Physical Studies*, 2025. № 29(2). 2801
- Khomenko A., Shikura A., Trofymenko P., Biesiedina A. Bifurcations Impact on Dynamics of Traffic Flows within Complex Lorenz Model. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 2025. № 11. 91

Наукова (науково-технічна) продукція: технології; методи, теорії, гіпотези; аналітичні матеріали

Соціально-економічна спрямованість: поліпшення стану навколишнього середовища; економія енергоресурсів; підвищення продуктивності праці; поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих; забезпечення промисловості чи населення новим видом інформаційно-комунікаційних послуг

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами: 0118U003584 0122U000776

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Хоменко Олексій Віталійович
2. Oleksii Khomenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8755-9592

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, буд. 116, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Татаренко Валентин Андрійович

2. Valentyn Tatarenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-3182-8287

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417331

Місцезнаходження: бульвар Академіка Вернадського, буд. 36, Київ, 03142, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ігнатюк Василь Васильович

2. Vasyl Ignatyuk

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4021-441X

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізики конденсованих систем Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05540014

Місцезнаходження: вул. Свенціцького, буд. 1, Львів, 79011, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бадалян Анна Юріївна

2. Anna Badalyan

Кваліфікація: к. ф.-м. н., с.д., 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4656-3146

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, буд. 116, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Корнющенко Ганна Сергіївна

2. Ganna Korniuschenko

Кваліфікація: к. ф.-м. н., доц., 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2996-1003

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, буд. 116, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Шкурдода Юрій Олексійович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Шкурдода Юрій Олексійович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Бойко Антон Олександрович

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна