

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛІВ**

ЮЩЕНКО ОЛЬГА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 539.2

**СИНЕРГЕТИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ
КОЛЕКТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

01.04.02 – Теоретична фізика

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук**

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Сумському державному університеті
Міністерства освіти та науки України, м. Суми.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України
Олемской Олександр Іванович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри фізичної електроніки.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор,
академік Національної академії наук України
Пелетмінський Сергій Володимирович,
ННЦ „Харківський фізико-технічний інститут”,
радник при дирекції;

доктор фізико-математичних наук, професор
Шматько Олександр Олександрович,
Харківський національний університет
ім. В.Н. Каразіна, професор кафедри фізики НВЧ.

Провідна установа: Інститут фізики конденсованих систем НАН України, відділ теорії
нерівноважних процесів та відділ квантово-статистичної теорії
процесів каталізу, м. Львів.

Захист відбудеться “16” червня 2004 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої
ради Д 64.169.01 при Інституті монокристалів НАН України за адресою: 61001, м. Харків,
проспект Леніна, 60.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Інституту монокристалів НАН
України за адресою: 61001, м. Харків, проспект Леніна, 60.

Автореферат розіслано “13” травня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.169.01
кандидат фізико-математичних наук

Добротворська М.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У колі сучасних проблем особливе місце займають енергетичні, екологічні, соціальні та інші задачі, вирішення яких вимагає, з одного боку, залучення величезних ресурсів, а з іншого не може бути досягнуто методом випробувань та помилок, оскільки системі неможливо нав'язати необхідну поведінку. У зв'язку з цим особливу актуальність набули дослідження еволюції складних¹ систем, що виявляється у самоорганізації фізичних, біологічних, соціальних та інших процесів. В результаті стає актуальною задача розробки найпростішої феноменологічної схеми, що дозволяє подати самоорганізацію складних систем подібно до термодинамічної схеми Ландау в теорії фазових переходів.

Процеси самоорганізації є об'єктом дослідження міждисциплінарного наукового напрямку, що отримав назву синергетика. На відміну від термодинаміки, де повна система розділяється на великий термостат і малу підсистему, досліджувана система набуває в процесі самоорганізації відкритого характеру, а її опис вимагає самоузгодженого представлення не однієї, а декількох гідродинамічних мод, що зводяться до параметра порядку, спряженого до нього поля та керуючого параметру. Дослідженню поведінки такого роду нерівноважних систем присвячена дана дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами і темами. Робота виконана на кафедрі фізичної електроніки Сумського державного університету і пов'язана з виконанням таких держбюджетних тем: „Стохастична теорія нерівноважного конденсованого стану” (номер державної реєстрації 0197U016609, термін виконання 1997-1999 рр.), „Суперсиметрична теорія невпорядкованих гетерополімерів” (номер державної реєстрації 0100U003216, термін виконання 2000-2002 рр.), „Синергетична теорія конденсованого середовища” (номер державної реєстрації 0103U000772, термін виконання 2003-2005 рр.).

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка оптимальної синергетичної схеми, що дозволяє самоузгодженим чином описати еволюцію складних систем в процесі самоорганізації. Оскільки поняття самоорганізації є узагальненням фізичної концепції фазового переходу, то запропоновану феноменологічну теорію слід розглядати як розвиток схеми термодинамічних перетворень для відкритих систем. Для підтвердження спільності розвинутого підходу вибрано широке коло складних систем, що включає фізичні та економічні об'єкти, а також ансамблі активних частинок. В результаті основна задача зводиться до розвитку синергетичної картини, згідно якої колективна поведінка складної системи визначається

¹ Складною вважається система, поведінка якої змінюється критичним чином в залежності від стану її складових.

сукупними характеристиками її складових, хоча в критичному стані кожна з них може кардинально вплинути на еволюцію повної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- для досліджуваної складної системи визначити мінімальний набір ступенів свободи, що зводиться до параметра порядку, спряженого до нього поля та керуючого параметру;
- побудувати самоузгоджену систему рівнянь, що визначають процес самоорганізації;
- знайти розв'язки синергетичної системи, що визначають стаціонарні значення параметрів самоорганізації;
- дослідити динамічну картину самоорганізації;
- врахувати вплив флуктуацій параметрів системи на процес самоорганізації;
- побудувати статистичну модель самоорганізації;
- дослідити самоподібний режим переривчастої течії самоорганізації.

Об'єктом дослідження є процес самоорганізації складних фізичних систем. Предметом дослідження є структуровані фізичні системи.

Методи дослідження. Нелінійні стохастичні рівняння самоорганізації розв'язувалися за допомогою використання адіабатичного наближення. Для знаходження стаціонарного розподілу параметра порядку використовувалося звичайне і дробово-диференціальне рівняння Фоккера–Планка. Дослідження динаміки процесу самоорганізації досягалося на основі методу фазової площини. Для побудови статистичної моделі систем із корельованим шумом використовувався метод розкладу за кумулянтами.

Наукова новизна отриманих результатів. В процесі виконання роботи були отримані такі нові результати:

1. Вперше отримана система рівнянь, що дозволяє самоузгодженим чином зобразити перехід до потокового стану як у неперервному, так і переривчастому режимах. Показано, що в останньому випадку флуктуації керуючого параметра сприяють прояву режиму самоорганізованої критичності, що характеризується степеневим розподілом тривалостей інтервалів течії.

2. Показано, що врахування деформаційного дефекту модуля середовища дозволяє описати режим самоорганізації, що відповідає фазовому переходу першого роду, коли параметри системи змінюються стрибками.

3. Запропонована синергетична модель, що дозволяє врахувати вплив детерміністичної компоненти на стохастичну поведінку (наприклад, вибір стратегії статистичного ансамблю). Показано, що стохастична система дотримується визначеної детерміністичної компоненти, якщо потужність останньої перевищує критичне значення, що задається середнім геометричним від повного та критичного значень.

4. Показано, що детермінована система переходить до впорядкованого стану, якщо керуючий параметр, що задається зовнішньою дією, перевищує критичне значення. Розвинуто синергетичну модель, яка дозволяє визначити статистичний розподіл системи, що самоорганізується, за значеннями параметра порядку. Показано, що степеневий хвіст розподілу відповідає режиму субдифузії. На основі фазових портретів досліджено процеси неперервного та переривчастого переходів між неупорядкованим та упорядкованим станами системи, що має різні співвідношення між часами зміни гідродинамічних мод. Проведено оцінку параметрів моделі, що сприяють переходу до упорядкованого стану.

5. Розвинуто синергетичну модель, що зображає колективний рух групи активних частинок. Показано, що рух такої групи як цілого реалізується для закритичних значень параметра внутрішнього стану. Знайдено розподіл за значеннями швидкості руху, форма якого задається співвідношенням інтенсивностей стохастичних джерел.

6. Проведено статистичне дослідження потокового стану, згідно якому зростання кореляцій у зміні керуючого параметра призводить до істотного зменшення області оптимального потоку.

Практичне значення отриманих результатів. Розвинута модель самоорганізації дозволяє прогнозувати поведінку гранульованого середовища та тонкого шару змазки, вибір стратегії фінансового ринку, колективний рух живих організмів, а також прогнозувати зміни у економічній структурі суспільства та формування транспортних потоків.

Особистий внесок здобувача. У роботах [1–11] участь автора дисертації полягала у вивченні літературних джерел, аналітичному та чисельному розв'язанні поставлених задач, а також у обговоренні отриманих результатів та роботі над публікаціями. В роботах [1, 10] дисертантом була досліджена система рівнянь самоорганізації в рамках адіабатичного наближення, а також проведено чисельні розрахунки залежності синергетичного потенціалу від декількох параметрів. В роботі [2] здобувачем були чисельно та аналітично отримані просторові залежності параметра порядку, спряженого поля та керуючого параметра для неоднорідної системи рівнянь самоорганізації. В роботах [3, 11] дисертантом було знайдено розподіл параметра порядку та побудовано фазову діаграму станів системи на прикладі структурованих середовищ. В роботі [4] здобувачем знайдені чисельні рішення для фрактальної системи рівнянь самоорганізації. В роботі [5] дисертантом були аналітично отримані та побудовані температурні та польові залежності для параметра порядку деформованої моделі Ізінга. В роботі [6] здобувачем було досліджено вплив детерміністичної компоненти на стохастичну поведінку системи на прикладі вибору стратегії статистичного ансамблю. В роботах [7–9] дисертантом було досліджено вплив корельованих флуктуацій керуючого параметра на процес самоорганізації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на таких конференціях:

- XV International School-Seminar „Spectroscopy of Molecules and Crystals” (Чернігів, 2001 р.);
- Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРІКА-2001 (Львів, 2001 р.);
- Всеукраїнська конференція молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРКА-2002 (Львів, 2002 р.);
- XVI International School-Seminar „Spectroscopy of Molecules and Crystals” (Севастополь, 2003 р.);
- Всеукраїнська конференція молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРІКА-2003 (Львів, 2003 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені у 6 статтях, із яких 5 опубліковано в спеціалізованих наукових журналах, що задовольняють вимогам ВАК України, і 5 збірках наукових праць і тез конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація викладена на 149 сторінках і складається із вступу, чотирьох розділів основного змісту з 32 рисунками, висновків, списку використаних джерел із 125 найменувань та додатку з 2 рисунками.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* викладається актуальність теми та обґрунтовується необхідність виконання роботи, її зв'язок з науковими програмами та темами, сформульовані мета і основні задачі дослідження, визначені наукова новизна роботи та практичне значення отриманих результатів, а також області їх можливого застосування.

У *першому розділі* проведено аналітичний огляд літературних джерел за темою дисертації. Приведено кінетичну теорію фазового перетворення, що описується параметром порядку, спряженим до нього полем та керуючим параметром. Викладено аксіоматичний підхід, що дозволяє описати самоорганізацію нерівноважної системи як для термодинамічного, так і для кінетичного перетворень. Показано, що в першому випадку система описується внутрішнім параметром типу щільності середовища незмінної величини, спряженим до нього полем, що зводиться до дивергенції відповідного потоку, та керуючим параметром, зовнішнє значення якого фіксує стаціонарний стан. Порівняння зі стандартними співвідношеннями нерівноважної термодинаміки показує, що визначені таким чином поле та керуючий параметр відповідають ентропії та внутрішній енергії, а процес самоорганізації проявляється у негативному значенні

ефективної температури. Для опису кінетичного перетворення роль параметра порядку відіграє узагальнений потік, а спряжене поле та керуючий параметр зводяться до градієнтів хімічного потенціалу та температури. Показано, що зростання останнього із вказаних градієнтів приводить до зменшення ентропії, що означає впорядкування потокового стану. В рамках теоретико-польового формалізму доводиться, що обидва вказані підходи отримуються із єдиної польової схеми, якій відповідає найбільш простий вибір лагранжіана та дисипативної функції. Виходячи з аналізу літературних даних, сформульовані задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений дослідженню процесів самоорганізації структурованих фізичних систем на прикладі гранульованого середовища та тонкого шару змазки. Для визначеності досліджується плоска течія Куетта, що забезпечується рівномірним рухом границі середовища вздовж горизонтальної осі, тоді як неоднорідність розвивається в перпендикулярному напрямку. Самоузгоджене врахування ефектів самоорганізації досягається доповненням гідродинамічних доданків членами, що враховують мікроскопічний внесок взаємодії окремих частинок в процесі течії. В результаті перехід гранульованого середовища до потокового стану описується системою рівнянь

$$\begin{aligned} \dot{u} &= -u + u'' + V'', \\ \frac{\tau}{t_u} \left(\frac{l}{\lambda} \right)^2 \dot{V} &= -u\sigma + V'', \\ \frac{t_\sigma}{t_u} \dot{\sigma} &= (\sigma_e - \sigma) - uV''. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут вибрана фізична система одиниць, що дозволяє позбутися неістотних сталих, крапка означає диференціювання за часом, штрих – за координатою; роль параметра порядку відіграє амплітуда флуктуацій u швидкості частинок, спряжене поле зводиться до середньої швидкості V , а керуючий параметр – до зсувної компоненти напружень σ ; t_u , τ , t_σ – відповідні часи релаксації, l і λ – масштаби теплопровідності та в'язкості. В адіабатичному наближенні, коли максимальним є час t_u зміни флуктуацій швидкості, кінетика системи визначається рівнянням Гінзбурга–Ландау–Халатнікова

$$\dot{u} = u'' - \frac{\partial E}{\partial u}, \quad E(u) = \frac{u^2}{2} - \frac{\sigma_e}{2} \ln(1 + u^2), \quad (2)$$

де $E(u)$ – енергія флуктуацій, σ_e – зсувна компонента зовнішніх напружень.

В стаціонарному стані ліва частина першого з рівнянь (2) набуває нульового значення. Це дозволяє знайти аналітичні вирази для просторових профілів середньої швидкості течії та її флуктуацій, які співпадають з експериментальними даними.

Перехід до потокового стану за механізмом фазового переходу першого роду описаний на прикладі задачі про затвердіння тонкого шару змазки. Тут достатньо знехтувати внеском

неоднорідних складових, а в якості параметра порядку, спряженого до нього поля та керуючого параметра вибрати зсувну компоненту напружень σ та деформацію ε , а також тиск, відрахований від критичного порогу, для якого динамічна в'язкість приймає нескінченне значення. Показано, що механізм перетворення першого роду досягається завдяки врахуванню деформаційного дефекту модуля зсуву згідно залежності

$$G(\sigma) = \Theta + \frac{G + \Theta}{1 + (\sigma/\sigma_G)} \quad (3)$$

де Θ – коефіцієнт зміцнення, G – початкове значення модуля зсуву, σ_G – величина компонента напружень, за якої відбувається в'язкопружний перехід.

Опис переривчастого режиму самоорганізації досягається введенням у останнє рівняння (1) стохастичного джерела, що характеризується білим шумом. В результаті поведінка системи описується просторово залежним рівнянням Ланжевена, стаціонарний розподіл однорідних рішень якого має квазігібсовий вигляд. Дослідження цього розподілу показує, що двофазний стан, який відповідає режиму переривчастої течії, обумовлений флуктуаціями внутрішніх напружень, завдяки яким система може випадковим чином переходити із твердого стану до плинного.

Опис особливостей переривчастої течії досягається введенням до рівняння самоорганізації стохастичних джерел і фрактального зворотного зв'язку. Це дозволяє описати степеневий хвіст розподілу інтервалів течії, показник якого визначається інтенсивністю зворотного зв'язку. З іншого боку, такий підхід відповідає використанню дробово-диференціального рівняння Фоккера–Планка, форма якого визначається динамічним показником та показником похідної за часом. Дослідження самоподібних рішень цього рівняння показує, що поведінка системи характеризується режимом субдифузії, який відповідає переривчастій течії середовища. Цей висновок підтверджується дослідженням рівняння Фоккера–Планка у нелінійній формі Цалліса, де величини показника похідної за часом і динамічного показника фіксуються значенням показника неадитивності стохастичної системи.

В *третьому розділі* розглянута самоорганізація статистичних ансамблів, флуктуації яких дозволяють пояснювати еволюцію систем економічного типу. Спочатку досліджується вплив коливань зовнішніх умов на вибір стратегії стохастичної системи, що становить найпростішу модель фінансового ринку. Еволюція такої системи описується самоузгодженими рівняннями типу (1), де роль параметра порядку відіграє корелятор інформації, що поступила, з подальшою зміною цін, спряжене до нього поле зводиться до наявної інформації, а керуючий параметр – до числа гравців N , діючих згідно певної стратегії. Використання адіабатичного наближення показує, що стан фінансового ринку задається числом стратегічно орієнтованих гравців, віднесеним до критичного значення. Величина останнього фіксується інтенсивностями

зворотних зв'язків, які визначають вплив спряженого поля на швидкість зміни параметра порядку, з одного боку, і взаємний вплив параметра порядку та керуючого параметра на швидкість зміни спряженого до нього поля, з іншого боку. Суттєва перебудова фінансового ринку, коли всі гравці дотримуються певної стратегії, відбувається, якщо їх початкове число перевищує критичний поріг, що задається середнім геометричним від повного та критичного значень числа гравців.

Статистичний розподіл системи, що самоорганізується, розглянуто на прикладі економічної структури суспільства, яка ґрунтується на самоузгодженому описі попиту Q , виробничої функції F та умовної ціни p . Якщо згідно з принципом ієрархічної підпорядкованості дві останні величини слідує за еволюцією першої, то система переходить до впорядкованого стану для закритичних значень керуючого параметра, що задається зовнішньою дією. В результаті економічна структура суспільства зображається розподілом попиту, вигляд якого задається стаціонарним рішенням синергетичних рівнянь, доповнених стохастичними джерелами з адитивними шумами (див. рис.1).

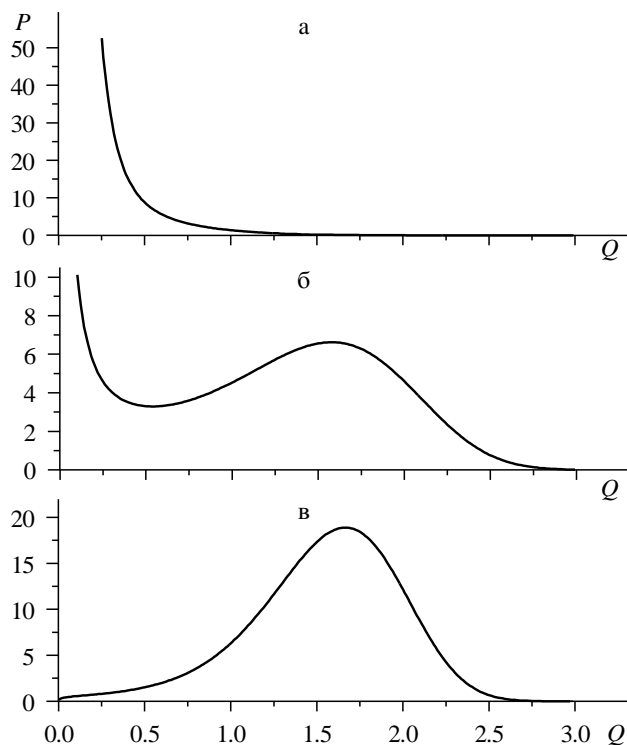


Рис.1. Залежність функції розподілу системи, що самоорганізується, від значень параметра порядку Q для різних співвідношень між інтенсивністю флуктуацій керуючого параметра I_p та його значенням p_e , що задається зовнішньою дією (а – $I_p = 1.1$, $p_e = 0.1$; б – $I_p = 2$, $p_e = 3$; в – $I_p = 1.1$, $p_e = 3.5$).

Такий розподіл визначається співвідношенням між інтенсивністю флуктуацій керуючого параметра I_p та його значенням p_e , що задається зовнішньою дією: для малих значень цих величин параметр порядку обмежений невеликими значеннями, що відповідають невпорядкованому стану (бідному населенню та низькопродуктивному стану економіки); із зростанням p_e або I_p з'являється максимум, який відповідає впорядкованому стану (середньому класу), і розподіл набуває бімодального характеру; при великих значеннях керуючого параметра, що задається зовнішньою дією, і малих флуктуаціях функція розподілу має єдиний максимум, який відповідає кінцевим значенням параметра порядку (впорядкованому або високопродуктивному стану). Розподіл попиту набуває степеневі асимптотики, відому як закон Парето, якщо коливання керуючого параметра переважають над випадковими змінами спряженого поля та параметра порядку. Дослідження самоподібної економічної системи показує, що існування надбагатого прошарку можливо тільки за наявності кризових явищ, які перешкоджають економічному розвитку протягом довгого часу.

Економічна еволюція системи для переходів між низько- та високопродуктивними станами подається фазовими портретами, які визначають поведінку параметра порядку Q , спряженого поля F і керуючого параметра p для різних співвідношень між часами їх зміни. Для несумірних масштабів зміни двох перших величин критичне зростання часу зміни величини p приводить до коливного режиму (див. рис.2,а), який означає, що високопродуктивний стан (точка O) досягається через послідовність криз і підйомів економіки.

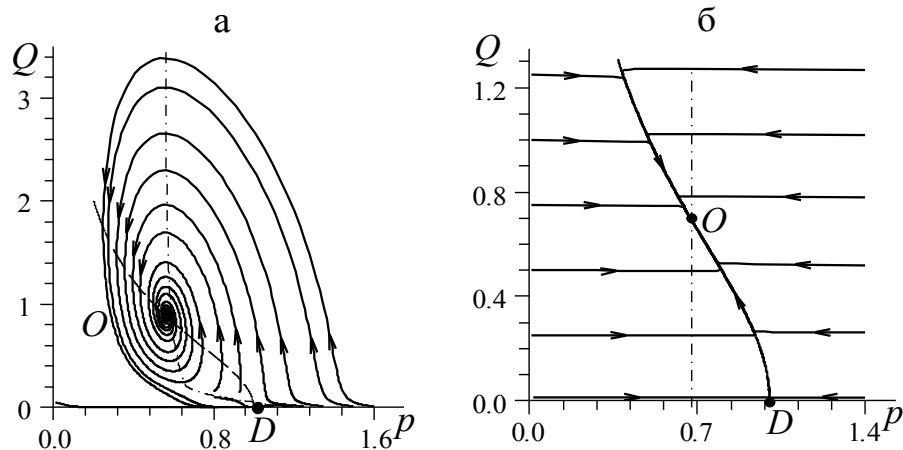


Рис.2. Фазові портрети для випадку, коли найменшим є час зміни спряженого поля: а) переривчастий перехід ($p_e = 1.8$); б) неперервний перехід ($p_e = 1.5$).

У протилежному випадку еволюція системи визначається універсальною ділянкою фазової траєкторії (рис.2,б), положення якої визначається значенням p_e , що задається зовнішньою дією. Якщо останнє не набагато перевищує критичне значення, а керуючий параметр змінюється

набагато повільніше за інші величини, то система переходить до режиму дивного аттрактора, де її еволюція стає зовсім непередбачуваною. Кореляційна вимірність аттрактора, що відповідає дробовій системі синергетичних рівнянь, набуває стрибкоподібних змін для екстремальних значень p_e , що відповідають деградації аттрактора до лінійної множини та стаціонарного стану. Встановленню нерегулярного режиму еволюції сприяє прискорення змін параметра порядку та уповільнення зростання керуючого параметра.

Четвертий розділ присвячений статистичній теорії активних частинок, що характеризуються корельованим шумом. Синергетичне зображення колективного руху таких частинок досягається, якщо у якості параметра порядку мати на увазі середню швидкість, а під спряженим до нього полем і керуючим параметром – далекосяжну силу хімічного типу та параметр внутрішнього стану, який визначає реакцію частинок на цю силу. Використання системи рівнянь самоорганізації типу (1) дозволяє отримати самоузгоджену картину спонтанного переходу групи живих організмів до режиму поступального руху. Введення стохастичних джерел показує, що залежно від ступеня збудження та інтенсивностей флуктуацій далекосяжної сили і параметра внутрішнього стану система може обертатися навколо порожнього центру мас (при цьому він залишається нерухомим), виконувати поступальний рух (утворюючи щільну групу) і рухатися переривчасто (послідовно чергуючи вказані режими).

Якщо в ролі активних частинок виступають керовані транспортні засоби, то характер колективного руху задається змінами у відхиленнях від оптимальних значень інтервалу та швидкості руху, а також внутрішнім параметром транспортного потоку, величина якого визначається умовами руху. Врахування кореляцій здійснюється введенням в останнє рівняння системи типу (1) стохастичного джерела, що зображає процес Орнштейна-Уленбека:

$$\langle \zeta(t) \rangle = 0, \quad \langle \zeta(t) \zeta(t') \rangle = \frac{I}{\tau_\zeta} \exp\left(-\frac{|t-t'|}{\tau_\zeta}\right) \quad (4)$$

де I – інтенсивність шуму керуючого параметра, τ_ζ – час кореляції. Припускаючи, що керуючий параметр підпорядковується змінам параметра порядку та спряженого до нього поля, еволюційне рівняння системи набуває канонічної форми стохастичного зображення осцилятора Ван дер Поля. Перехід до гамільтонового представлення з використанням розкладу за кумулянтами приводить до функції розподілу, форма якої задається зовнішньою дією. Виявляється, що основну роль в розкиді параметрів транспортного потоку відіграють скорельовані флуктуації його внутрішнього параметра. Зменшенню граничного значення цього параметра, величина якого визначає оптимальний режим руху, сприяє зростання низькочастотної складової інтенсивності шуму, а також збільшення характерного часу зміни інтервалу руху стосовно до відповідного масштабу зміни швидкості.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження була розвинута оптимальна синергетична модель, за допомогою якої можна описати еволюцію складних систем у процесі самоорганізації. Встановлені в роботі взаємозв'язки між зовнішньою дією та параметрами самоорганізації складної системи дозволяють розширити уявлення про механізми, статистичну картину та кінетику фазових перетворень. Основні результати дисертації можуть бути сформульовані у вигляді таких висновків.

1. Отримана система синергетичних рівнянь, що дозволяє самоузгодженим чином зобразити перехід середовища до неоднорідного потокового стану. Знайдено просторові розподіли параметра порядку та спряженого до нього поля. Показано, що дефект пружного модуля середовища приводить до режиму самоорганізації за механізмом фазового переходу першого роду.

2. Показано, що врахування флуктуацій керуючого параметра дозволяє зобразити переривчастий режим переходу до потокового стану. Введення стохастичних джерел і фрактального зворотного зв'язку приводить до степеневого розподілу за розмірами лавини.

3. Показано, що синергетичне представлення стаціонарного стану відкритої системи дозволяє описати вплив детерміністичної компоненти на стохастичну систему. В рамках адіабатичного наближення показано, що стохастична система підпорядковується визначеній детерміністичній компоненті, якщо потужність останньої перевищує критичний поріг, що задається середнім геометричним від повного та критичного значень.

4. Знайдено умову, за якої детермінована система переходить до упорядкованого стану. Включення стохастичних джерел з адитивними шумами показує, що статистичний розподіл характеризується степеневим хвостом, що відповідає режиму субдифузії. Проведено дослідження неперервного та переривчастого режимів самоорганізації для різних співвідношень часів зміни гідродинамічних мод. Підтверджено, що перехід до режиму дивного аттрактора, де еволюція системи стає непередбачуваною, відбувається, якщо керуючий параметр змінюється набагато повільніше за інші степені свободи.

5. Отримано систему рівнянь колективного руху активних частинок. Залежно від ступеня збудження та інтенсивностей стохастичних джерел знайдено розподіл режимів руху. В рамках статистичного дослідження потокового стану показано, що зростання кореляцій зміни керуючого параметра приводить до істотного зменшення області оптимального потоку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Khomenko A.V., **Yushchenko O.V.** Solid-liquid transition of ultra-thin lubricant film // *Physical Review E*. – 2003. – V.68, №3. – P.036110(1-6).
2. Олемской А.И., **Ющенко О.В.** Феноменологическая теория перехода сыпучей среды в текучее состояние // *ЖТФ*. – 2003. – Т.73, вып.10. – С. 13-17.
3. Олемской О.І., **Ющенко О.В.** Статистична теорія переривчастого режиму течії сипучого середовища // *УФЖ*. – 2003. – Т.48, №10.– С.1095-1103.
4. Олемской А.И., Кохан С.В, **Ющенко О.В.** Зависимость размерности аттрактора Лоренца от внешнего воздействия // *Вісник Сумського державного університету*. – 2003. – № 8(54). – С. 5-16.
5. Olemskoi A.I., **Yushchenko O.V.** Phase transition within deformed Ising model // *Вісник Сумського державного університету*. – 2003. – № 10(56). – С. 13-22.
6. Олемской А.И., **Ющенко О.В.** Синергетическая картина финансового рынка, эволюционирующего в соответствии с поступающей информацией // *Механизм регулирования экономики*. – 2003. – №1. – С. 112-117.
7. Khomenko A.V., Kharchenko D.O., **Yushchenko O.V.** Noise influence of characteristic acceleration/braking time on synergetic jamming transition // *Тези доповідей міжнародної конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРІКА–2001*. – Львів: ЛНУ. – 2001.– С. 54.
8. Khomenko A.V., Kharchenko D.O., **Yushchenko O.V.** Synergetic jamming transition subjected to noise of characteristic acceleration/braking time // *Abstracts of XV International School-Seminar “Spectroscopy of Molecules and Crystals”* – Чернігів: Інститут фізики НАН України. – 2001. – С. 237.
9. Хоменко О.В., Харченко Д.О., **Ющенко О.В.** Перехід між режимами транспортного потоку з урахуванням флуктуацій характерного часу прискорення/гальмування // *Збірник тез всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРІКА–2002*. – Львів: ЛНУ. – 2002.– С. 189-190.
10. Khomenko A.V., **Yushchenko O.V.** Synergetic theory of ultra-thin lubricant film melting // *Збірник тез всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРІКА–2003*. – Львів: ЛНУ. – 2003.– С. 162
11. Olemskoi A.I., **Yushchenko O.V.** Statistical theory of granular matter flow in stick-slip regime // *Abstracts of XVI International School-Seminar “Spectroscopy of Molecules and Crystals”* – Севастополь: Інститут фізики НАН України. – 2003. – С. 101.

Ющенко О.В. Синергетичне представлення колективної поведінки складних систем. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика. – Інститут монокристалів НАН України, Харків, 2004.

Дисертація присвячена розробці оптимального синергетичного підходу, що дозволяє самоузгодженим чином описати еволюцію складних систем в процесі самоорганізації. В дисертації вирішені такі задачі: знайдено мінімальний набір параметрів самоорганізації, для яких побудована самоузгоджена система синергетичних рівнянь; досліджені стаціонарні розв'язки цієї системи та динамічний режим самоорганізації; побудована статистична модель самоорганізації.

Для структурованих об'єктів описано перехід до неоднорідного потокового стану та переривчастий режим течії. Визначено умови, коли стохастична система дотримується детерміністичної стратегії, досліджено динаміку процесу самоорганізації. Отримано систему стохастичних рівнянь, що зображає поведінку ансамблю активних частинок.

Ключові слова: рівняння самоорганізації, параметр порядку, спряжене поле, керуючий параметр, стохастична система.

Yushchenko O.V. Synergetic representation of the collective behavior of complex systems. – Manuscript.

Thesis submitted for a Doctor of Philosophy (Ph.D.) degree in physics and mathematics, specialty 01.04.02 – theoretical physics, Institute for Single Crystals of National Academy of Science of Ukraine, Kharkiv, 2004.

The present work is concerned with development of optimal synergetic approach to give self-consistent description of complex system evolution during self-organization process. The following problems are studied: minimal sets of self-organization parameters are found to build up self-consistent systems of self-organization equations; relevant stationary solutions and possible dynamic regimes are studied; statistical model of self-organization process is developed.

Transition into inhomogeneous flux state and stick-slip regime are described. Conditions when stochastic system follows to deterministic strategy are stated and dynamics of self-organization process is studied. System of stochastic equations is obtained to describe behavior of ensemble of active particles.

Keywords: self-organization equations, order parameter, conjugate field, control parameter, stochastic system.

Ющенко О.В. Синергетическое представление коллективного поведения сложных систем. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика. – Институт монокристаллов НАН Украины, Харьков, 2004.

Диссертация посвящена разработке оптимального синергетического подхода, позволяющего самосогласованным образом описать эволюцию сложных систем в процессе самоорганизации. Общность развитого подхода продемонстрирована на широком круге сложных систем, включающем физические и экономические объекты, а также и ансамбли активных частиц. Показано, что коллективное поведение сложной системы определяется совокупными характеристиками её составляющих, хотя в критическом состоянии каждая из них может существенно влиять на эволюцию полной системы. Установленные в работе взаимосвязи между внешним воздействием и параметрами самоорганизации сложной системы позволяют расширить представления о механизмах, статистической картине и кинетике фазовых превращений.

Достижение цели диссертации обеспечивается решением следующих задач: для каждого из выбранных объектов исследования найден минимальный набор степеней свободы, сводящийся к параметру порядка, сопряженному полю и управляющему параметру; построена самосогласованная система уравнений, определяющих процесс самоорганизации; найдены решения синергетической системы, определяющие стационарные значения её параметров; исследована динамическая картина самоорганизации; определено влияние флуктуаций и построена статистическая картина процесса самоорганизации; исследован самоподобный режим прерывистого процесса самоорганизации.

Для структурированных физических объектов типа гранулированной среды и тонкого слоя смазки получена система синергетических уравнений, позволяющая представить переход в неоднородное потоковое состояние. В простейшем случае течения Куэтта найдены пространственные распределения флуктуаций скорости и её среднего значения, которые совпадают с экспериментальными данными. Показано, что дефект упругого модуля среды позволяет описать режимы самоорганизации, отвечающие механизмам фазовых переходов первого и второго родов. Учет флуктуаций управляющего параметра позволяет представить прерывистый режим, в котором система попеременно переходит в потоковое состояние либо покоится. Введение стохастических источников описывает распределение по интервалам течения, степенной хвост которого представляется фрактальной обратной связью, обусловленной заменой параметра порядка его степенью с дробным показателем.

Показано, что синергетическое представление стационарного состояния открытой системы позволяет описать влияние детерминистической компоненты на стохастическую систему. Оказывается, что последняя следует определенной детерминистической стратегии, если её мощность превышает критический порог, задаваемый средним геометрическим от полного и критического значений. Включение стохастических источников с аддитивными шумами показывает, что статистическое распределение приобретает степенной хвост, отвечающий режиму субдиффузии. На основе метода фазовой плоскости проведено исследование динамических режимов самоорганизации при различных соотношениях времён изменения гидродинамических мод. Показано, что при аномальном нарастании параметра накачки странный аттрактор вырождается в линейное множество, а затем в точку.

Получена система стохастических уравнений коллективного движения ансамбля активных частиц. В зависимости от степени возбуждения системы и интенсивностей стохастических источников найдено распределение режимов движения, сводящихся к поступательному смещению ансамбля, вращению вокруг центра масс и их чередованию. На основе разложения по кумулянтам проведено статистическое исследование потокового состояния с цветным шумом. Показано, что рост корреляций в изменении управляющего параметра приводит к существенному сужению области оптимального потока.

Ключевые слова: уравнения самоорганизации, параметр порядка, сопряженное поле, управляющий параметр, стохастическая система.