

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім.Тараса Шевченка**

На правах рукопису

ЦЕХМІСТЕР ЯРОСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 536.42 + 536.75

**БІФУРКАЦІЯ ХОПФА І ТЮРІНГА У
ФЛУКТУАЦІЙНИХ МОДЕЛЯХ ПРОЦЕСІВ
САМООРГАНІЗАЦІЇ**

Спеціальність 01.04.14. — теплофізика і молекулярна фізика

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ — 1994



Дисертація є рукопис.

Робота виконана на кафедрі біологічної фізики
Українського державного медичного університету
ім.О.О.Богомольця.

Науковий керівник: — академік АН ВШ України,
доктор фізико-математичних наук,
професор Чалий О.В.

Офіційні опоненти:
доктор фізико-математичних наук, професор Сітько С.П.
доктор фізико-математичних наук, професор Сугаков В.І.

Провідна установа — Одеський державний університет
ім.І.І.Мечнікова.

Захист дисертації відбудеться "14" червня 1994 р.
о 14³⁰ год. _____ хв. на засіданні Спеціалізованої ради
Д.068.1822 у Київському університеті ім.Тараса Шевченка
/252022, Київ — 22, проспект акад. Глушкова, 6, фізичний фа-
культет/.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці
Київського університету ім.Тараса Шевченка.

Автореферат розісланий "14" травня 1994 р.

Вчений секретар Спеціалізованої ради
кандидат фізико-математичних наук,
доцент

Верлач

Верлач Е.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Значним досягненням в розвитку науки за останні роки стало розуміння фундаментальних основ і принципів самоорганізації у відкритих системах різної природи (фізичних, хімічних, біологічних, тощо), удалених від положення рівноваги. Зараз можна стверджувати про створення нової міждисциплінарної області — синергетики, яка вивчає загальні принципи утворення просторових, часових і просторово-часових структур у відкритих системах.

Серед найбільш розвинутих методів, які використовуються у синергетиці, можна виділити:

- 1) методи теорії нелінійних коливань;
- 2) методи кінетичних моделей;
- 3) методи теорії фазових переходів.

Аномально велика сприйнятливість систем, в яких відбуваються фазові переходи і які знаходяться поблизу межі стійкості, є характерною, як відомо, для рідин, магнетиків, сплавів та інших фізичних об'єктів, а також і для біоб'єктів таких, як синаптичні щілини, де відбуваються важливі процеси міжклітинної взаємодії. Саме для подібних систем притаманна специфіка, яка пов'язана з суттєвим впливом на їх властивості різних зовнішніх полів. Ця принципова обставина виділяє метод теорії фазових переходів серед інших методів синергетики.

Певна аналогія між процесами впорядкування у відкритих системах і фазовими переходами оснований на важливій ролі флуктуацій параметра порядку (керуючої моди), скорельованих на великих відстанях і часових проміжках.

Значну увагу в даному дослідженні приділено побудові і аналізу кінетичних моделей, узгоджених з теорією фазових переходів. Дійсно, кінетичні моделі типу "брюселятора", "орегонатора", Гірера-Майнхарта, які використовуються при моделюванні процесів впорядкування та самоорганізації, не узгоджені з основними концепціями фізики фазових переходів в тому розумінні, що вони не можуть бути отримані з флуктуаційної частини вільної енергії (гамільтоніану Ландау-Гінзбурга) для системи з взаємодіючими параметрами порядку. Це є певним недоліком вказаних моделей, тому що в сучасному підході процеси утворення когерентних структур у відкритих системах різної природи трактуються як нерівноважні фазові переходи.

Ще однією перевагою нових флуктуаційних моделей про-

цесів самоорганізації і впорядкування є те, що параметри цих моделей мають певний фізичний (хімічний чи біохімічний) зміст. Ці параметри можуть бути обчислені, якщо відоме рівняння стану досліджуваної фізичної (хімічної чи біохімічної) системи. У відомих кінетичних моделях подібні параметри вважаються вільними і коливальні розв'язки з'являються при певних їх значеннях, які можуть бути визначені, а posteriori, тільки в результаті знаходження саме таких розв'язків.

Послідовне врахування флуктуацій в процесах самоорганізації і впорядкування дозволяє створити строгу молекулярну теорію когерентних структур у відкритих системах, а також врахувати вплив зовнішніх полів на впорядковані структури, зокрема електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону.

Мета роботи: Основна мета дисертаційної роботи полягає у побудові нових флуктуаційних моделей когерентних процесів, які дозволяють розв'язати такі задачі:

1. Провести якісний теоретичний аналіз побудованих моделей, знайти характерні для них граничні режими (стаціонарні просторові структури, часові осциляції).

2. Для флуктуаційних моделей процесів самоорганізації з двома взаємодіючими параметрами порядку сформулювати загальні умови виникнення біфуркацій Хопфа, які відповідають спонтаному або індукційованому зовнішніми впливами формуванню часових дисипативних структур.

3. Для флуктуаційних моделей процесів самоорганізації з двома взаємодіючими параметрами порядку встановити критерії дифузійної нестійкості, яка призводить до виникнення просторово неоднорідних станів (біфуркації Т'юрінга).

4. Вивчити вплив зовнішнього поля, зокрема слабкоінтенсивного електромагнітного випромінювання (ЕМВ) міліметрового, надвисокочастотного (НВЧ) діапазону, на системи з хімічними (біохімічними) реакціями поблизу їх межі стійкості.

Наукова новизна роботи. В дисертаційній роботі вперше на основі синергетичного підходу, який використовує досягнення сучасної теорії фазових переходів, теоретично вивчені нові флуктуаційні моделі процесів самоорганізації, а саме:

— вивчено характер особливих точок і стійкість розв'язків для досліджуваних моделей;

— показано, що для флуктуаційних моделей, наближених до моделі Брюселятора, можливе при певних умовах виникнення просторових впорядкованих структур;

— для флуктуаційної моделі з четверною взаємодією флуктуацій параметрів порядку знайдені умови утворення часових впорядкованих структур;

— сформульовані умови виникнення біфуркацій Хопфа для флуктуаційних моделей процесів самоорганізації при різних співвідношеннях між параметрами характеристичного дисперсійного рівняння, спеціальну увагу приділено вивченню можливості виникнення граничного циклу;

— знайдені критерії дифузійної нестійкості, які були застосовані до аналізу виникнення біфуркації Т'юрінга для флуктуаційних моделей об'єктів, ізоморфних хімічно (біохімічно) реагуючим системам поблизу межі їх стійкості;

— розвинуто підхід до вивчення впливу зовнішнього поля, зокрема слабкоінтенсивного електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону, на системи з хімічними (біохімічними) реакціями, які поблизу межі їх стійкості описуються запропонованими флуктуаційними моделями з двома взаємодіючими параметрами порядку.

Наукова і практична значимість роботи. Теоретичні висновки дисертаційної роботи можуть бути використані для побудови флуктуаційних моделей процесів самоорганізації, що є важливим для ефективного аналізу широкого класу синергетичних проблем, а також з'ясування реакцій на зовнішні впливи і керування цими процесами. За допомогою теоретичних критеріїв виникнення біфуркацій Хопфа і Т'юрінга створюється можливість більш строгим чином побудувати фундаментальну молекулярну теорію утворення когерентних структур у відкритих системах, включаючи біооб'єкти.

Результати, отримані у роботі, можуть бути використані при розробці послідовних теоретичних основ методу мікрохвильової резонансної терапії (МРТ).

На захист виносяться такі положення:

1. Результати теоретичного аналізу особливих точок для трьох типів флуктуаційних моделей:

а) моделі, близької до відомої моделі Брюселятора, без урахування дифузійних ефектів;

б) цієї ж моделі з урахуванням дифузійних ефектів;

в) моделі з четверною взаємодією флуктуацій.

2. Отримання і аналітичне дослідження умов виникнення біфуркації Хопфа, яка відповідає спонтаному формуванню часових дисипативних структур, вихід на які відбувається в за-

лежності від співвідношення між коефіцієнтами флуктуаційних моделей з двома взаємодіючими параметрами порядку.

3. Отримання і аналітичне дослідження критеріїв дифузійної нестійкості, яка призводить до утворення просторових небднорідних станів (біфуркації Т'юрінга) у флуктуаційних моделях процесів самоорганізації.

4. Принципова можливість реалізації умов біфуркації Хопфа і Т'юрінга у флуктуаційних моделях процесів самоорганізації з двома взаємодіючими параметрами порядку при існуванні зовнішнього поля.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на Шостому Всесвітньому конгресі з проблем медичинської фізики і медикобіологічної інженерії (Киото, Японія, 1991), Сьомій Міжнародній конференції з поверхні і колоїдів (Комп'єн, Франція, 1991), Сьомій Всесоюзній конференції "Сучасні проблеми теплофізики" (Новосибірськ, 1992), Дев'ятій Теплофізичній конференції країн СНД (Махачкала, 1992), Українсько-Французькому симпозіумі "Конденсована матерія: наука і індустрія" (Львів, 1993), Першій Українській конференції "Структура і фізичні властивості неупорядкованих систем" (Львів, 1993), Міжнародній конференції "Фізика на Україні" (Київ, 1993).

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в 11 роботах, які приведені в кінці автореферату.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, висновків, списку літератури (156 назв). Робота викладена на 148 сторінках машинописного тексту, включає 12 рисунків і 3 таблиці.

ЗМІСТ РОБОТИ

У Вступі обґрунтовується актуальність теми дослідження, визначаються предмет, мета і завдання дослідження, аргументується наукова новизна, теоретична і практична значимість роботи, формулюються основні положення, що виносяться на захист, описується структура роботи.

ГЛАВА I. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ВПОРЯДКУВАННЯ І САМООРГАНІЗАЦІЇ В СИСТЕМАХ РІЗНОЇ ПРИРОДИ.

У першій главі аналізуються теоретичні підходи до опису явищ виникнення стійких структур в системах різної природи. Суттєві успіхи в розв'язку таких проблем стали можливими завдяки розвитку нової міждисциплінарної області — синергетики.

Проведено аналіз сучасних методів, які застосовуються в синергетиці. Серед них виділений метод теорії фазових переходів, завдяки якому створюється можливість врахувати флуктуаційні ефекти поблизу фазового переходу, при умові введення нового просторового масштабу — радіуса кореляції R_c , флуктуацій параметра порядку. Розглянутий також метод ренормалізаційної групи, застосований до гамільтоніану Ландау-Гінзбурга. Обговорені питання обчислення критичних індексів, метод колективних змінних, а також процедура побудови амплітудного рівняння.

В главі проведено також короткий аналіз загальних принципів утворення впорядкованих структур в біоб'єктах на рівні біохімічних реакцій, що відповідають за синаптичні механізми передачі інформації, в присутності зовнішнього електромагнітного поля. Показано, що фізико-хімічний механізм переходу системи в впорядкований стан під дією ЕМВ оснований на зміні хімічних потенціалів компонентів реакції μ_i (спорідненості Λ), що викликає в свою чергу ефективну зміну координат точок біфуркації (зокрема, критичних значень температури або тиску) і перехід системи через межу стійкості, де нульовий та другі моменти прямої кореляційної функції (ПКФ) змінюють свої знаки.

ГЛАВА II. МОДЕЛЮВАННЯ ВПОРЯДКОВАНИХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ СТРУКТУР В БІОБ'ЄКТАХ.

У другій главі дається загальна характеристика флуктуаційних моделей, основні моменти дослідження яких такі:

1. Використання флуктуаційних гамільтоніанів для систем з двома взаємодіючими параметрами порядку

$$\mathcal{H} = \sum_{i=1}^2 \mathcal{H}_{nr} [\varphi_i] + \mathcal{H}_{int} [\varphi_1, \varphi_2], \quad (1)$$

де

$$\mathcal{H}_{nr} [\varphi_i] = \int \left[\frac{1}{2} a_i \varphi_i^2 + \frac{1}{4} b_i \varphi_i^4 + \frac{1}{2} c_i (\nabla \varphi_i)^2 \right] dv \quad (2)$$

гамільтоніан Ландау-Гінзбурга, $\mathcal{H}_{int} [\varphi_1, \varphi_2]$ — гамільтоніан взаємодії флуктуацій різних параметрів порядку.

2. Флуктуаційний гамільтоніан у вигляді (1) і (2) визначає структуру кінетичних рівнянь (рівнянь руху) для параметрів

порядку: $\dot{\varphi}_i = -\Gamma_i \frac{\delta \mathcal{H}}{\delta \varphi_i} = -\Gamma_i (a_i \varphi_i + b_i \varphi_i^3 - c_i \Delta \varphi_i + \delta \mathcal{H}_{int} / \delta \varphi_i)$, (3)

де Γ_i — кінетичні коефіцієнти Онзагера.

3. Зовнішній вплив змінює величини i , можливо, знаки коефіцієнтів в рівнянні руху (3) такі як a_i , що пов'язані із оберненими сприйнятливостями, а також коефіцієнти дифузії D_i . Крім того, зовнішні впливи дають додаткові внески в гамільтоніан (1) вигляду $\varphi_i h_i$ і, відповідно, h_i в рівняння руху (3).

4. Тип особливих точок для системи лінеаризованих поблизу стаціонарних розв'язків рівнянь руху визначається за відомою класифікацією особливих точок по Пуанкаре структурою коренів відповідного характеристичного рівняння.

Досліджено три моделі процесів впорядкування і самоорганізації, які узгоджені з вимогами сучасної теорії фазових переходів:

а) флуктуаційна модель, наближена до відомої моделі Брю-сел'ятора без урахування дифузійних ефектів:

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = A - cx + By - xy^2, \\ \frac{\partial y}{\partial t} = Bx - x^2y; \end{cases} \quad (4)$$

б) така сама модель, але з урахуванням дифузійних ефектів:

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = A - cx + By - xy^2 + Dx \frac{\partial^2 x}{\partial x^2}, \\ \frac{\partial y}{\partial t} = Bx - x^2y + Dy \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}; \end{cases} \quad (5)$$

в) флуктуаційна модель з четверною взаємодією флуктуацій:

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = A_1 x + B_1 x^3 + Q_1 xy^2 + Dx \frac{\partial^2 x}{\partial x^2}, \\ \frac{\partial y}{\partial t} = A_2 y + B_2 y^3 + Q_2 x^2 y + Dy \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}. \end{cases} \quad (6)$$

Моделі (5) відповідає така структура флуктуаційного гамільтоніану з двома взаємодіючими параметрами порядку:

$$\begin{aligned} \mathcal{H} &= \mathcal{H}_N[x] + \mathcal{H}_N[y] + \mathcal{H}_{int}[x, y], \\ \mathcal{H}_N &= \int (a_i x^2 + h_i x + c_i (\nabla x)^2) dV, \end{aligned}$$

$$H_{nr}[y] = \int c_2 (\nabla y)^2 dV,$$

$$H_{int}[x, y] = \int (f_1 xy + f_2 x^2 y^2) dV.$$

Для моделі (6) в гамільтоніані взаємодії H_{int} врахована лише четверна взаємодія флуктуацій параметра порядку:

$$H_{int}[x, y] = f_2 \int x^2 y^2 dV.$$

В процесі дослідження вивчено характер особливих точок і стійкість розв'язків для цих моделей. Встановлено, що для флуктуаційної моделі, яка наближена до моделі Брюселятора, можливе утворення просторових періодичних структур (біфуркацій Т'юрінга) при умові $D_x D_y > 0$ і $c > 0$. Для флуктуаційної моделі з четверною взаємодією двох параметрів порядку сформульовано умови виникнення часових періодичних структур (біфуркації Хопфа).

Основна проблема для реалізації часових осциляцій пов'язана з виконанням умови $Q_1 Q_2 < 0$, що вимагає "вторгнення" системи по одному з параметрів порядку в область термодинамічної нестійкості.

Чисельний експеримент продемонстрував нетривіальну поведінку досліджуваної моделі, зокрема можливість втрати стійкості — перехід до нестійкого граничного циклу, який можна трактувати як самоорганізацію.

Таким чином, отримані результати свідчать, що можливий вихід за межі рівноважної теорії, незважаючи на формальне використання стандартних флуктуаційних гамільтоніанів типу гамільтоніану Ландау-Гінзбурга.

Зокрема, стабілізація термодинамічно нестійких станів (їх структурна стійкість) стає можливою завдяки виникненню просторових, часових і просторово-часових періодичних структур. Крім цього, використання гамільтоніанів типу Ландау-Гінзбурга не означає обов'язково, що досліджувана система є закритою. Дійсно, такий підхід може бути використаний у випадку відкритих систем з "стаціонарним станом" за І. Пригожином, в яких виробництво ентропії всередині відкритої системи, що відбувається в результаті необоротних дисипативних процесів, пов-

ністю компенсується притоком негентронії (від'ємної ентропії) ззовні, тобто

$$\Delta S_{\text{новн.}} = \Delta S_i + \Delta S_e = 0,$$

$$\Delta S_i = \int_V \sigma dv^n$$

де σ — позитивне виробництво ентропії всередині системи, а $\Delta S_e = -\Delta N \leq 0$ — від'ємний приток ентропії з навколишнього середовища.

ГЛАВА III. НОВІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ КОГЕРЕНТНОГО ВПОРЯДКУВАННЯ В БІООБ'ЄКТАХ.

У третій главі досліджені флуктуаційні моделі процесів впорядкування самоорганізації з двома взаємодіючими параметрами порядку загального вигляду.

Рівняння руху для таких моделей мають вигляд:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \Psi(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n) + D_1 \nabla^2 x_1, \\ \dot{x}_2 = \Theta(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n) + D_2 \nabla^2 x_2, \end{cases} \quad (6)$$

де Ψ і Θ — довільні нелінійні функції.

З точки зору флуктуаційної теорії фазових переходів рівняння (6) відповідають заданню нелокальної частини флуктуаційного гамільтоніану в наближенні Орнштейна-Церніке:

$$\mathcal{H}_{\text{нелокал.}}[x_1, x_2] = \int c_i (\nabla x_i)^2 dx.$$

Характеристичне (дисперсійне) рівняння для (6) має вигляд:

$$\begin{aligned} & [2\lambda + E_1(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n) + E_2(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n)]^2 = \\ & = [E_1(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n) - E_2(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n)]^2 + \\ & + 4E_3(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n), \end{aligned} \quad (7)$$

де

$$E_1(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n) = D_1 k^2 - \frac{\partial \Psi}{\partial x_1},$$

$$E_2(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n) = D_2 k^2 - \frac{\partial \Theta}{\partial x_2},$$

$$E_3(\tilde{x}_{10}, \tilde{x}_{20}; \xi_1, \dots, \xi_n) = \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x_2} \right) \cdot \left(\frac{\partial \Theta}{\partial x_1} \right).$$

(8)

Проведений аналіз флуктуаційних моделей процесів впорядкування і самоорганізації дозволив сформулювати загальні твердження, які визначають умови виникнення біфуркації Хопфа, а саме умови виникнення часових осциляцій відповідає така нерівність:

$$(E_1 - E_2)^2 + 4E_3 < 0. \quad (9)$$

Наведені також основні співвідношення щодо реалізації умов виникнення граничного циклу і біфуркації Хопфа під впливом ЕМВ НВЧ діапазону.

Так, використовуючи аналітичну структуру флуктуаційних гамільтоніанів типу гамільтоніану Ландау-Гінзбурга, параметри $a_{i1} = \partial H / \partial x_i$ і $b_{2j} = \partial \theta / \partial x_j$ виявляються зв'язаними із оберненими сприйнятливостями середовища, що безпосередньо визначаються з рівняння стану досліджуваної системи (в нашому розгляді — з сприйнятливостями біохімічних реакцій до слабких зовнішніх впливів, обумовлених ЕМВ НВЧ діапазону), а саме

$$a_{i1} = \frac{\partial \mu_1}{\partial x_i} = \frac{\partial \mu_1^{(0)}}{\partial x_i} + \frac{\partial \Delta \mu_1^{(E,H)}}{\partial x_i}, \quad (10)$$

$$b_{2j} = \frac{\partial \mu_2}{\partial x_j} = \frac{\partial \mu_2^{(0)}}{\partial x_j} + \frac{\partial \Delta \mu_2^{(E,H)}}{\partial x_j}.$$

Перші доданки в (10) характеризують обернені сприйнятливості при відсутності зовнішніх впливів, а другі — внески в ці величини, пов'язані з присутністю електромагнітного поля, причому

$$\Delta \mu_i^{(E,H)} = -\frac{1}{2} \left(\epsilon_0 \frac{\partial \epsilon_i}{\partial x_i} E^2 + \tilde{\mu}_0 \frac{\partial \tilde{\mu}_i}{\partial x_i} H^2 \right) \quad (11)$$

де ϵ_0 і $\tilde{\mu}_0$ — відповідно діелектрична і магнітна проникливість середовища.

Одержана умова виникнення граничного циклу:

$$E_3 = (a-b)(a-c) < 0, \quad (12)$$

де

$$a = \frac{\partial \mu_1^{(0)}}{\partial x_2} = \frac{\partial \mu_2^{(0)}}{\partial x_1} = \frac{\partial^2 \mathcal{H}_{\text{max}}^{(0)}}{\partial x_1 \partial x_2},$$

$$b = \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 \frac{\partial^2 \epsilon_1}{\partial x_1 \partial x_2} E^2 + \tilde{\mu}_0 \frac{\partial^2 \tilde{\mu}_1}{\partial x_1 \partial x_2} H^2 \right),$$

$$c = \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 \frac{\partial^2 \epsilon_e}{\partial x_1 \partial x_2} E^2 + \mu_0 \frac{\partial^2 \mu_e}{\partial x_1 \partial x_2} H^2 \right).$$

Умова (12) має місце при виконанні співвідношень а) $b > a > c$ чи б) $c > a > b$, які можуть реалізуватись поблизу точок фазових переходів, де похідні від діелектричної проникливості за концентраціями визначаються формулами:

$$\frac{\partial^2 \epsilon_i}{\partial x_1 \partial x_2} \sim \begin{cases} \alpha_i R_c^{1+2/\xi} & (KR_c < 1) \\ \beta_i R_c^{2/\xi-1} & (KR_c > 1) \end{cases} \quad (13)$$

де критичний індекс $\xi \approx 1,8$, а K — волновий вектор.

Таким чином, теоретично обґрунтована ефективність розвиваємої біохімічної концепції виникнення когерентних просторових і часових структур під дією ЕМВ НВЧ діапазону, зокрема, зв'язок з аномальною поведінкою діелектричної проникливості (точніше, її похідних по параметру порядку) поблизу особливих (біфуркаційних) точок і екстремумами уявної частини діелектричної проникливості біологічних рідин саме в НВЧ діапазоні електромагнітних хвиль.

ГЛАВА IV. ВИНИКНЕННЯ ДИФУЗІЙНОЇ НЕСТІЙКОСТІ В БІОБ'ЄКТАХ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ.

У четвертій главі продовжені дослідження флуктуаційних моделей і отримані критерії дифузійної нестійкості, яка призводить до виникнення просторово неоднорідних станів (біфуркації Т'юрінга).

Для отримання критерія появи біфуркації Т'юрінга була введена така функція:

$$\chi(t) = \frac{1}{2} \int_0^1 \left[\left(\frac{\partial x_1}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial x_2}{\partial z} \right)^2 \right] dz, \quad (14)$$

яка пов'язана з просторовими похідними від параметрів порядку досліджуваної флуктуаційної моделі, тобто враховує просторову нелокальність (просторову дисперсію) цих параметрів порядку.

Згідно з (14) швидкість зміни функції $\chi(t)$ задовольняє виразу:

$$\dot{\chi}(t) = \int_0^1 \left(\frac{\partial x_1}{\partial z} x_{1zt}'' + \frac{\partial x_2}{\partial z} x_{2zt}'' \right) dz \quad (15)$$

За допомогою величин

$$\delta^* = \sup_{x_1, x_2} \left[\left(\frac{\partial \Psi}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial x_2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$D = \min(D_1, D_2),$$

які характеризують параметри досліджуваної системи (параметр δ^* зв'язаний з оберненими сприйнятливостями χ_{ik}^{-1} ($i, k=1, 2$) системи з двома взаємодіючими параметрами порядку, а D — з коефіцієнтами дифузії), вдається використати мажорантні оцінки і записати рівняння для функції $\eta(t)$ у вигляді

$$\dot{\eta} \leq -2(\pi^2 D - \delta^*) \eta. \quad (16)$$

Звідси випливає, що роль часу релаксації для рівняння (16), яке описує динамічну еволюцію функціоналу параметрів порядку $\eta[x_1, x_2]$, виконує величина

$$\tau_p = \frac{1}{2(\pi^2 D - \delta^*)} \quad (17)$$

Таким чином, величини δ^* і D визначають можливість виникнення біфуркації Т'юрінга у флуктуаційних моделях процесів самоорганізації, а саме: при умові

$$\pi^2 D - \delta^* < 0 \quad (18)$$

функція необмежено зростає при $t \rightarrow \infty$, що відповідає випадку дифузійної нестійкості.

В роботі були проаналізовані умови виникнення біфуркації Т'юрінга в біооб'єктах в присутності зовнішнього електромагнітного поля. Для цього були застосовані основні результати масштабної теорії фазових переходів і результати досліджень слабкоінтенсивних зовнішніх впливів на системи з хімічними реакціями поблизу межі стійкості. Так, залежність коефіцієнту дифузії D для компонентів хімічно реагуючої системи від температури і зовнішнього поля має вигляд:

$$D = \min(D_1, D_2) \sim \begin{cases} \tau^\nu (h=0), \\ h^{1/\beta} \delta (\tau=0). \end{cases} \quad (19)$$

де $\nu \approx 0,63$, $\beta \approx \frac{1}{3}$, $\delta \approx 4,5$ — критичні індекси; $\tau = \frac{T-T_c}{T_c}$ — температурна змінна; а

$$h = |\Delta \mu_i| = \frac{1}{2} \left(\epsilon_0 \frac{\partial \epsilon_i}{\partial \rho_i} E^2 + \tilde{\mu}_0 \frac{\partial \mu_i}{\partial \rho_i} N^2 \right)$$

— зовнішнє поле.

Поведінку параметру δ^* , який визначається оберненими сприйнятливостями поблизу біфуркаційної точки або межі стійкості, характеризують співвідношення:

$\frac{\partial \Psi}{\partial x_k}, \frac{\partial \theta}{\partial x_k} \sim \sum_i \left(\frac{\partial A_k}{\partial \xi_i} \right)_{PT} x_i \sim \chi_{ik}^{-1}$ (20)
де A_k і ξ_i — спорідненості і ступені повноти (параметри порядку) хімічно реагуючої системи. Тоді у відповідності з (20) маємо

$$\delta^* \sim \chi_{ik}^{-1} \sim \begin{cases} \tau^\gamma (h=0), \\ h^{\gamma/\beta\delta} (\tau=0), \end{cases} \quad (21)$$

де $\gamma \approx 1,25$ — критичний індекс.

Таким чином, одна із можливостей виникнення дифузійної нестійкості, яка може призвести до утворення просторових когерентних структур, пов'язана з переходом системи з хімічними реакціями за межу стійкості (під спінодаль), де $D < 0$. В цих умовах $\pi^2(D - \delta^*) = -(\pi|D| + \delta^*) < 0$. Слід зауважити, що різний характер поведінки параметру δ^* і коефіцієнту дифузії D з наближенням до межі стійкості не може забезпечити у випадку $D > 0$ виконання (18). Дійсно, із співвідношень (19) і (21) випливає, що при досягненні системою з хімічними реакціями межі стійкості D прямує до нуля повільніше (з меншим показником ступеня), ніж параметр δ^* .

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Нові флуктуаційні моделі процесів самоорганізації, що запропоновані та вивчені в главах 2-4 дисертації, є узгодженими з фундаментальними принципами сучасної теорії фазових переходів. Саме тому вони мають певні переваги порівняно із кінетичними моделями типу брюселятора або орегонатора: коефіцієнти цих флуктуаційних моделей мають строгий фізичний (хімічний, біохімічний) зміст; більш того, вони можуть бути обчислені, якщо відоме рівняння стану фізичної (хімічної, біохімічної) системи, яка розглядається.

2. Доведено, що для розглянутої флуктуаційної моделі, близької до моделі Брюселятора, можливе утворення просторових періодичних структур. Це відбувається при певних значеннях коефіцієнтів α_i , зв'язаних з оберненими сприйнятливостями, і коефіцієнтів D_i , зв'язаних з коефіцієнтами дифузії.

Реалізація часових періодичних структур для моделі з чотверною взаємодією двох параметрів порядку забезпечується при умові $\Gamma\sqrt{2} < 0$, тобто коефіцієнти Онзагера для параметрів порядку x і y повинні мати різні знаки. Така ситуація стає можливою в нетермодинамічній області станів (під спінодаллю або межею стійкості) для одного з параметрів порядку.

3. Для флуктуаційних моделей процесів самоорганізації з двома взаємодіючими параметрами порядку сформульовані загальні умови виникнення біфуркації Хопфа, які відповідають спонтанному або індукційованому зовнішніми впливами утворенню часових дисипативних структур. Отримані умови доводять, що дисипативні структури різного типу можуть виникати за межею стійкості, де детермінант обернених сприйнятливостей є від'ємним.

4. Для флуктуаційних моделей процесів самоорганізації з двома взаємодіючими параметрами порядку встановлені критерії дифузійної нестійкості, яка призводить до виникнення просторових неоднорідних станів (біфуркації Т'юрінга). Отримані результати використані для аналізу флуктуаційних моделей об'єктів, ізоморфних хімічно (біохімічно) реагуючим системам поблизу межі їх стійкості. Показано, що характерний просторовий період когерентних структур зростає по закону $\lambda_0 \sim \sqrt{\chi(E, H)}$, де $\chi(E, H)$ — сприйнятливість системи в зовнішньому електромагнітному полі, при наближенні до межі стійкості або біфуркаційної точки.

5. Вивчене питання про вплив зовнішнього поля, зокрема слабкоінтенсивного електромагнітного випромінювання, на системи з хімічними (біохімічними) реакціями, які поблизу межі їх стійкості описуються запропонованими флуктуаційними моделями з двома взаємодіючими параметрами порядку. Показано, що присутність зовнішнього поля змінює коефіцієнти і координати біфуркаційних точок досліджуваних моделей.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДЕНО В ПУБЛІКАЦІЯХ:

1. Цехмістер Я.В., Чалый А.В. Особые точки флуктуационных моделей процессов самоорганизации // УФЖ. — 1991. — 36, № 8. — С. 1271-1278.

2. Цехмістер Я.В., Чалый А.В. Бифуркация Хопфа в флуктуационных моделях процессов самоорганизации // УФЖ. — 1992. — 37, № 3. — С. 457-467.

3. Цехмістер Я.В., Чалый А.В. Возникновение диффузионной неустойчивости в флуктуационных моделях процессов самоорганизации // УФЖ. — 1993. — 36, № 6. — С. 955-960.

4. Чалый А.В., Цехмістер Я.В. Флуктуационные модели процессов самоорганизации. — Киев : 1994. — 179 с.

5. A.V.Chalyi, L.M.Chernenko, Y.V.Tsehmister. Mathematical simulation of spatio-temporal structures in biomedical systems with long-range coherence // XVI International Conference on Medical and Biological engineering and IX International Conference on Medical Physics. — Kyoto, Japan: — 1991. — P.-4-554-29-09.

6. A.V.Chalyi, L.M.Chernenko, Y.V.Tsehmister. Spatio-temporal structures in living systems with long-range coherent behavior. // 7th International Conference on Surface and Colloid Science. — Compiègne, France: —1991.

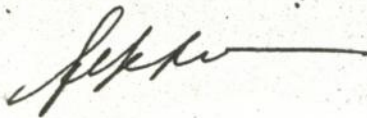
7. Цехмістер Я.В., Чалый А.В. Особые точки флуктуационных моделей процессов самоорганизации // Труды 7-й Всесоюзной конференции "Современные проблемы теплофизики". — Новосибирск: 1992. — С.25.

8. Цехмістер Я.В., Чалый А.В. Бифуркация Хопфа и Тьюринга в флуктуационных моделях процессов самоорганизации // Труды 9-й Теплофизической конференции СНГ. — Махачкала: 1993. — С.3.

9. Чалый О.В., Цехмістер Я.В., Хижняк Д.А. Біфуркація Хопфа і Т'юрінга у флуктуаційних моделях процесів самоорганізації. // Тези доповідей Міжнародної конференції "Фізика на Україні". — Київ: 1993. — С.88.

10. Чалый О.В., Цехмістер Я.В., Хижняк Д.А. Дисипативні структури у флуктуаційних процесах самоорганізації: загальні теореми, чисельне моделювання. // Тези доповідей І Української конференції "Структура і фізичні властивості непереводжених систем". — Львів: 1993. — частина 1. — С.20.

11. Chalyi A.V., Tsehmister Y.V. Fluctuational Models of Self-Organization. // Ukrainian-French Symposium "Condensed Matter : Science and Industry". — Lviv: 1993. — P.45.



Підписано до друку: 13.05 94 . Формат 84 x 108 /32 .
Об'єм 0.5 д.а. Зви-Н3820. Тираж 100 примірників.

Державне комунальне поліграфічне підприємство "Тираж"
м.Київ

457231

AB 30.263

AB 30.263