

УДК 621.311.25:519.816

П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ З ФРАКТАЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

Показано, що визначення ознак аварійності технологічного процесу проводиться на основі часу відхилення характеристик технологічних параметрів з використанням елементів теорії повернення Пуанкаре і залежить від ступеневої залежності часу протікання технологічного циклу від часу повернення характеристик параметрів технологічного процесу до нормованих значень і визначено вираз для фрактального часу, залежний від фрактальної розмірності часу і розмірності загасання сигналу характеристик параметрів технологічного процесу, крім цього, отримані діаграми станів характеристик технологічного процесу залежно від щільності розподілу середнього часу повернення даних характеристик в області станів нормованих або аварійних значень при яких формується умова утворення кластер-кластерної агрегації з фрактальними властивостями, а отже, ознаками аварійності.

**Ключові слова:** характеристики параметрів технологічного процесу, об'єм інформаційного простору, кластер-кластерна агрегація, режим реального часу.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз публікацій.

Для якісного своєчасного контролю технологічного процесу (ТП) енергооб'єктів необхідно виконання вимог щодо виявлення ознак аварійності кількісних і якісних характеристик параметрів в режимі реального часу (РРЧ).

Авторами в роботах [1 – 3] було запропоновано підхід вирішення задачі обробки інформації при зміні характеристик параметрів технологічного процесу (ХПТП) енергооб'єктів в РРЧ, на основі виявлення локальних інформаційних неоднорідностей (ЛІН) кластер-кластерних агрегацій (ККА) в об'ємі інформаційного простору (ІП).

У роботах [3, 4] були розглянуті основи формування ККА інформаційного простору ТП і з урахуванням цього запропоновано фізична модель фазового ІП з використанням елементів фрактально-кластерної теорії.

Також в роботах [3, 4] були проаналізовані та показані підходи по розпізнаванню інформаційних ознак аварійності параметрів ТП енергооб'єктів на основі виявлення ЛІН в об'ємі ККА з використанням елементів фрактально-кластерної теорії в просторі і РРЧ.

Однак, при виявленні аварійних ознак ТП необхідно враховувати динаміку зміни характеристик параметрів за ЛІН в динаміці, тобто у просторі та часі (з урахуванням часу відновлення характеристик параметрів у випадку відхилення їх від норми) і просторових координатах ( $x, y, z$ ).

Тому, в роботі ставиться задача розпізнавання інформаційних ознак аварійності ХПТП енергооб'єктів на основі виявлення ЛІН кластер-кластерних

агрегацій в об'ємі ІП на основі зміни координат в РРЧ.

Крім цього, авторами пропонується досліджувати аварійні ознаки параметрів через просторові ознаки сигналів, виділяючи найбільш інформативні з них [5], що мають найбільшу зміну фрактальної розмірності від величини інформативності сигналу в просторі.

Таким чином, динамічні системи характеризують, випадковою, тобто хаотичною поведінкою зміни величин ХПТП, для визначення технічного стану яких, необхідно визначити відправну точку за їхньою оцінкою на наявність нормованих або аварійних ознак сигналів.

Зміни ХПТП, які виникають при функціонуванні різних енергооб'єктів, можна досліджувати за допомогою теорії хаосу, геометрично моделюючи стан динамічних систем в просторі і в РРЧ [7] та теорії повернення Пуанкаре.

Використання елементів теорії Пуанкаре розглянуті в роботах [6, 10], де аналізується середній час повернення Пуанкаре по всім елементам покриття множини ІПТП.

Середній час повернення в цьому випадку залежить від початкових точок координат ( $x_0, y_0, z_0$ ), які задаються в кожному з елементів покриття множини (атрактора), яка є частиною ККА з фрактальними властивостями, а основною характеристикою повернень Пуанкаре, є фрактальний час, який залежить від зміни фрактальної розмірності часу.

**Метою статті** є розробка динамічної моделі інформаційного простору технологічного процесу енергооб'єктів з виявлення аварійних ознак технологічних параметрів для забезпечення підвищення енергобезпеки.

### Основний матеріал

Система вироблення електроенергії на енергооб'єктах пов'язана із забезпеченням досить надійної енергобезпеки, яку можуть забезпечити точність та контроль ХПТП в РРЧ з використанням автоматизованої обробки ІП ТП і таким чином дозволяє виявляти ознаки аварійності ХПТП.

Як правило, енергооб'єкт є складною, динамічною, досить керованою системою, що складається з взаємопов'язаних і взаємозалежних підсистем, функціонування яких можна з достатньою точністю описати нелінійними диференціальними рівняннями.

Проте, як наголошується в роботах [4, 7], в цілях отримання рішень цих рівнянь та здійснення аналізу результатів доводиться, в більшості випадків, виробляти спрощення, приймати різні допущення і т.д., що іноді досить сильно впливає на точність результатів. Ряд нелінійних процесів, що виникають в енергоустановці, неможливо описати аналітичними моделями.

Проте їх ідентифікація можлива тільки при реєстрації параметрів шляхом контактної або безконтактної зняття сигналів з працюючого енергообладнання [7] і це є суттєвим недоліком при обробці об'єму інформаційного простору ХПТП.

Тому, для опису складних динамічних систем, авторами запропоновано, для контролю зміни ХПТП, проводити дослідження за допомогою теорії хаосу, геометрично моделюючи стан динамічних систем в просторі і в РРЧ [1 – 5].

Розглядаючи процес формування кластер-кластерних агрегацій в об'ємі ІП на основі фрактально-кластерної теорії, кількісною характеристикою ступеня заповнення об'єму ІП, як було запропоновано авторами в роботі [4], необхідно використовувати динаміку зміни фрактальної розмірності, яка дозволяє визначити величину зміни ХПТП.

**1. Визначення ознак аварійності технологічного процесу на основі аналізу часу повернення характеристик технологічних параметрів до нормованим значенням в разі відхилення.** На рис. 1 показані зміни ХПТП в часі для області початкового стану (тобто від вихідного початкового стану  $Q_0(x_0, y_0, z_0)$  при  $t_0 = 0$ ) до подальшого стану  $Q_1(x_1, y_1, z_1)$  в момент часу  $t_1 > 0$  в об'ємі ІП ( $V_{\text{фін}}$ ).

У роботах [1 – 4] авторами для обробки ІП та формування кластерів з нормованими та аварійними ознаками було запропоновано застосовувати елементи теорії кластерного аналізу. Тому, основним критерієм для виявлення параметрів з ознаками аварійності, буде час утворення кластера ( $t_{\text{кл}}$ ), яке зале-

жить від часу повернення  $\tau_{\text{пов}}$  і може бути різним для ХПТП залежно від тривалості протікання ТП (часу циклу –  $t_{\text{ц}}$ ) в області стану  $Q_i(x_i, y_i, z_i)$  в певний момент часу ( $t_i$ ).

Грунтуючись на вищесказаному і враховуючи те, що процес відхилення ХПТП є випадковим, авторами запропоновано динаміку зміни ХПТП в просторі та часі представити у вигляді рис. 1, де показані різні варіанти випадкового розподілу ХПТП в залежності від часу повернення  $\tau_{\text{пов}}$  в області початкового стану  $Q_0(x_0, y_0, z_0)$ .

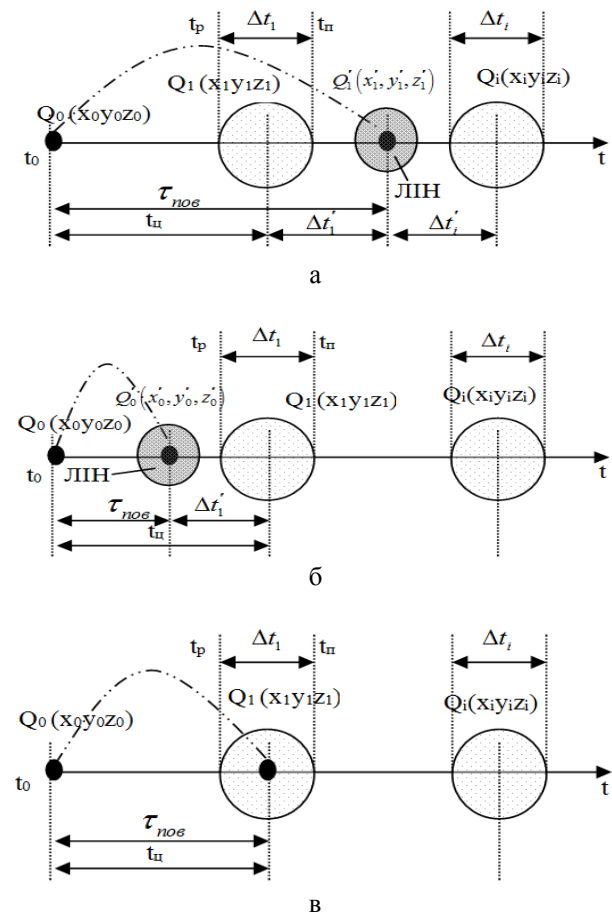


Рис. 1. Процес зміни характеристик параметрів технологічного процесу

На рис. 1, а показаний процес зміни ХПТП, коли параметр відхилився від області нормованих значень (ОНЗ) і перевищив час протікання циклу ТП ( $t_{\text{ц}}$ ) на  $\Delta t$  при досягненні області стану (ОС)  $Q_1(x_1, y_1, z_1)$  в певний момент часу ( $t_1$ ), тобто ця обставина говорить про те, що при формуванні наступного сигналу, що виходить з ОС  $Q_1(x_1, y_1, z_1)$  в момент часу  $t_1$  не враховується попередній сигнал, що входить до ОС  $Q_i(x_i, y_i, z_i)$ , тобто отримуємо вираз:

$$t_{ц} < \tau_{пов} \quad (1)$$

або

$$\tau_{пов} = t_{ц} + \Delta t. \quad (2)$$

На рис. 1, б показаний процес зміни ХПТП, коли параметр відхилився від ОНЗ за час повернення  $\tau_{пов}$  меншим за величиною часу протікання циклу ТП ( $t_{ц}$ ), тобто ця обставина говорить про те, що при формуванні наступного сигналу, що виходить з ОС  $Q_1(x_1, y_1, z_1)$  в момент часу  $t_1$  не враховується попередній сигнал (що досяг за час  $t_{ц}$  тільки ОС  $Q'_1(x'_1, y'_1, z'_1)$ ), тобто отримуємо вираз:

$$t_{ц} > \tau_{пов} \quad (3)$$

або

$$\tau_{пов} = t_{ц} - \Delta t. \quad (4)$$

Таким чином, визначення аварійних ознак ХПТП залежить від тривалості відхилення ХПТП  $\Delta t$ , а при  $\Delta t = 0$ , тобто

$$t_{ц} = \tau_{пов},$$

характеризує протікання процесу в нормальному режимі функціонування (рис. 1, в).

**2. Врахування тимчасових характеристик при відхиленні технологічних параметрів від нормованих значень.** Розглянемо зв'язок часу повернення ХПТП зі ступенем заповнення об'єму фазового П.

Виходячи з того, що П може складатися з різних структурних елементів (н-д: параметри, або нормовані, або з ознаками аварійності) то авторами запропоновано розглядати об'єм такого простору  $V_{фін}$ , як неоднорідну структуру, а отже, що володіє специфічними властивостями, які враховують ступінь заповнення простору, тобто фрактальність.

Як видно, з вищевикладених міркувань, основу неоднорідної структури об'єму П  $V_{фін}$  випадковим чином, можуть утворювати області стану

$$Q'_0(x'_0, y'_0, z'_0) \text{ та } Q'_1(x'_1, y'_1, z'_1),$$

отримані у випадку, коли характеристики ТП за часом (тривалістю) не досягають нормованих значень, а містять ознаки аварійності, отже їх можна вважати ЛНН, як показано на рис. 1.

Крім того, згідно фрактально-кластерної теорії [8, 9], кластером є елемент з неоднорідною структурою (для нашого випадку – ЛНН), звідси можна зробити наступне припущення про те, що формування кластер-кластерної агрегації з ознаками аварійності відбувається на основі утворення і злиття численних ЛНН (кластерів) областей станів  $Q'_0(x'_0, y'_0, z'_0)$  та  $Q'_1(x'_1, y'_1, z'_1)$  з певним ступенем заповнення об'єму П кластер-кластерної агрегації.

Як відомо [1 – 3, 8, 9], кількісної величиною, що визначає ступінь заповнення інформаційного простору, є фрактальна розмірність  $d_f$ , тому, важливим фактором є встановлення зв'язку (просторово-часового) між зміною в часі характеристик параметрів технологічного процесу і ступенем заповнення об'єму П, тобто між кількісними величинами: часом повернення  $\tau_{пов}$  параметрів до нормованих значень і фрактальною розмірністю  $d_f$ , яка характеризує ступінь заповнення об'єму ППВ<sub>фін</sub>.

Звідки, з урахуванням виразів (1) – (4) витікає, що умовою виникнення неоднорідності (фрактальності) інформаційного простору є фрактальний час  $t_f$ :

$$t_f \begin{cases} \tau + \Delta t \\ \tau - \Delta t \end{cases} \quad (5)$$

З виразу (5) виходить, що при виконанні цієї умови можна говорити про ознаки аварійності у фрактально-кластерній структурі об'єму фазового П технологічного процесу енергооб'єктів.

Спостерігаючи за технологічним циклом ТП, важливою величиною є час протікання циклу (початковий), який, як правило, задається для кожного параметра в РРЧ.

Проте, у разі відхилення характеристик параметрів технологічного процесу від нормованих значень і повернення в початковий стан, буде витрачено часу більше, ніж задане початкове  $t_{ц}$ . Тому, в якості еталону зміни часу  $t$  виберемо еталон часу повернення  $\tau_{пов}$ .

**3. Зв'язок фрактальної розмірності з місткістю атратора.** Як відомо [7], детермінований хаос з'являється в дисипативних системах (об'єм фазового простору скорочується з часом) при зміні зовнішнього управляючого параметра.

Тому авторами передбачається, що з часом утворюються особливі області фазового простору – атратори, які є геометричними образами детермінованих неперіодичних процесів в тривимірному інформаційному просторі об'єму ТП.

Розглянемо залежність зміни величини ХПТП в області атратора від часу повернення  $\tau_{пов}$ .

Як було встановлено [5], збереження нормованих значень технологічних параметрів в області атратора за час  $t_{ц}$  залежить від  $\tau_{пов}$ , отже, необхідно знайти залежність між часом протікання циклу  $t_{ц}$ , впродовж якого змінюються ці ХПТП і часом повернення цих характеристик параметрів технологічного процесу до нормованих і ненормованих значень.

На діаграмах рис. 2 представлені варіанти станів ХПТП залежно від щільності розподілу серед-

нього часу повернення  $\tau_{пов}$  цих характеристик в області станів  $Q(x, y, z)$  нормованих значень ХПТП або аварійних значень

$$Q'(x', y', z').$$

Іншими словами, існує деяка ступенева залежність часу протікання циклу  $t_{ц}$  від часу повернення  $\tau_{пов}$  ХПТП [10], яка може визначатися наступним виразом:

$$t_{ц} = \tau_{возв}^{t_f}, \quad (6)$$

де  $t_f$  – фрактальний час, який можна обчислити по формулі (7):

$$t_f = h \cdot d_{ft}, \quad (7)$$

де  $h$  – розмірність загасання сигналу (ХПТП), а  $d_{ft}$  – фрактальна розмірність часу.

З виразу (7), авторами визначені умови значень величин характеристик в областях нормованих параметрів, тобто для оцінки фрактальної розмірності часу: при  $t_f = 1$  витікає, що час протікання циклу дорівнює часу повернення ХПТП, тобто:

$$t_{ц} = \tau_{пов}, \quad (8)$$

при  $t_f > 1$ :

$$t_{ц} < \tau_{пов}, \quad t_{ц} + \Delta t = \tau_{пов}^{t_f}, \quad (9)$$

при  $t_f < 1$ :

$$t_{ц} > \tau_{пов}, \quad t_{ц} - \Delta t = \tau_{пов}^{-t_f}. \quad (10)$$

В якості еталону часу повернення  $\tau_{пов}$  виберемо час протікання циклу  $t_{ц}$ .

Для електромагнітних процесів фрактальна розмірність часу дорівнює 1 (рис. 2, а). Тоді  $1 - t_f$  для випадку, показаного на рис. 2, б, а  $1 + t_f$  для випадку, показаного на рис. 2, в.

Виходячи з вищесказаного можливе визначення позитивного і негативного часу повернення для значень величин ХПТП:

$$\tau_{пов}^- = \left[ (t_{ц1} - t_0') + (t_{ц2} - t_1') \right]^{1-t_f}; \quad (10)$$

$$\tau_{пов}^+ = \left[ (t_{ц2}' - t_{ц2}) + (t_{ц2}' - t_{ц1}') \right]^{1+t_f} \quad (11)$$

при  $t_f = 0,05$  с.

Таким чином, виходячи з вищевикладених міркувань можна записати умову формування кластер-кластерної агрегації при різних значеннях часу відхилення ( $\Delta t$ ) характеристик технологічних параметрів, а саме

$$\begin{cases} \Delta t > \tau_{пов}; \\ \Delta t \leq \tau_{пов}, \end{cases}$$

тобто час повернення Пуанкаре є критерієм часу відхилення характеристик параметрів  $\Delta t$ .

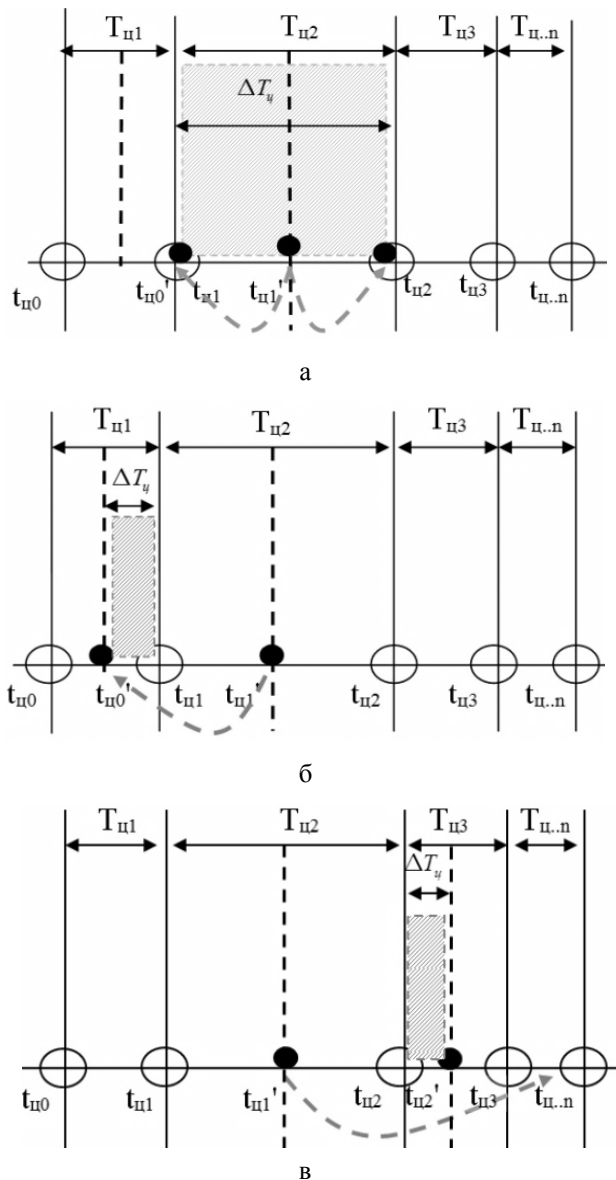


Рис. 2. Діаграма станів характеристик параметрів технологічного процесу в залежності від щільності розподілу середнього часу повернення цих характеристик в області станів нормованих та аварійних значень

### Висновки

1. Показано, що технологічний процес можна уявити як складний, динамічний процес з параметрами, які змінюються в часі, що призводить до різних ознак аварійності та визначається на підставі часу повернення характеристик параметра за період протікання технологічного процесу.

2. На основі використання елементів теорії часу повернення Пуанкаре, була отримана ступенева залежність часу протікання циклу від часу повернення характеристик параметрів технологічного процесу до нормованих значень і визначено вираз для фрактального часу, залежний від фрактальної розмірності часу і розмірності загасання сигналу характеристик параметрів технологічного процесу.

3. Отримано діаграми станів характеристик параметрів технологічного процесу в залежності від щільності розподілу середнього часу повернення даних характеристик в області станів нормованих або аварійних значень і показано, що визначення аварійних ознак характеристик параметрів технологічного процесу залежить від тривалості відхилення цих параметрів і їх повернення в області аварійних або нормованих значень.

4. Показано, що при аналізі часу відхилення характеристик параметрів від нормованого стану, який характеризується критерієм часу повернення Пуанкаре, формується умова утворення кластерної агрегації з ознаками аварійності.

### Список літератури

1. Буданов П.Ф. Анализ современного состояния и перспективы развития автоматизированных систем по подготовке оперативного персонала АЭС / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко, М.Ю. Сахно // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 9(107). – С. 263-269.

2. Буданов П.Ф. Синергетический подход к разработке модели принятия решения оперативным персоналом АЭС в нештатных ситуациях / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(108). – С. 256-262.

3. Буданов П.Ф. Метод кластерного анализа для обработки информационного пространства в автоматизированных тренажерах по подготовке оперативного персонала АЭС / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2(109). – С. 106-111.

4. Буданов П.Ф. Моделирование нештатных аварийных ситуаций на энергообъектах на основе фрактально-кластерного подхода / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко, А.М. Чернюк, К.А. Солод, Т.П. Руденко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – №1(132). – С. 15-21.

5. Буданов П.Ф. Моделирование признаков аварийности параметров технологического процесса объектов электроэнергетики / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 2(43). – С. 84-88.

6. Анищенко В.С. Возвраты Пуанкаре в системе с хаотическим нестранным аттрактором / В.С. Анищенко, С.В. Астахов // Нелинейная динам. – 2012 – Т. 8, № 1. – С. 29-41.

7. Гречин В.П. Вопросы диагностики энергооборудования с применением теории хаоса / В.П. Гречин, М.В. Шарыгин // Повышение работы энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. IX. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – С. 302-313.

8. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

9. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: ИКИ, 2002. – 656 с.

10. Балханов В.К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления / В.К. Балханов. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2013. – 224 с.

Надійшла до редколегії 21.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.І. Канюк, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

### ПРОСТРАНСТВЕННО – ВРЕМЕННАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА С ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко

Показано, что определение признаков аварийности технологического процесса, проводится на основе времени отклонения характеристик технологических параметров с использованием элементов теории возврата Пуанкаре и зависит от степенной зависимости времени протекания технологического цикла от времени возврата характеристик параметров технологического процесса к нормированным значениям и определено выражение для фрактального времени, зависящее от фрактальной размерности времени и размерности затухания сигнала характеристик параметров технологического процесса, кроме этого, получены диаграммы состояний характеристик параметров технологического процесса в зависимости от плотности распределения среднего времени возврата данных характеристик в окрестности состояний нормированных или аварийных значений при которых формируется условие образования кластер-кластерной агрегации с фрактальными свойствами, а следовательно, признаками аварийности.

**Ключевые слова:** характеристики параметров технологического процесса, объем информационного пространства, кластер-кластерная агрегация, режим реального времени.

### SPATIAL - TEMPORAL MODEL OF INFORMATION SPACE WITH FRACTAL STRUCTURE

P.F. Budanov, K.Yu. Brovko

It is shown that determination of signs of accident rate of technological process, conducted on the basis of time of rejection of descriptions of technological parameters with the use of elements of theory of return of Poincare and depends on state dependence of time of flowing of technological cycle on time of return of descriptions of parameters of technological process to the rationed values and expression for fractal time, depending on the fractal dimension of time and dimension of fading of signal of descriptions of parameters of technological process, is certain, except it, bubble of descriptions of parameters of technological process diagrams are got depending on the closeness of distribution of mean time of return of these descriptions in the vicinity of the states of the rationed or emergency values at which the condition of formation of the cluster aggregating is formed with fractal properties, and consequently, by the signs of accident rate.

**Keywords:** characteristics of process parameters, the amount of information space affairs, the cluster-cluster aggregation, real-time mode.