

УДК 621.311.25:519.816

**Буданов Павло Феофанович**, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики**Чернюк Артем Михайлович**, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики**Бровко Костянтин Юрійович**, аспірант кафедри електроенергетики**Солод Катерина Андріївна**, магістрантка кафедри електроенергетики**Руденко Тетяна Петрівна**, магістрантка кафедри електроенергетики

Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна. Вул. Університетська 16, м. Харків, Україна, 61003

**МОДЕЛЮВАННЯ НЕШТАТНИХ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЕНЕРГООБ'ЄКТАХ НА ОСНОВІ ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНОГО ПІДХОДУ**

*У статті розглянуті підходи до моделювання інформаційного простору технологічного процесу на енергооб'єктах для контролю в режимі реального часу динаміки зміни характеристик технологічних параметрів і виявлення нештатних аварійних ситуацій при різних режимах функціонування на енергооб'єктах*

*Ключові слова: інформаційний простір, кластер, ознаки аварійності.*

**Буданов Павел Феофанович**, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики**Чернюк Артём Михайлович**, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики**Бровко Константин Юрьевич**, аспірант кафедри електроенергетики**Солод Екатерина Андреевна**, магістрантка кафедри електроенергетики**Руденко Татьяна Петровна**, магістрантка кафедри електроенергетики

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина. Ул. Университетская 16, г. Харьков, Украина, 61003

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕШТАТНЫХ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ЭНЕРГООБЪЕКТАХ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНО-КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА**

*В статье рассмотрены подходы к моделированию информационного пространства технологического процесса на энергообъектах для контроля в режиме реального времени динамики изменения характеристик технологических параметров и выявления нештатных аварийных ситуаций при различных режимах функционирования на энергообъектах.*

*Ключевые слова: информационное пространство, кластер, признаки аварийности.*

**Budanov Pavlo Feofanovich**, Ph.D., associate professor of department of electroenergy**Chernyuk Artem Mikhaylovich**, Ph.D., associate professor of department of electroenergy**Brovko Kostyantyn Jurevich**, graduate student of department of electroenergy**Solod Kateryna Andreevna**, candidate for a Master's degree of department of electroenergy**Rudenko Tetyana Petrovna**, candidate for a Master's degree of department of electroenergy

Ukrainian engineer-pedagogical academy, Kharkov, Ukraine. Universitetskaya str. 16, Kharkov, Ukraine, 61003

**DESIGN OF NONPERMANENT EMERGENCY SITUATIONS ON ENERGYOBJECTS ON BASIS OF FRACTAL-CLUSTER APPROACH**

*In the article, going is considered near the design of informative space of technological process on energyobjects for control real-time of dynamics of change of descriptions of technological parameters and exposure nonpermanent emergency to the situations at the different modes of functioning on energyobjects.*

*Keywords: informative space, cluster, signs of accident rate.*

**Вступ**

В процесі експлуатації сучасних АЕС реєструється до десятка тисяч різних технологічних параметрів і сигналів апаратури, даних про стан елементів устаткування [4]. Основний недолік сучасної реєструючої апаратури в тому, що дані, які поступили, тобто параметри про стан технологічного процесу, проходять тільки етап порівняння значень з допустимими нормованими значеннями, і вказана інформація рідко накопичується і майже ніколи не аналізується в наступному.

Як показано в дослідженнях [7], параметри, що поступають, про технологічний процес часто містять важливу, з точки зору забезпечення безпеки і надійності, інформацію про процеси, що протікають в установці. Аналіз ряду нештатних ситуацій, що сталися на об'єктах

ядерної енергетики, показав, що розвиток нештатної аварійної ситуації можна було виявити на ранній стадії по зміні зв'язків і характерних ознак в параметрах, які поступають. Проте, ця важлива інформація прихована, замаскована перешкодами і чинниками, що заважають, розподілена по великому числу параметрів. Витягання такої інформації може принести значну користь для забезпечення безпечної експлуатації і проведення технічної діагностики.

Сучасні методи діагностики і обробки інформації, такі як «Метод розпізнавання образів», «Нейронні мережі», «Теорія графів», методи засновані на теорії множин не дозволяють виявити параметри, які несуть інформацію з ознаками аварійності [8] у режимі реального часу. Незважаючи на наявність великого числа робіт по застосуванню в атомній енергетиці окремих методів інтелектуального аналізу даних, відсутнє досить повне і систематичне дослідження підходу по виявленню ознак аварійності і оцінці порівняльної практичної ефективності різних алгоритмів. Недостатнє і охоплення по типах вирішуваних завдань діагностики АЕС [1, 2].

У сучасних теоріях, прийнято розглядати інформаційний простір, як стохастичний, тобто, котрий має властивості невизначеності і випадковості, тому сучасні методи обробки інформації допускають недостовірність і неточність в обробці.

Для прийняття рішення (ПР) оперативному персоналу АЕС, необхідно адекватно оцінювати параметри, що поступають під час технологічного процесу на АЕС. У багатьох моделях, в інформаційному просторі, вивчаються структурні зв'язки між параметрами, що несуть інформацію про технологічний процес (ТП), але вони в недостатній мірі описують інформацію, що поступає, для оптимального вибору варіанту прийняття рішення [2].

Аналіз науково-технічної і спеціальної літератури показав, що проблема розробки моделі інформаційного простору технологічного процесу АЕС з виявлення параметрів, що несуть ознаки аварійності, на сьогоднішній момент є актуальною [5, 6].

**Метою статті** є розгляд підходу до моделювання інформаційного простору технологічного процесу АЕС для виявлення нештатних аварійних ситуацій на основі фрактально - кластерної теорії.

### Основний матеріал

Потік інформації, що поступає операторові, істотно міняється залежно від технологічного режиму електростанції. Найменше значення він має в нормальному режимі, коли в роботі знаходяться практично усі автоматичні пристрої. Цей потік збільшується до 5 разів під час проведення пускових операцій. У нештатних аварійних ситуаціях, наприклад на енергоблоках АЕС, спостерігається значний (до 20 разів) ріст потоку інформації про параметри технологічного процесу. При аварійному режимі сплески потоку вхідної інформації, різко зростають по відношенню до нормального режиму, мають лавинний характер, який збільшується більш ніж в 100 разів. Аналіз відмовних ситуацій на енергоблоках показує, що максимуми потоків подій в аварійних режимах по аналогових і дискретних параметрах різночасні [4].

Внутрішні взаємозв'язки технологічного процесу АЕС, як системи (об'єкту) управління характеризуються параметрами на межах її складових частин (елементів). Технологічні параметри, а особливо їх характеристики в істотній мірі залежать від кількості і вибраних типів складових частин.

Параметри технологічного процесу на АЕС можна розділити по групах:

- параметри зовнішніх технічних і економічних зв'язків;
- параметри, що становлять установку елементів; вони включають як описи типів елементів, так і їх технологічні і конструктивні характеристики, в тій або іншій мірі, що чинять вплив на функціонування усієї установки;
- параметри зв'язків між елементами установки: вони описують види цих зв'язків і характеризують їх кількість.

Розглянемо детальніше параметри, що становлять технологічний процес АЕС. Досить складна ієрархія досліджень параметрів АЕС вимагає розробки, відповідної їм сукупності математичних моделей.

Авторами запропоновано, моделювання динаміки зміни характеристик параметрів технологічного процесу АЕС проводити на основі фрактально - кластерного підходу, що дозволить виявляти ознаки їх аварійності на ранніх етапах ТП, тобто в режимі реального часу.

Як було показано авторами в роботі [8], в ході технологічного процесу відбувається зміна різних характеристик технологічних параметрів, що призводить до утворення окремих кластерів (A, B, C, D, E), які взаємодіють між собою створюють кластерні групи за певними ознаками і характеристиками параметрів і таким чином утворюють кластер-кластерні агрегації, заповнюючи об'єм інформаційного простору з ознаками аварійності.

На підставі розглянутого методу кластерного аналізу з об'єднання технологічних параметрів в кластер-кластерну агрегацію, авторами, пропонується модель динаміки зміни параметрів технологічного процесу в нештатних аварійних ситуаціях, яка показана на рис. 1.

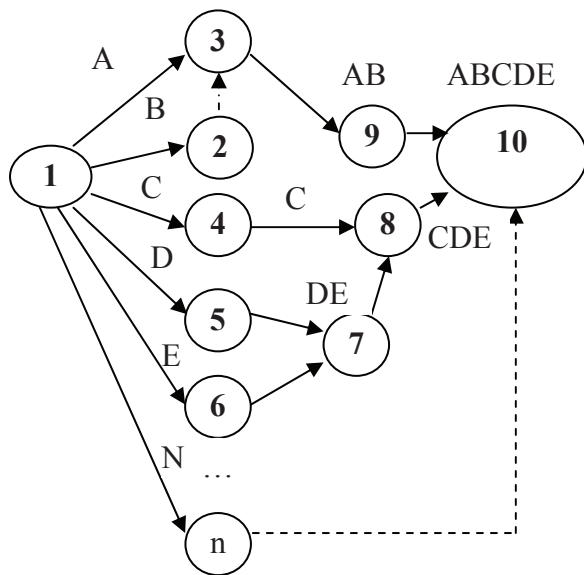


Рис. 1. Модель алгоритму прийняття рішень оперативним персоналом у нештатних ситуаціях

вигляді вираза (1), як функції ряду впорядкованих елементів (ознак нештатних сценаріїв) A, B, C, D, E:

$$MM_{кл} = F(A, B, C, D, E...N)^{df}, \tag{1}$$

де A – параметри про стан засобів технічного забезпечення інформації; B – параметри, що визначають відхилення в технологічному процесі, які призводять до нештатної ситуації у просторі та часі; C – параметри, що характеризують масштаби і величини параметрів аварійного процесу; D – параметри, що визначають тип нештатної аварійної події;  $E = [E_{on}, E_{стни}]^t$  – величина параметрів, що характеризують дії оперативного персоналу ( $E_{on}$ ) в різних нештатних ситуаціях і список параметрів ( $E_{стни}$ ), що формується динамічно на основі даних вибору оптимального варіанту рішення.

Існуючі на сьогодні теорії (моделі) обліку випадкових величин (їх присутність або відсутність) не дозволяють забезпечити такий розподіл інформації в системі, який дозволяв би мінімізувати тимчасові характеристики при отриманні необхідних вхідних даних про параметри енергооб'єкту для оперативного персоналу АЕС і визначити достатній об'єм для прийняття рішення (ПР) в режимі реального часу (РРЧ). Слід зазначити, що інформація може генеруватися несистемно і від різних джерел. Для вирішення цієї проблеми в роботі, авторами, пропонується новий підхід при розгляді інформаційного простору кількісних і якісних характеристик технологічних параметрів енергооб'єктів з використанням кластерного аналізу на основі апарату теорії фракталів. Суть застосування кластерного

З рис. 1 видно, що в початковому стані всі технологічні параметри мають нормовані характеристики, які в наступному можуть змінюватися, що призводить до формування кластерних груп або окремих кластерів (н-д: кластерні групи – AB і CDE), які і формують кластер-кластерну агрегацію (н-д: ABCDE). Таким чином, в такому алгоритмі, як видно з рис. 1, представлено п'ять варіантів прийняття рішень за цією інформацією (н-д: варіанти – 1, 2, 3, 10; 1, 2, 10;)

Таким чином цю модель можна представити у

аналізу для аналізу інформаційного об'єму полягає в наступному: в інформаційному просторі на підставі даних про параметри (нормальних або з ознаками аварійності) поступово формуються і ростуть інформаційні групи, так звані фрактальні кластери, далі вони певним чином зв'язуються між собою за технологічними ознаками (н-д: технологічні цикли) і утворюють кластерні агрегації, а ті кластери які не знайшли зв'язків з сусідніми кластерами утворюють самостійні кластерні групи з новими ознаками за енергооб'єкт (що як правило несуть інформацію про динаміку відхилення параметрів від норми, що призводять до НШС при різних режимах функціонування енергооб'єкту).

В якості наочного прикладу утворення кластер-кластерних агрегацій, авторами пропонується наступне представлення формування параметрів технологічного процесу активної зони ядерного реактора АЕС, як показано на рис. 2. ( $h, n_{t-dt}, \mu, \varphi, Thc, N_{hc}, \eta_{hc}$  – характеристики технологічних параметрів).

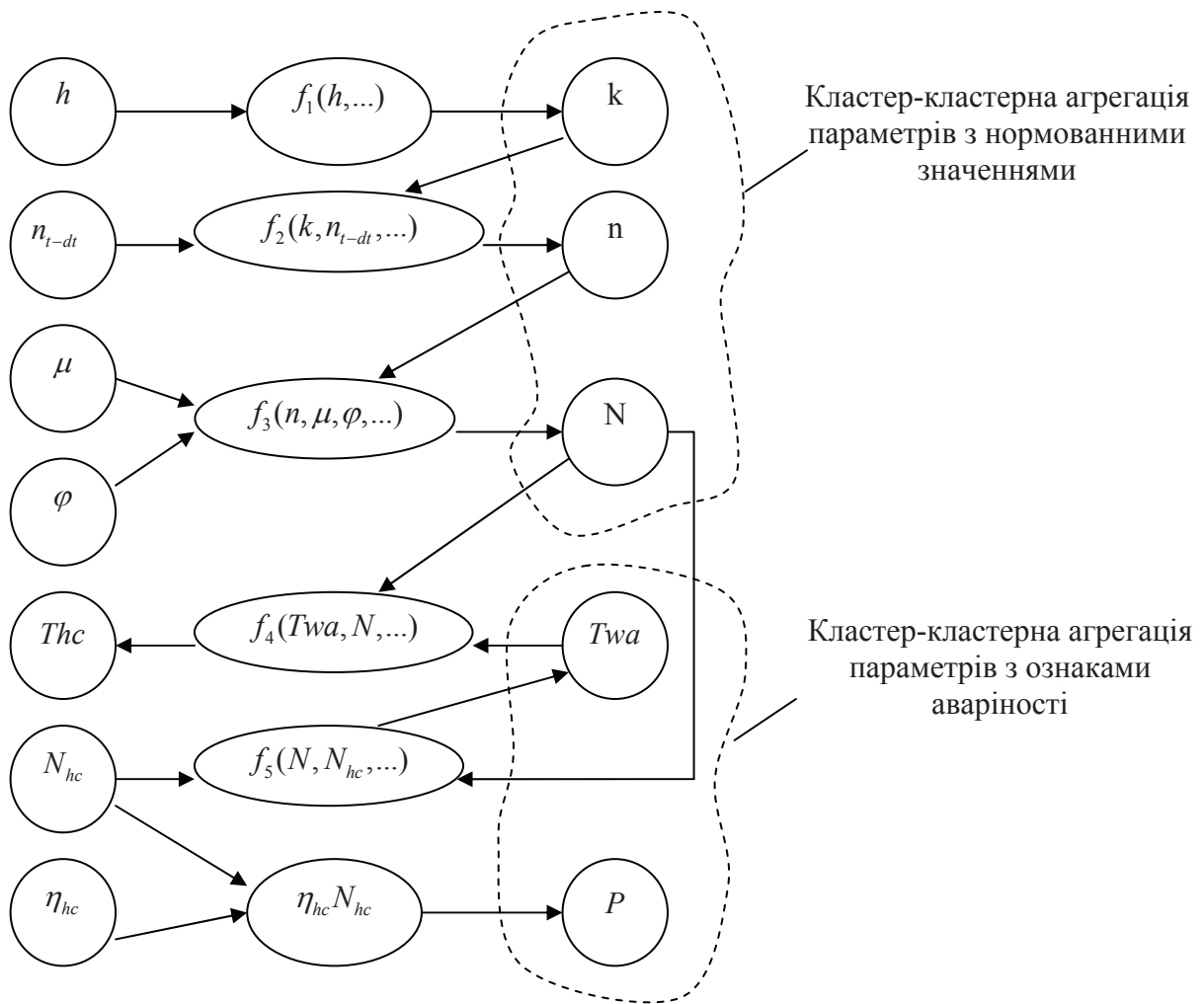


Рис. 2. Модель формування кластер-кластерних агрегацій параметрів технологічного процесу активної зони ядерного реактора АЕС

На рис. 3 показано утворення кластер-кластерних агрегацій [8] з параметрами технологічного процесу який відбувається в тепловій схемі паротурбінної установки АЕС (н-д:  $G_{вг}$  – витрата пара,  $h_{вг}$  – ентальпія середовища,  $G_j$  – витрата пара, що обігривається,  $h_{др}$  – ентальпія дренажу,  $\eta$  коефіцієнт теплових втрат та інші).

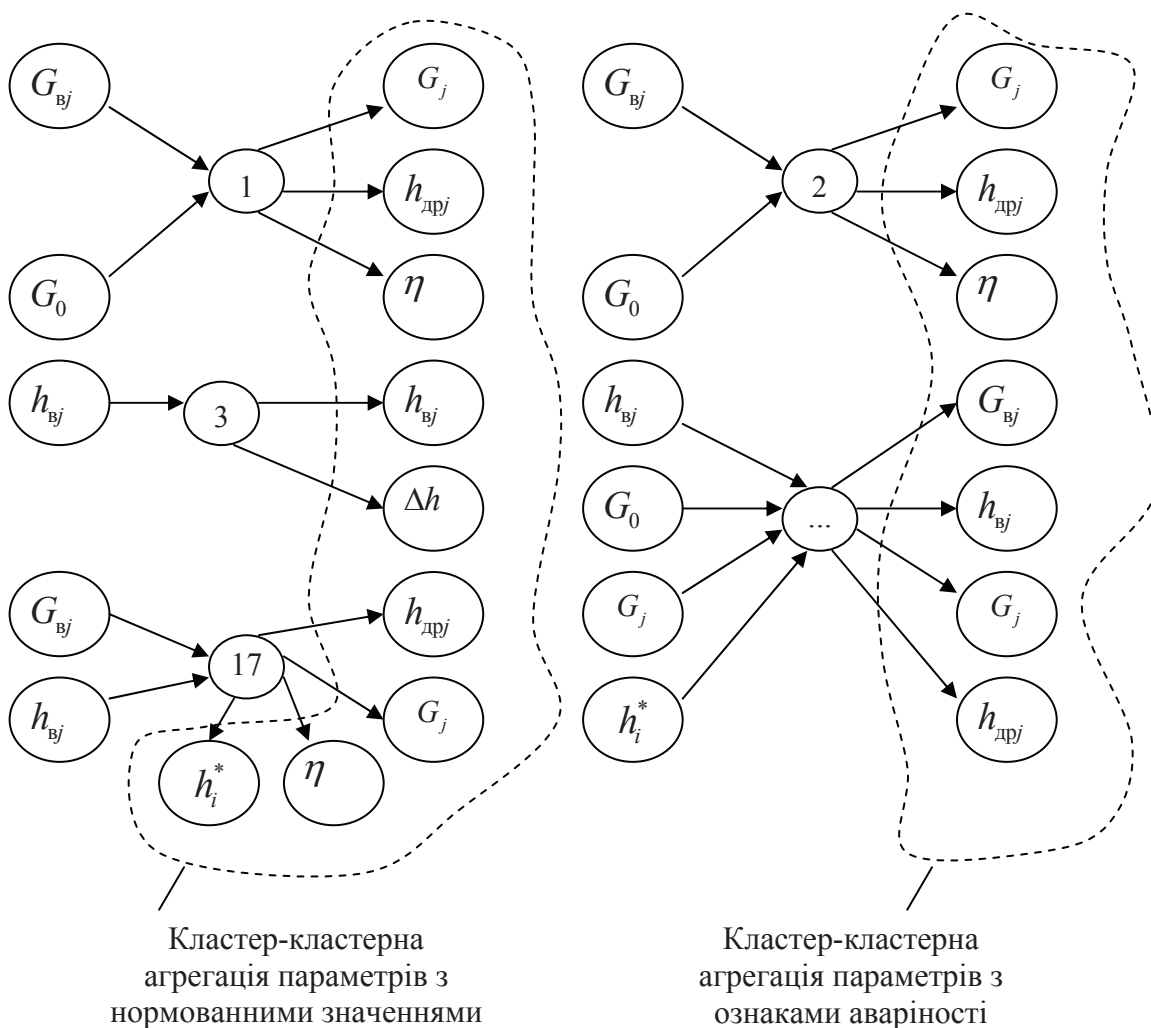


Рис. 3. Модель формування кластер-кластерних агрегацій з параметрами ПТУ

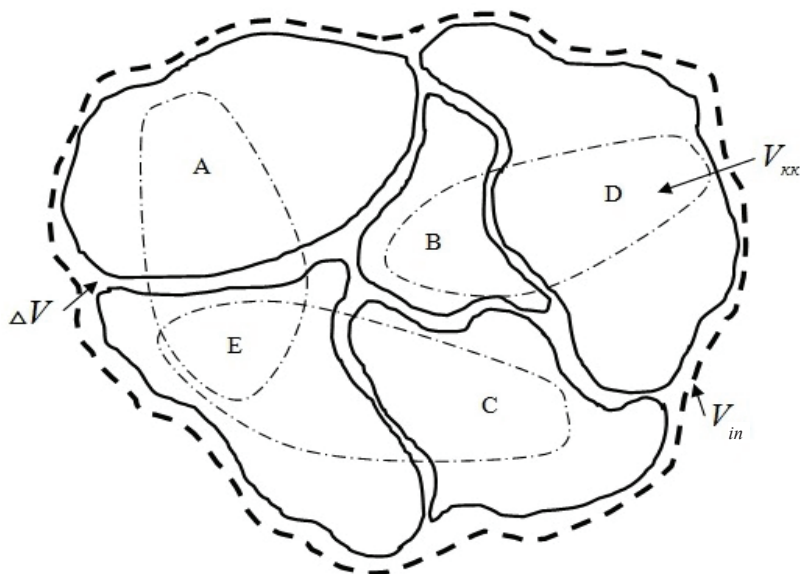


Рис. 4. Схема формування кластер-кластерної агрегації в об'ємі ИП

Кластерний аналіз інформаційних потоків покликаний забезпечити постійний і надійний процес систематизації. Проблема в тому, що більшість відомих методів зорієнтовані на кластеризацію статичних об'єктів, в той час, як інформаційний простір є динамічною системою і містить різні інформаційні об'єми про ці параметри. Теорія фракталів широко застосовується як підхід до дослідження рядів спостережень, що дозволяє отримувати важливі характеристики параметрів технологічних процесів, не вдаючись до детального аналізу їх внутрішньої структури.



На рис. 4 видно, що кластери окремих параметрів утворюють певний об'єм кластер-кластерних агрегацій ( $V_{kk}$ ), звідки витікає, що повний об'єм інформаційного простору ( $V_{in}$ ) має незаповнені частки простору ( $\Delta V$ ), тобто  $\Delta V = V_{in} - V_{kk}$ , а, отже, коефіцієнт заповнення інформаційного простору  $k_{zi} = \frac{V_{kk}}{V_{in}}$ .

Для кількісної характеристики об'єму інформаційного простору, на основі кластерного аналізу, авторами запропоновано використовувати апарат теорії фракталів. Тому кількісною фізичною величиною, яка характеризує міру заповнення усього об'єму інформаційного простору ( $V_{in}$ ) відповідними параметрами ( $A, B, C, D, E$ ) відповідно до теорії фракталів, є фрактальна розмірність ( $d_f$ ) кластер-кластерної агрегації.

Таким чином, в основі моделювання динаміки зміни характеристик параметрів ТП, авторами запропоновано застосування кластерного аналізу і апарату фрактальної теорії, тобто досягнення зв'язку зміни фрактальної розмірності ( $d_f$ ) від динаміки зміни характеристик хоч би одного параметра ( $A, B, C, D, E$ ), які можуть привести до нештатних аварійних ситуацій, тобто визначається виразом (3):

$$V_{kk} = (V_A + V_B + V_C + V_D + V_E)^{d_f}, \quad (3)$$

або

$$V_{kk} = (\beta V_{zp})^{d_f}, \quad (4)$$

де  $V_{kk}$  – об'єм кластер-кластерної агрегації (загальне число параметрів в інформаційному потоці);  $V_{zp}$  – об'єм груп об'єднаних кластерів (параметрів);  $d_f$  – фрактальна розмірність інформаційного масиву;  $\beta$  – масштаб виміру.

З виразів (3), (4) слідує що, співвідношення між кількістю параметрів в об'ємі кластер-кластерної агрегації, що несуть інформацію про нештатний технологічний процес і кластерів, що входять в групи кластерів, проявляється при збереженні фрактальних властивостей внутрішньої структури інформаційного простору при зміні масштабів його зовнішнього розгляду.

Таким чином, застосовуючи кластерний аналіз до дослідження інформаційного об'єму, визначаються зміни його фрактальної розмірності ( $d_f$ ) та на підставі цього виявляються ознаки аварійності технологічних параметрів в нештатних ситуаціях, що дозволяє запобігти аваріям і катастрофам на АЕС в режимі реального часу.

### Висновки

1. Проаналізовані сучасні методи діагностики і обробки інформаційного простору технологічного процесу на АЕС;
2. Запропонований підхід до моделювання динаміки зміни характеристик параметрів технологічного процесу АЕС на основі фрактально - кластерного підходу з виявлення ознак їх аварійності.

### Список використаної літератури

1. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Анализ современного состояния и перспективы развития автоматизированных систем по подготовке оперативного персонала АЭС. – Системы обработки информации, Харьков: ХУПС, № 9 (107), 2012, С. 263–269.
2. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Синергетический подход к разработке модели принятия решения оперативным персоналом АЭС в нештатных ситуациях. - Системы обработки информации, Харьков: ХУПС, № 1(108), 2013, С. 256–262.

3. Буданов П. Ф., Бровко К. Ю. Метод кластерного анализа для обработки информационного пространства в автоматизированных тренажерах по подготовке оперативного персонала АЭС. – Системы обработки информации, Харьков: ХУПС, № 2 (109), 2013, С. 106–111.
4. Дуэль М. А. Автоматизированное управление объектами и технологическими процессами тепловых и атомных электростанция. – Харьков, 2010. – 448 с.
5. Ландэ Д. В., Фурашев В. Н. Объектно–статистический анализ информационных потоков. – Открытые информационные и компьютерные технологии. Харьков: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып.35. – С. 133–137.
6. Лескин С. Т. Разработка алгоритмов распознавания аномалий в состоянии оборудования АЭС по анализу данных оперативного технологического контроля // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 1997. – № 4. – С. 4–12.
7. Белоусов П. А. Разработка и применение методов обнаружения изменения свойств и прогнозирования временных рядов в задачах диагностирования АЭС / П. А. Белоусов, А. О. Скоморохов // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2006. – № 3. – С. 3–12.
8. Скоморохов, А. О. Кластерный анализ сигналов системы акустического контроля течи / А. О. Скоморохов, П. А. Белоусов, С. А. Морозов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2006. – № 4. – С. 3–12.

#### References:

1. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Synergetics going near development of decision-making model by the operative personnel of nuclear power plants in nonpermanent situations are systems of treatment of information [Analiz sovremennogo sostoyaniya i perspektivyi razvitiya avtomatizirovannykh sistem po podgotovke operativnogo personala AES], Kharkiv: № 1(108), 2013, P. 256–262.
2. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Analysis of the modern state and prospect of development of the automated systems on preparation of operative personnel of nuclear power plants are systems of treatment of information [Sinergeticheskiy podhod k razrabotke modeli prinyatiya resheniya operativnyim personalom AES v neshtatnykh situatsiyah], Kharkiv: № 9 (107), 2013, P. 263–269.
3. Budanov P. F., Brovko K. Yu. Method of cluster analysis for treatment of informative space in the automated trainers on preparation of operative personnel of nuclear power plants are systems of treatment of information [Metod klasterного analiza dlya obrabotki informatsionnogo prostranstva v avtomatizirovannykh trenazherah po podgotovke operativnogo personala AES], Kharkiv: № 2(109), 2013. – P. 106–111.
4. Duel of M. And. Automated by management objects and technological processes thermal and atomic power-station [Avtomatizirovannoe upravlenie ob'ektami i tehnologicheskimi protsessami teplovykh i atomnykh elektrostantsiya]. Kharkiv, 2010. – 448 p.
5. Lande D. V., Furashev V. N. Objective-statistical analysis of informative streams. are open information and computer technologies [Ob'ektno–statisticheskiy analiz informatsionnykh potokov]. Kharkiv., 2007. – № 35. – P. 133–137.
6. Leskin S. T. Development of algorithms of recognition of anomalies in a state of equipment of nuclear power plants on the analysis of data of operative technological control [Razrabotka algoritmov raspoznavaniya anomalii v sostoyanii oborudovaniya AES po analizu dannykh operativnogo tehnologicheskogo kontrolya] //of Information of institutes of higher. Nuclear energy. – 1997. – № 4. – P. 4–12.
7. Belousov P. A. Development and application of methods of finding out the change of properties and prognostication of temporal rows in the tasks of diagnosticating of nuclear power plants [Razrabotka i primeneniye metodov obnaruzheniya izmeneniya svoystv i prognozirovaniya vremennykh ryadov v zadachah diagnostirovaniya AES] / Belousov P. A., Scmorohov A. O. / Of Information of institutes of higher. Nuclear energy. – 2006. – № 3. – P. 3–12.
8. Scmorohov A. O. The cluster analysis of signals of the acoustic checking of flow system [Klasterniy analiz signalov sistemyi akusticheskogo kontrolya techi] / Scmorohov A. O., Belousov P. A., Morozov C. A. // Of Information of institutes of higher. Nuclear energy. – 2006. – № 4. – P. 3–12.

Поступила в редакцию 18.12 2014 г.