

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 621.311.25:519.816

П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко

*Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков*

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЭНЕРГООБЪЕКТА СПОСОБОМ ВЫЯВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ПРИЗНАКОВ В НЕШТАТНЫХ РЕЖИМАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ФРАКТАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ

*Предложен способ обнаружения аварийных признаков в нештатных режимах функционирования энергообъекта, на основе метода фрактального обнаружения, учитывающий изменение электрофизических характеристик технологического процесса энергообъекта от изменения фрактально-геометрических размерностей странного аттрактора трехмерного фазового объема информационного пространства технологического процесса энергообъекта, который реализуется модулем обнаружения признаков аварийности в составе микропроцессорной системы автоматизированной системы управления технологическими процессами энергообъекта, в основе работы которого, лежит определение отклонения значений величин пространственно-временных координат характеристик технологических параметров в режиме реального времени с учетом фрактальных информационных и геометрических размерностей трехмерного фазового объема информационного пространства технологического процесса энергообъекта.*

**Ключевые слова:** аварийные признаки, модуль обнаружения признаков аварийности, метод фрактального обнаружения, фрактально-геометрические размерности.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ публикаций.

Анализ аварий на энергообъектах (ТЭС, АЭС) за последнее время показывает, что они возникают, как правило, внезапно, а, следовательно, практически невозможно их предотвратить. Основными источниками аварий, как показывает анализ [1, 2], являются ошибки оперативного персонала энергообъектов (70%), износ технологического оборудования (20%) и природные явления (10%).

Энергообъекты (АЭС, ТЭС) являются сложными динамическими объектами очень повышенной опасности, где эксплуатационный персонал недостаточно полно и своевременно обеспечивается информацией об аварийной ситуации микропроцессорными системами автоматизированных систем управления технологическими процессами (МПС АСУ ТП), поэтому, необходимо усовершенствование аппаратно-программного обеспечения МПС АСУ ТП, которая позволит в режиме реального времени выявить любую аварийную ситуацию и своевременно предупредить об этом для последующего её устранения [4 – 9].

Необходимо отметить также, что бесконтрольное самопроизвольное протекание технологического процесса на энергообъектах, как правило, происхо-

дит в нештатных режимах функционирования и не зависит даже от правильных действий оперативного персонала, которые направлены на снижение разрушительных последствий аварии на энергообъект.

Проблема еще состоит в том, что в одно и то же время, на нескольких технологических участках технологического процесса энергообъекта, характеристики аналоговых технологических параметров значительно приближаются к недопустимым границам и временным интервалам, а, как известно, на электростанциях (АЭС, ТЭС) тысячи дискретных параметров, сигнализирующих состояние задвижек и различных выключателей по управлению технологическим оборудованием энергообъекта.

Кроме того, анализ аварий на энергообъектах показал, что существует предаварийный этап во времени, т.е. аварийная ситуация, оперативное и своевременное обнаружение которой значительно снизит или предотвратит последствия аварий, т.к. она развивается постепенно во времени, и в отличие от самой разрушительной аварии, которая протекает значительно быстрее, чем выработка управляющих сигналов на принятие решений при управлении энергообъектом, позволит формировать сигналы управления с помощью МПС АСУ ТП и своевременно принимать решения на управление режимами энергообъекта [4 – 9].

Таким образом, актуальной проблемой повышения надежности управления технологическим оборудованием энергообъектами является своевременное оперативное выявление и предупреждение аварий на этапе аварийной ситуации.

Данная задача может быть решена с помощью различных способов выявления аварийных признаков на этапе аварийной ситуации, в основе которых лежат различные методы обнаружения этих аварийных признаков.

Анализ научно-технической и специальной литературы [1, 2] показал, что на сегодняшний день существует несколько основных методов: пороговый, ресурсный и логический, в которых задача предупреждения аварийной ситуации заключается в том, чтобы исключить срабатывание аварийных защит, т.к. аварийные защиты полностью не исключают возникновения масштабной аварии или приводят к внеплановым остановкам.

Анализ порогового метода [3] показал, что он является самым простым и элементарным, однако для атомных электростанций Украины является самым неэффективным, т.к. пороговая диагностика обеспечивает сигнализацию только при выходе аналоговых сигналов за верхнюю уставку (например, превышение давления или температуры от номинального значения).

Анализ ресурсного метода [3] показал, что он обеспечивает двойственный контроль степени износа технологического оборудования энергообъекта и совокупности значений аналоговых параметров на данном технологическом оборудовании энергообъекта. В данном методе используется простой принцип, что чем меньше износ технологического оборудования, тем меньше изменяются параметры (например, оборудование выдержит большее значение давления и температуры). Поэтому при большем износе конкретного оборудования и конкретного участка технологического оборудования им должны быть предписаны меньшие предельные значения контролируемых параметров.

Анализ логического метода [3] показал, что для обеспечения контроля действий эксплуатационного персонала по управлению электростанцией, т.е. каждый ввод в работу оборудования, как и его вывод из работы, должен проходить строго регламентированные этапы изменения значения соответствующих дискретных сигналов: включил или отключил, поэтому при изменении значения очередного включателя проверяются состояния смежных включателей и, при необходимости, значения аналоговых параметров. Если логическое условие выполняется, то управление осуществляется, в противном же случае выдётся сообщение о некорректных действиях с правильной подсказкой. Такие операции выполняются МПС АСУ ТП энергообъекта.

Анализ рассмотренных методов показал, что основным недостатком по выявлению аварийной ситуации является низкая надежность в управлении энергообъектом в нештатных режимах функционирования. Поэтому, **целью статьи** является разработка способа обнаружения аварийных признаков в нештатных режимах функционирования энергообъекта на этапе аварийной ситуации, с использованием метода фрактального обнаружения аварийных признаков в трехмерном фазовом объеме информационного пространства технологического процесса энергообъекта.

## Основной материал

В статье [4] авторами был предложен метод фрактального обнаружения аварийных признаков при отклонении нормированных значений характеристик параметров технологического процесса, который основывается на оценке фрактальных свойств структуры объема фазового информационного пространства при прохождении через него случайных информационных сигналов на основе количественных и качественных изменений фрактальных и информационных размерностей. С помощью предложенного метода показано, что в хаотических случайных системах изменение объема информационного пространства  $\Delta V$  пропорционально изменению энергии сигнала  $\Delta E$  в данном объеме и возможные потери энергии  $E$  связаны с изменением размерности в фрактальных структурах кластер-кластерных агрегаций трёхмерного пространства.

Для разработки способа выявления аварийных признаков в аварийных ситуациях авторами в качестве основы был использован вышерассмотренный метод фрактального обнаружения и реализован структурно-функциональной схемой, показанный на рис. 1.

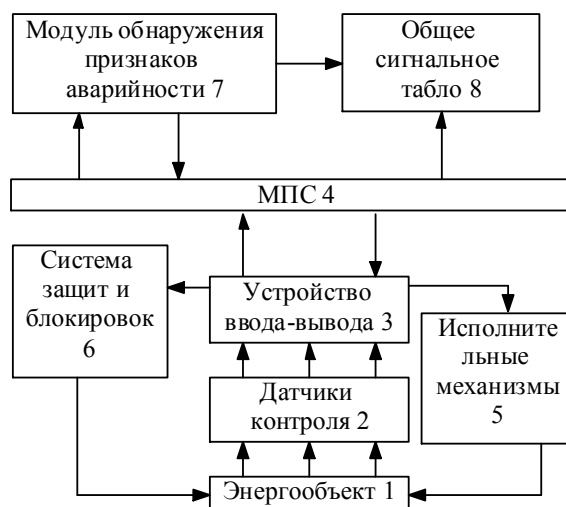


Рис. 1. Структурно-функциональная схема управления технологическим процессом энергообъекта

В состав структурно-функциональной схемы управления энергообъектом (рис. 1) были предложены следующие элементы:

энергообъект 1, выходы которого соединены со входами датчиков контроля 2,

выходы датчиков контроля 2 соединены со входами устройства ввода-вывода 3;

первый выход устройства ввода-вывода 3 соединен с первым входом микропроцессорной системы 4,

второй выход устройства ввода-вывода 3 соединен с входом исполнительных механизмов 5, выход которых соединен с первым входом энергообъекта 1, а третий выход устройства ввода-вывода 3 соединен со входом системы защит и блокировок 6, выход которой соединен со вторым входом энергообъекта 1;

отдельный вход устройства ввода-вывода 3 соединен с первым выходом микропроцессорной системы 4, второй выход которой соединен с входом модуля обнаружения признаков аварийности 7,

третий выход микропроцессорной системы 4 соединен с первым входом общего сигнального табло 8, а второй вход общего сигнального табло 8 соединен со вторым выходом модуля обнаружения признаков аварийности 7.

Рассмотрим реализацию способа выявления аварийных признаков в аварийных ситуациях, на основе предложенной структурно - функциональной схемы. Сбор информации о характеристиках электрофизических параметров технологического процесса энергообъекта 1 осуществляется с датчиков контроля 2 через устройство ввода –вывода 3, а дальнейшая ее обработка, происходит в арифметически – логическом устройстве микропроцессорной системы 4, где текущие данные об электрофизических параметрах технологического процесса энергообъекта 1 сравниваются с данными, которые заранее установлены предельными уставками в памяти данных микропроцессорной системы 4. В случае сравнения текущих характеристик параметров, поступивших от датчиков контроля 2 и данных, считанных с предельных уставок памяти данных в арифметически – логическом устройстве микропроцессорной системы 4, формируются нормированные признаки, и управляющий сигнал не поступает через устройство ввода-вывода 2 на исполнительные механизмы 5, и системы защит и блокировок 6.

При наступлении нештатных режимов функционирования энергообъекта 1 происходят отклонения характеристик электрофизических параметров технологического процесса энергообъекта 1, которые поступают с датчиков контроля 2 через устройство ввода-вывода 3 в микропроцессорную систему 4, где текущие данные об электрофизических параметрах технологического процесса энергообъекта 1

сравниваются с данными, которые заранее установлены предельными уставками в памяти данных микропроцессорной системы 4. Результаты сравнения данных из микропроцессорной системы 4 поступают через устройство ввода-вывода 3 на исполнительные механизмы 5, и системы защит и блокировок 6 и модуль обнаружения аварийных признаков 7 в нештатных режимах функционирования энергообъекта 1.

В модуле обнаружения аварийных признаков 7 в нештатных режимах функционирования энергообъекта 1, параллельно микропроцессорной системе 4, обрабатываются результаты сравнения текущих аварийных отклонений об электрофизических параметрах технологического процесса энергообъекта 1 с данными, которые заранее установлены предельными уставками в памяти данных микропроцессорной системы 4. Это делается с целью выделения аварийных признаков на основе полученных изменений пространственно-временных характеристик каждого отдельного технологического параметра в режиме реального времени. Эти расчеты производятся методом фрактального обнаружения, в основе которого лежит зависимость изменения характеристик электрофизических параметров технологического процесса энергообъекта 1 от геометрических и информационных размерностей трехмерного фазового объема информационного пространства технологического процесса энергообъекта, которое формируется в модуле обнаружения аварийных признаков 7.

На основе полученных результатов по выделению аварийных признаков в нештатных режимах функционирования энергообъекта 1 в модуле обнаружения аварийных признаков 7 вырабатывается сигнал, содержащий аварийные признаки, который поступает в микропроцессорную систему 4, где формируется и вырабатывается управляющий сигнал. Этот сигнал через устройство ввода-вывода 3 поступает на системы блокировок и защит 6 по включению блокировок и защит на энергообъекте 1 в режиме реального времени. Это дает возможность недопущения последствий возникновения аварий и катастроф и обеспечение штатного управления функционированием энергообъекта 1. Кроме того, при возникновении аварийной ситуации в модуле обнаружения признаков аварийности 7 формируется информационный сигнал оповещения, который поступает на общее сигнальное табло 8.

Рассмотрим получение положительного эффекта от использования предлагаемого способа.

В работах [4 – 10] авторами показано, что исследование сложных энергетических систем, как правило, проводят путем представления энергообъектов в виде взаимосвязанных составных частей, анализа их функций и задач для дальнейшего изуче-

ния взаимодействия всех элементов, входящих в их состав.

Однако, как показывает теория синергетического подхода с элементами фрактально-кластерной теории [11, 12], не всегда функции и задачи всей системы повторяются в ее составных частях: подсистемах и элементах, что приводит к потере информации в трехмерном фазовом объеме информационного пространства технологического процесса энергообъекта.

В работах [4 – 9] авторы исследовали поведение энергетических динамических систем и получили результаты, которые подтверждают, что их структуры обладают фрактальными свойствами и зависят от внешних управляющих параметров.

Это обстоятельство раскрывает основы возникновения таких явлений, как динамический хаос, в результате которого происходят случайные процессы (т.е. сценарии нештатных аварийных ситуаций), что приводит к возникновению хаотических режимов функционирования энергообъектов. Поэтому в пред-

лагаемом способе авторы учитывают изменения электрофизических характеристик параметров технологического процесса энергообъекта в зависимости от изменения фрактально-геометрических размерностей странного аттрактора трехмерного фазового объема информационного пространства технологического процесса энергообъекта при определении окрестности ненормированных значений локальной информационной неоднородности в трехмерном фазовом объеме информационного пространства технологического процесса энергообъекта.

Работу модуля обнаружения аварийных признаков в нештатных режимах функционирования энергообъекта можно проследить на лабораторной установке для реализации способа выявления аварийных признаков в нештатных режимах функционирования энергообъекта (рис. 2), используя метод осциллографирования электрических сигналов с помощью осциллографа, который позволяет измерять амплитудные и временные параметры электрических сигналов (напряжения и тока).

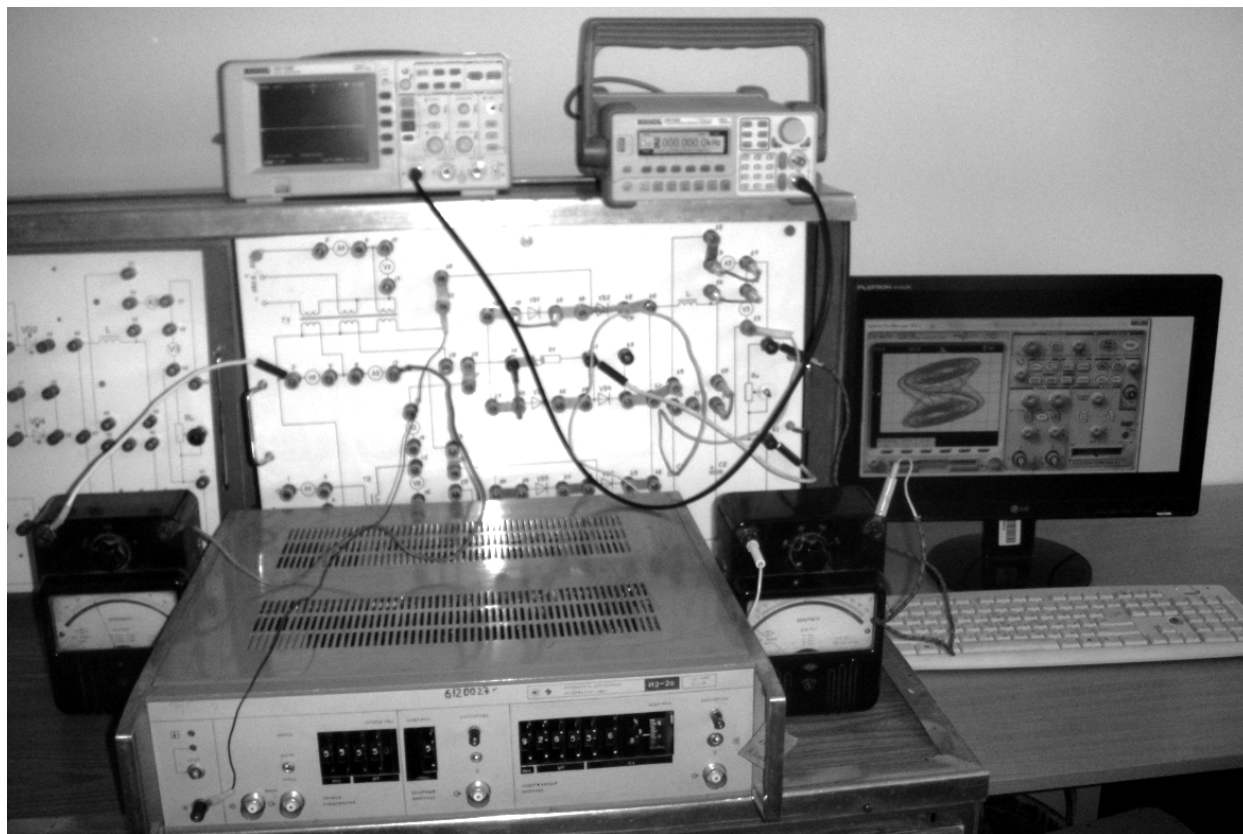


Рис. 2. Схема лабораторной установки для реализации способа выявления аварийных признаков в нештатных режимах

Процесс осциллографирования (получение осциллограмм) заключается в измерении линейных размеров изображений на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) и их пересчете в напряжение и время. Таким образом, осциллограф позволяет получать так называемые сфазированные осцилло-

граммы, представляющие собой изображения двух сигналов на экране осциллографа, построенные (сформированные) для одних и тех же моментов времени (для единой оси времени). Другими словами, у сфазированных осциллограмм вертикальные оси – разные, а временные (горизонтальные) – оди-

наковые. На рис. 3 показана сфазированная осциллограмма двух сигналов (U1 и U2): сигнал U1 – соответствует электрическому сигналу без отклоне-

ний, т.е. с нормированными признаками, а сигнал U2 – с отклонениями от нормы, т.е. содержит признаки аварийной ситуации.

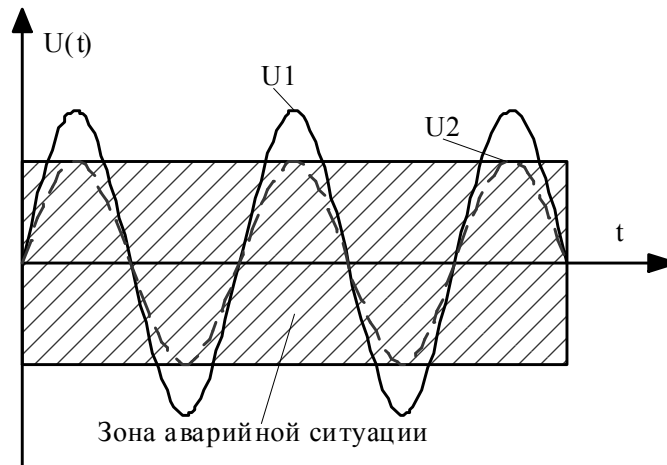


Рис. 3. Метод осциллографирования электрических сигналов по выявлению признаков аварийной ситуации

Таким образом, используя метод осциллографирования непрерывных электрических сигналов, можно проследить изменение функции математической модели непрерывного сигнала от нормированного значения ( $U_1$ ), согласно выражения (1):

$$U_1(t) = A \sin[\omega t + \varphi], \quad (1)$$

где  $A$  - амплитуда сигнала,  $\omega t$  – текущая фаза, которая отражает изменение угла гармонического сигнала с течением времени,  $\varphi$  – начальная фаза сигнала, и непрерывного сигнала с признаками аварийности ( $U_2$ ), согласно выражения (2):

$$U_2(t) = A \sin[(\omega + \Delta\omega)t + \varphi], \quad (2)$$

где  $\Delta\omega$  – приращение частоты электрического непрерывного сигнала, соответствующее аварийным признакам.

## Выводы

1. Предложенный способ обнаружения аварийных признаков в нештатных режимах функционирования энергообъекта включает:

определение электрофизических характеристик элементов энергообъекта и установление их взаимосвязи,

учет изменения электрофизических характеристик технологического процесса энергообъекта в зависимости от изменения фрактально-геометрических размерностей странного аттрактора трехмерного фазового объема информационного пространства при определении окрестности ненормированных значений локальной информационной неоднородности в трехмерном фазовом объеме информационного пространства на основе

учета изменения пространственных координат площади кластер-кластерной агрегации странного аттрактора и времени образования окрестности ненормированных значений характеристик параметров в период от нуля до одной секунды, а в качестве количественных характеристик структуры заполненности трехмерного фазового объема информационного пространства технологического процесса энергообъекта используют фрактальную размерность времени и фрактальную размерность, ограниченную евклидовой размерностью.

2. Для реализации способа обнаружения аварийных признаков в нештатных режимах функционирования энергообъекта предложен и разработан модуль обнаружения признаков аварийности в составе микропроцессорной системы автоматизированной системы управления технологическими процессами энергообъекта, в основе работы которого лежит определение отклонения значений величин пространственно-временных координат характеристик технологических параметров в режиме реального времени с учетом фрактальных информационных и геометрических размерностей трехмерного фазового объема информационного пространства технологического процесса энергообъекта.

Работа модуля обнаружения аварийных признаков в нештатных режимах функционирования энергообъекта, показана на основе метода осциллографирования электрических сигналов, который позволяет измерять амплитудные и временные параметры электрических непрерывных сигналов, по которым определяются аварийные признаки параметров технологического процесса энергообъекта.

## Список літератури

1. Лугоцкий А.И. Анализ потока нарушений в работе АЭС Украины, случившихся в течении 2005 года / А.И. Лугоцкий, С. В. Недбай, А. В. Носовский // Ядерная и радиационная безопасность. – 2006 – Т. 9, № 3. – С. 12-19.
2. Кунаев М.А. Оперативная диагностика энергетических установок / М.А. Кунаев // Атомная стратегия 21 века. – март 2010. – 02(45). – С. 14-17.
3. Скалозубов В.И. Развитие и оптимизация систем контроля атомных электростанций с ВВЭР: монография / В.И. Скалозубов, Д.В. Билей, Т.В. Габля и др.: под ред. Скалозубова; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль, 2008. – 512 с.
4. Буданов П.Ф. Метод фрактального обнаружения аварийных признаков в информационном пространстве технологического процесса / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – № 4(44). – С. 10-14.
5. 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.
6. Буданов П.Ф. Синергетический подход к разработке модели принятия решения оперативным персоналом АЭС в нестандартных ситуациях / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1(108). – С. 256-262.
7. 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.
8. 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, 2015. – Вип. 2(43). – С. 84-88.
9. Буданов П.Ф. Просторово-часова модель інформаційного простору з фрактальною структурою / П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 7(132). – С. 15-19.
10. Жиленко Е.П. Управляемые хаос в установившихся режимах электроэнергетических систем / Е.П. Жиленко, С.Ю. Прусс, Н.Ю. Фоменко, Д.Е. Христинич // Омский научный вестник. – 2013. – Вип. 2(120). – С. 184-191.
11. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
12. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: ИКИ, 2002. – 656 с.

Поступила в редколлегию 29.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.И. Канюк, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ  
ЕНЕРГООБ'ЄКТІВ СПОСОБОМ ВИЯВЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ОЗНАК  
У ПОЗАШТАТНИХ РЕЖИМАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
НА ОСНОВІ МЕТОДУ ФРАКТАЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ**

П.Ф. Буданов, К.Ю. Бровко

Запропоновано спосіб виявлення аварійних ознак в нештатних режимах функціонування энергооб'єкта, на основі методу фрактального виявлення, що враховує зміну електрофізичних характеристик технологічного процесу энергооб'єкта від зміни фрактально-геометричних розмірностей дивного атратора тривимірного фазового об'єму інформаційного простору технологічного процесу энергооб'єкта, який реалізується модулем виявлення ознак аварійності в складі мікропроцесорної системи автоматизованої системи управління технологічними процесами энергооб'єкта, в основі роботи якого лежить визначення відхилення значень величин просторово-часових координат характеристик технологічних параметрів в режимі реального часу з урахуванням фрактальних інформаційних і геометричних розмірностей тривимірного фазового об'єму інформаційного простору технологічного процесу энергооб'єкта.

**Ключові слова:** аварійні ознаки, модуль виявлення ознак аварійності, метод фрактального виявлення, фрактально-геометричні розмірності.

**IMPROVING THE RELIABILITY OF PROCESS CONTROL  
OF POWER FACILITIES EMERGENCY WAY TO IDENTIFY FEATURES  
IN NON-STANDARD MODES FUNCTIONING ON THE BASIS  
OF FRACTAL METHOD OF DETECTION**

P.F. Budanov, K.Yu. Brovko

A method for detection of emergency signs in emergency mode power facility operation, based on the method of fractal detection, taking into account the change in the electrical characteristics of the process of a power of change of fractal – geometrical dimensions of the strange attractor of three-dimensional phase volume of information space of the process of a power, which is implemented by signs detection module accident as part of a microprocessor system-term automated process control system of a power, the basis of whose works, is the definition of the variation in the values of the spatial – temporal coordinates of technological parameters of the characteristics of real-time information based on fractal geometry and dimensions of the three-dimensional phase space volume of information process power facility.

**Keywords:** emergency signs, signs of the accident detection unit, detection method of fractal, fractals – geometric dimensions.