

11. Giroux N. Quality of Service in ATM Net-works / Giroux N., Ganti S. // Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall – 1999.

12. Borella M. Measurement and Analyses of Long-Range Packet Dependent Behavior of Internet Packet Delay / Borella M., Brewster G. // IEEE INFO-COM '98 – 1998, April.

13. Kramer W. Investigations of Systems with Queues in Series (Untersuchung von Systemen mit seriellem Warten) / Kramer W. // Dissertation University of Stuttgart 1975 and 22nd Report on Studies in Congestion Theory – Institute of Switching and Data Technics, 1975.

14. Langenbach-Belz M. Sampled Queueing Systems Proc.Symp. on Computer Communications Networks & Teletraffic / Langenbach-Belz M. // Polytechnic Press – Brooklyn, New York, 1972.

**Аннотации:**

В статье рассмотрен возможный метод анализа временных характеристик потоков сообщений конвергентной телекоммуникационной сети. Анализ выполнен методом декомпозиции, при котором объект исследования представлен в виде открытой сети, состоящей из систем массового

обслуживания с произвольного вида функциями распределения моментов поступления и длительности обслуживания потоков сообщений.

**Ключевые слова:** конвергентная телекоммуникационная сеть, поток сообщений, система массового обслуживания, функция распределения, время.

В статті розглянуто можливий метод аналізу часових характеристик потоків повідомлень конвергентної телекомунікаційної мережі. Аналіз виконано методом декомпозиції, при якому об'єкт дослідження представлено у вигляді відкритої мережі, що складається з систем масового обслуговування з довільного вигляду функціями розподілу моментів надходження та тривалості обслуговування потоків повідомлень.

**Ключові слова:** конвергентна телекомунікаційна мережа, потік повідомлень, система масового обслуговування, функція розподілу, час.

Possible analysis method of messages streams' time characteristics in the convergent telecommunication network is considered in the paper. Analysis is done by decomposition method. Research object is represented as open network, which is consist of queueing systems with general distribution functions of messages streams' arrival times and service time.

**Keywords:** convergent telecommunication network, messages stream, queueing system, distribution function, time.

УДК 681-516.52

СКОРОБОГАТОВА И.В., аспирант (ДонНТУ)

**Синтез системы автоматического управления энергосберегающими режимами камерной печи**

**Общая постановка проблемы**

Система управления электроприводами исполнительных механизмов подачи газо-воздушной смеси в рабочее пространство камерной печи в энергосберегающем режиме относится к регулируемым автоколебательным системам.

Основной сложностью является обеспечение независимого регулирования

расхода газа и воздуха в импульсном режиме.

Общепринятый подход к синтезу не учитывает согласование подачи расхода газо-воздушной смеси, сводя его к построению многомерных систем с задающими воздействиями для каждого объекта в отдельности.

Возникает проблема при выборе обратных связей по регулированию газа и

воздуха, и по реализации САУ работой камерной печи в импульсном режиме.

---

**Постановка задачи исследования**

---

Новая технология основана на поступлении расхода газо-воздушной смеси на заслонки двух групп по синусоидальному закону, то есть в противофазе, и направлена на качественный нагрев металла, снижение потребления газа и снижение выброса вредных составляющих продуктов сгорания. При этом должно соблюдаться условие: суммарное гидравлическое сопротивление должно быть одинаковым [1, 2].

Синусоидальный закон на практике можно реализовать при помощи определенного соотношения между временем включения и выключения горелок. Полностью выключать горелки не эффективно, поэтому в рабочее пространство печи осуществить подачу теплоносителя можно в режиме «низкое – высокое», управляя мощностью газосжигательных устройств. Горелки установлены в боковых стенах камерной печи. Например, с одной боковой стороны камерной печи мощность работы горелок первой группы минимальная, с другой – максимальная. При этом соотношение газ-воздух должно рассчитываться: сколько теоретически необходимо воздуха требуется для сжигания  $1 \text{ м}^3$  газа, а также должен учитываться вариант сгорания топлива: полное сжигание, коэффициент избытка воздуха колеблется от 1 – 1,2 [3].

Основным преимуществом рассматриваемого режима является повышение турбулентности каналов сгорания и управление пламенем.

В качестве регулирующих органов при традиционном режиме сжигания газа применяются задвижки с быстродействием около 25 с.

Независимо от режима сжигания топлива система регулирования приводами задвижек должна обеспечивать отсутствие проскока и отрыва пламени. Особенно это актуально при реализации пульсирующего режима подачи теплоносителя.

На практике для реализации импульсного режима применение регулирующих органов с низким быстродействием достаточно трудоемко, так как при неисправности регулирующих органов поступающий газ и воздух могут запаздывать друг по отношению к другу. Возможно, накопление газа, и как следствие, возникновение аварийной ситуации.

В качестве регулирующего органа рационально применять электромагнитный клапан или пневматический клапан с быстродействием 50 мс.

Таким образом, регулирование мощности двух групп горелок можно реализовать при помощи электропневматических клапанов газа -воздуха перед горелками.

Регулятор может переключать электропневматические клапаны в течение заданного цикла, который соответствует или основному периоду нагрева, или периоду выдержки.

Скорость вращения заслонок с частотой, зафиксированной в экспериментальных исследованиях, при которых был получен технологический эффект составляет  $54 - 100 \text{ об/мин}$  [4].

В переходном процессе возмущения могут быть вызваны неисправностью исполнительного механизма или люфтом в одном из исполнительных механизмов. Значит, соотношения газ-воздух для двух групп горелок могут отличаться от заданных соотношений. Это влияет на качественные показатели технологического процесса нагрева металла в камерной печи.

Многомерные системы строят по принципу обработки задающих воздействий, если необходимо изменить соотношение этих величин – изменяется задающее воздействие (например, используются схемы с общим задатчиком и с изменяющимся коэффициентом передачи сигнала на каждую подсистему). Недостатком является невозможность контроля соотношений в переходном процессе, так как ошибки регулирования не вводятся в заданный закон управления [5].

Возникает задача синхронизации изменения расхода теплоносителя на каждую горелку. Следовательно, необходимо скорректировать соотношения между частотами включения исполнительных механизмов групп четных и нечетных горелок, а также обеспечить параллельную работу каждой из групп, то есть скоординировать их работу [6].

Таким образом, для разрабатываемой системы необходимо обеспечить синхронное изменение расхода газо-воздушной смеси для каждой из групп горелок в зависимости от частоты подачи теплоносителя в рабочее пространство камерной печи.

### Решение задачи и результаты исследования

Новый подход к синтезу, основанный на использовании координирующих структур особо актуален при работе камерной печи в энергосберегающем режиме.

Обычно для построения многомерной системы используется принцип структурного автономного регулирования. То есть, при управлении каждым отдельным приводом исполнительного механизма должен использоваться отдельный регулятор, не связанный с регуляторами других приводов [7].

При этом необходимые соотношения устанавливаются, выбирая задающие воздействия [8]. При действии возмущающего воздействия на одну из ветвей, соотношение переменных в переходном процессе будет отличаться от соотношения заданного технологическими условиями нагрева металла.

Подача топлива в рабочее пространство камерной печи может осуществляться по следующему принципу:

$$Bg(\tau) = \begin{cases} Bg_{sum1}, \tau \leq \tau_p \\ Bg_{sum2}, \tau > \tau_p \end{cases}$$

где  $Bg_{sum1}, Bg_{sum2}$  – суммарное количество газа, поступающее с 1 и 2 группы газосжигательных устройств в печь;  $\tau_p$  – установленное время переключения групп горелок.

Установленное время переключения зависит от частоты срабатывания клапанов. Влияние значения частоты подачи теплоносителя устанавливалось в результате экспериментальных исследований [2, 4].

Для реализации такого закона подачи газо-воздушной смеси разработана модель САУ энергосберегающими режимами камерной печи в программе MATLAB.

На рисунке 1 приведены результаты моделирования САУ работы камерной печи в импульсном режиме в зависимости от изменения частоты подачи газа.

Разработанная структура САУ энергосберегающими режимами печи представлена на рисунке 2.

На рисунке 2 приняты следующие условные обозначения: ЭМКГ, ЭМКВ – электромагнитные клапаны газа и воздуха; СМК – синхронизирующая матрица коэффициентов; ПС – повторитель управляющих сигналов газа или воздуха; ДТ – датчик температуры.

Так как горелки работают попеременно с различной мощностью, следовательно, показания с датчиков температуры будут отличаться. Для этого предусмотрен блок преобразования среднеинтегрального значения температуры камерной печи.

В результате моделирования САУ энергосберегающими режимами работы камерной печи с частотой подачи газа и воздуха 1 Гц для нагрева ст.40, получена переходная характеристика по установлению температуры в рабочем пространстве печи (рис.3).

В результате моделирования получены значения коэффициента использования топлива (КИТ) в безимпульсном режиме и импульсном режиме соответственно:

$$\eta_{bi} = 0,5832$$

$$\eta_i = 0,6613$$

$$\Delta\eta = \frac{\eta_i - \eta_{bi}}{\eta_i} \cdot 100 =$$

$$= \frac{0,6613 - 0,5832}{0,6613} \cdot 100 = 11,81\%$$

Увеличение КИТ в импульсном режиме по сравнению с традиционным режимом сжигания газа составляет:

Таким образом, использование САУ импульсной подачей газа обеспечивает эффективное управление и экономию энергетических ресурсов [10].

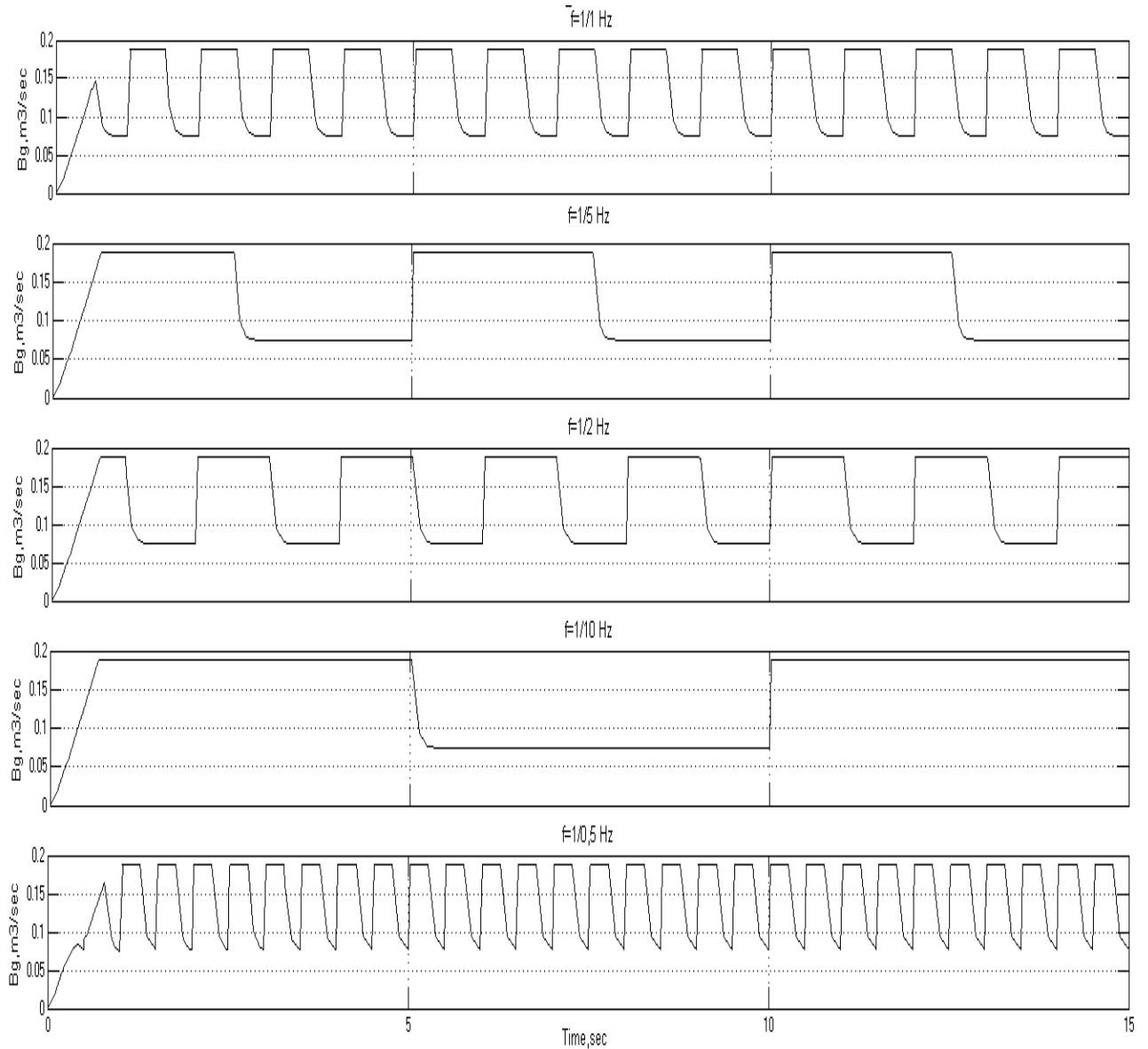


Рис. 1. Переходные процессы по установлению расхода газа в импульсном режиме

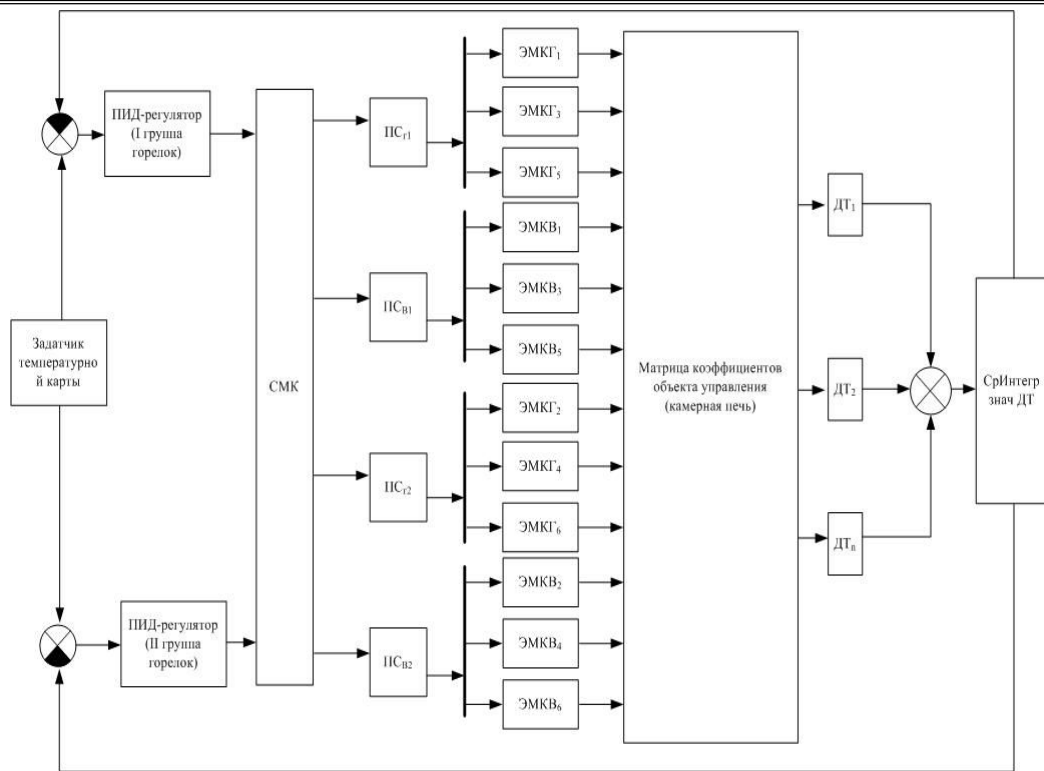


Рис. 2. Структура САУ энергосберегающими режимами печи

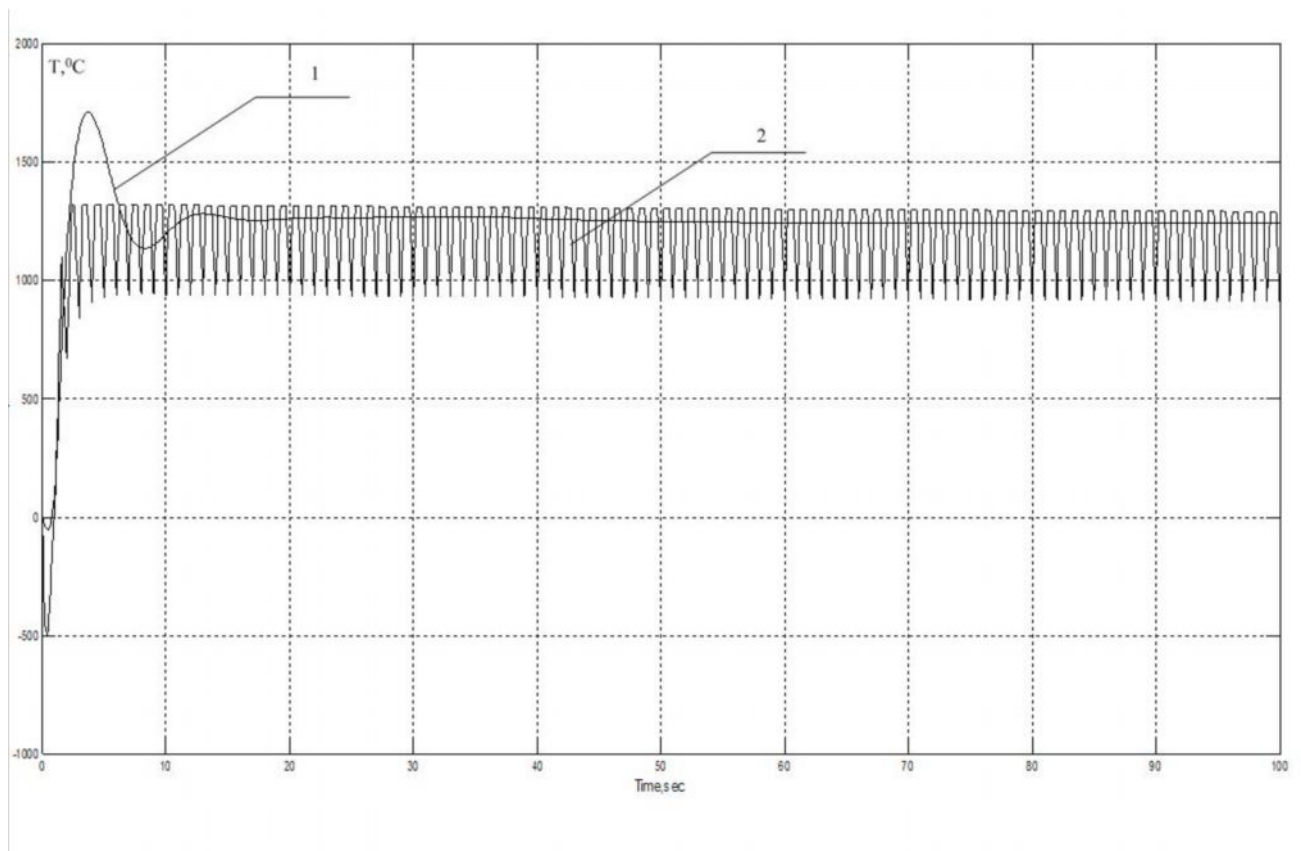


Рис. 3. Переходные процессы по установлению температуры в печи в традиционном (1) и импульсном (2) режимах

**Выводы**

1. Рассмотрены технологические особенности импульсного режима сжигания газо-воздушной смеси.
2. Разработана структура системы автоматического управления работой камерной печи в энергосберегающем режиме.
3. Получены результаты моделирования САУ работой камерной печи в традиционном и импульсном режимах.

**Список литературы:**

1. Бирюков А.Б. Энергоэффективность и качество тепловой обработки материалов в печах: Монография / А.Б. Бирюков. – Донецк: Ноулидж (донецкое отделение), 2012. – 248 с.
2. Скоробогатова И.В. Технология энергосберегающего управления работой печи периодического действия с выкатным подом/ Б. В. Гавриленко, А. Б.Бирюков, П. А.Гнитиев // IV міжнародна наукова конференція «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу» - Дніпропетровськ, 1-3 листопада, 2012 року, с.207-210
3. Скоробогатова И.В. Диагностика моментальных тепловых балансов печи для анализа эффективности теплотехнических параметров/ Б. В. Гавриленко, А. Б.Бирюков// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. Випуск / Редкол.: Башков Є.О. (голова) та ін. — Донецьк: ДонНТУ. - 2013.
4. Скоробогатова І.В. Спосіб інтенсифікації конвективного теплообміну/ Бірюков О. Б., Гавриленко Б. В., Гнітійов П. О. //патент України на корисну модель № 85127 от 11.11.2013 р.
5. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер с англ. И. М. Макарова – М.: Мир, 1984. – 541с., ил.
6. Методы классической и современной теории управления: учебник в 5-и т. Т.5: Методы современной теории автоматического управления/ под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 784 с., ил.
7. Бойчук Л.М. Синтез координирующих систем автоматического управления. – М.: Энергоатомиздат. 1991. – 160 с.: ил.
8. Методы классической и современной теории управления: учебник в 5-и т. Т.3: Синтез регуляторов систем автоматического управления/ под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 616 с., ил.
9. Ткаченко В.Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов. – Киев: Наукова думка, 2008. – 244 с.
10. Скоробогатова И.В. Анализ эффективности управления термической обработкой металла в камерной печи / И.В. Скоробогатова, Б.В. Гавриленко// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “ Обчислювальна техніка та автоматизація ”. Випуск 200 (22)/ – Донецьк: ДонНТУ. – 2012. – 35-40 с.

**Аннотации:**

Система управления электроприводами исполнительных механизмов подачи газо-воздушной смеси в рабочее пространство камерной печи в энергосберегающем режиме относится к регулируемым автоколебательным системам.

Основной сложностью является обеспечение независимого регулирования расхода газа и воздуха в импульсном режиме.

Общепринятый подход к синтезу не учитывает согласование подачи расхода газо-воздушной смеси, сводя его к построению многомерных систем с задающими воздействиями для каждого объекта в отдельности.

Для разрабатываемой системы необходимо обеспечить синхронное изменение расхода газо-воздушной смеси для каждой из групп горелок.

Система керування електроприводами виконавчих механізмів подачі газоповітряної суміші в робочий простір камерної печі в режимі збереження відноситься до регульованих автоколебальних систем.

Основною складністю є забезпечення незалежного регулювання витрати газу і повітря в імпульсному режимі.

Загальноприйнятій підхід до синтезу не враховує узгодження подачі витрати газоповітряної суміші, зводячи його до побудови багатовимірних систем із завданням для кожного об'єкта окремо.

Для розроблюваної системи необхідно забезпечити синхронну зміну витрати газоповітряної суміші для кожної з груп пальників.

Control system of gas-air mixture electric actuators supply to the workspace chamber furnace in

power saving mode refers to regulated oscillatory systems.

The main challenge is to provide independent control of gas and air flow in impulse mode.

A common synthesis approach ignores flow gas-air mixture supply matching, reducing it to the construction of multi-dimensional operating systems for each object separately.

For the developed system is necessary to ensure a synchronous change in flow gas-air mixture for each group of burners.

**Keywords:** chamber furnace, burner, frequency, automatic control system, oscillatory systems.

УДК 004.67

ДЕГТЯРЕНКО И.В., к.т.н., доцент (ДонНТУ)  
ГАРМАТЕНКО А.М., аспирант (ДонНТУ)

### Алгоритм поиска интервалов монофрактальности в неоднородных фрактальных процессах

#### Введение

Фракталы – уникальные объекты, порожденные непредсказуемыми движениями окружающего нас хаотического мира. Фракталы находят все большее применение в науке. Основная причина этого заключается в том, что они «описывают» реальный мир лучше, чем традиционная физика или математика. К таким объектам относятся корневая структура растений, извилистое течение рек, береговая линия Великобритании и т.д. [1].

Все реальные природные процессы могут быть отнесены к специальному классу фракталов - «мультифракталы» [2]. Анализ мультифракталов является нетривиальной задачей и выполняется в рамках теории мультифрактального формализма [3]. Теория мультифракталов в настоящее время широко используется для описания свойств самоподобия и сложного скейлинга, наблюдаемых в физических процессах [3-10].

Мультифрактальный формализм – одно из наиболее быстро развивающихся направлений современной науки [3].

Изначально он был предложен для статистического анализа особенностей скейлинга сингулярных мер [11-13] и с успехом применяется в разных областях науки. К последним относятся сжатие изображений [14], анализ трафика телекоммуникационных сетей [4-6], прогноз разрушений земной коры [7-9] и т.д.

Основой теории мультифрактального формализма выступает модифицированный метод DFA, именуемый как мультифрактальный метод удаления тренда (в англ. лит. MF DFA) [15]. Метод MF DFA позволяет «разделить» исследуемый фрактальный процесс на интервалы, в которых проявляются следующие типы фрактальной структуры – моно- и мультифрактальный [3]. Учитывая, что большинство реальных фрактальных процессов не характеризуются однородной, привычным для искусственных фракталов, фрактальной структурой [12] во всей временной области, такое разделение становится актуальным при анализе динамики реальных процессов. Важным в решении этой задачи являются переходы во