

Розроблено систему контролю концентрації оксиду вуглецю у котельних, газогенераторних, доменних, мартенівських і ливарних цехах. Запропоновано конструкцію датчика і систему керування їм. Проведено аналіз похибок алгоритмів керування датчиком системи. Розроблено пристрій адаптивної настройки датчиків у вигляді адаптивної виміральної системи з настройкою параметрів, що базується на моделі адаптивної корекції характеристик вимірювальних перетворювачів Ляпунова

Ключові слова: оксид вуглецю, датчик концентрації, двоканальна схема, адаптивне налаштування, моделювання, моніторинг

Разработана система контроля концентрации оксида углерода в котельных, газогенераторных, доменных, мартеновских и литейных цехах. Предложена конструкция датчика и система управления им. Проведен анализ погрешностей алгоритмов управления датчиком системы. Разработано устройство адаптивной настройки датчиков в виде адаптивной измерительной системы с настройкой параметров, базирующаяся на модели адаптивной коррекции характеристик измерительных преобразователей Ляпунова

Ключевые слова: оксид углерода, датчик концентрации, двухканальная схема, адаптивная настройка, моделирование, мониторинг

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ОКСИДА УГЛЕРОДА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Е. Я. Швец

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: shej@zgia.zp.ua

Е. Н. Киселев

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: tgk@mail.zp.ua

А. С. Сечин*

*Кафедра физической и биомедицинской электроники

E-mail: s_a_s@bk.ru

Запорожская государственная инженерная академия

пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006

1. Введение

Образование оксида углерода (СО) всегда сопровождается процессами сгорания, особенно при условиях протекания реакций в стехиометрическом соотношении. Отравления оксидом углерода возможны в котельных, газогенераторных, доменных, мартеновских и литейных цехах.

Поэтому постоянный контроль за уровнем концентрации СО в воздухе рабочих помещений предусматривает применение автоматического контроля с использованием систем инфракрасной (ИК) спектроскопии [1]. Мониторинг содержания оксида углерода в воздухе актуален для исследования загрязнения воздуха выбросами промышленных предприятий [2], контроля в условиях эксплуатации экологических показателей автомобильного транспорта [3] и диагностики заболеваний верхних дыхательных путей в медицине [4].

При этом основные усилия направлены на создание новых датчиков СО и систем обработки информации, позволяющих повысить точность измерений, быстродействие и долговечность контрольно – измерительной аппаратуры.

1) точность определения концентрации СО – $\pm 0,05\%$ для диапазона от 0 до 1 %; $\pm 0,2\%$ для диапазона от 0 до 5 %;

2) диапазон измеряемых концентраций от 0 до 5 %;

3) рабочий ресурс датчика – не менее 5 лет;

4) возможность представления данных в цифровом виде.

Кроме того, на точность измерения концентрации СО влияет содержание в воздухе других веществ и соединений, температура окружающей среды и изменение атмосферного давления [1].

Анализаторы СО, которые используют абсорбционные твердотельные датчики, обладают малым рабочим ресурсом и не учитывают влияние мешающих факторов на результаты измерений. Поэтому актуальной является разработка системы контроля концентрации оксида углерода предусматривающая:

– разработку датчика СО, обладающего высокими селективностью, сроком службы и низкой стоимостью и системы контроля СО на его основе;

– исследование методов преобразования измерительной информации в предложенной системе;

– разработку методов повышения точности измерения СО и быстродействия системы контроля.

2. Постановка задачи исследования

К системам контроля газового состава выдвигают следующие требования [1, 5]:

3. Литературный обзор

Современные системы определения концентрации СО используют абсорбционные твердотельные датчи-

ки, которые деградируют в процессе использования из-за паразитного легирования и что приводит к снижению точности определения концентрации оксида углерода [6]. Рабочий ресурс таких датчиков не превышает 3 года, что осложняет использование всей системы.

Кроме того, абсорбционные датчики CO являются узкоспециализированными, т.е. предназначены только для определения концентрации оксида углерода, в то время как физический принцип детектирования должен быть универсален и применим для обнаружения различных летучих соединений, таких как CO₂, NO, NO₂, NH₃, H₂O₂, C₂H₄, CH₂O, CH₄, CH₃OH и других. Системы управления такими датчиками основываются на регулировании степени подогрева чувствительного элемента.

Сегодня разработаны и выпускаются электролитические датчики монооксида углерода обладающие значительными габаритами, высокой стоимостью и низкой селективностью [7 – 10]. Для учета внешних воздействий и влияния посторонних компонентов газовой смеси в системах контроля CO используется изменение состояния электродов сравнения таких датчиков.

Одним из методов решения таких проблем является использование измерительных систем на основе поглощения ИК-излучения [11]. Аппаратура, предназначенная для этой цели, должна содержать источник ИК-излучения, измерительный объем, в котором находится контролируемая газовая смесь, селективный фильтр и приемник излучения [12]. Исследования методов адаптации оптических систем контроля концентрации монооксида углерода ведутся в направлении создания MEMS - устройств управления потоком излучения [13], перестраиваемых оптических и цифровых фильтров [14, 15].

3. Разработка конструкции датчика

Для устранения влияния на результаты измерений поглощения другими газами в ИК-области разработан датчик концентрации оксида углерода построен по двухканальной схеме. В качестве первого источника ИК-излучения был выбран твердотельный лазер с активным слоем на основе соединения InAsSbP. Вторым источником является широкополосная миниатюрная лампа, по изменению интенсивности излучения которой, проходящего через газовую смесь, учитывается паразитное поглощение на длинах волн, которое соответствует молекулам других веществ.

В качестве приемников излучения в датчике использованы комбинированные пироэлектрические измерительные преобразователи [16], которые имеют малые габаритные размеры, высокую чувствительность, широкий спектральный диапазон поглощения в средней ИК-области и способность к адаптивному изменению электрических параметров. Схема размещения такого датчика и его подключение к измерительному объему показаны на рис. 1.

Интегральная характеристика оптического канала разработанного датчика характеризуется полосой пропускания в диапазоне длин волн от 4 до 6,5 мкм

при коэффициенте относительного поглощения от 85 до 95 относительных единиц, что соответствует спектру поглощения молекул оксида углерода.

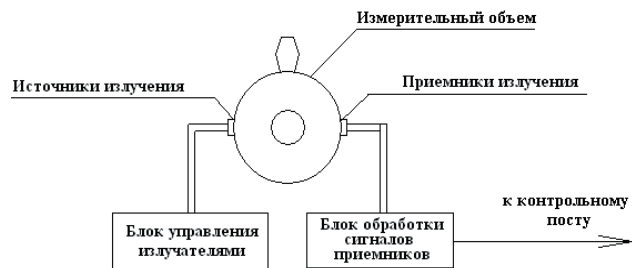


Рис. 1. Схема размещения и подключения датчика CO к измерительному объему

4. Разработка системы управления датчиком оксида углерода

Структура системы, разработанная на основе двухканальной схемы, показана на рис. 2, содержит два источника излучения и соответственно два приемника. Такой вариант конструкции используется для учета дополнительного поглощения ИК-излучения в измерительном пространстве датчика молекулами других веществ, которые содержатся в воздухе.

В состав системы контроля входят схема управления источниками излучения, схема обработки результатов измерений, аналогово-цифровой преобразователь и устройство ввода-вывода.

Источник 1 предназначен для генерации излучения на рабочей длине волны поглощения CO (4,7 мкм) и выполнен в виде миниатюрного лазера. Источник 2 генерирует излучение в широком диапазоне длин волн и предназначен для фиксации поглощения ИК-излучения другими составляющими. Прошедшее через измерительный объем излучение от этих источников регистрируется комбинированными пироэлектрическими преобразователями.

Схема управления источниками излучения необходима для обеспечения рабочих режимов источников 1 и 2 по мощности излучения и частоте повторения измерительных оптических импульсов. Предусмотрена также возможность автоматической подстройки частоты и регулировки мощности импульсов в процессе эксплуатации для задания необходимых режимов измерений.

Изменение напряжения на приемниках, вызванное действием измерительных оптических импульсов, которое поступает на схему обработки, где осуществляется коррекция погрешности, обусловленной паразитным поглощением на сторонних примесях. Затем через систему фильтров сигнал в АЦП переводится в цифровой код, отвечающий степени поглощения излучения в воздушной смеси, и через порт ввода вывода подается в автоматизированный контрольный пост для дальнейшей обработки программными методами.

Для градуировки системы контроля CO используется многоточечная динамическая калибровка с использованием одного баллона с поверочной паровой смесью [1].

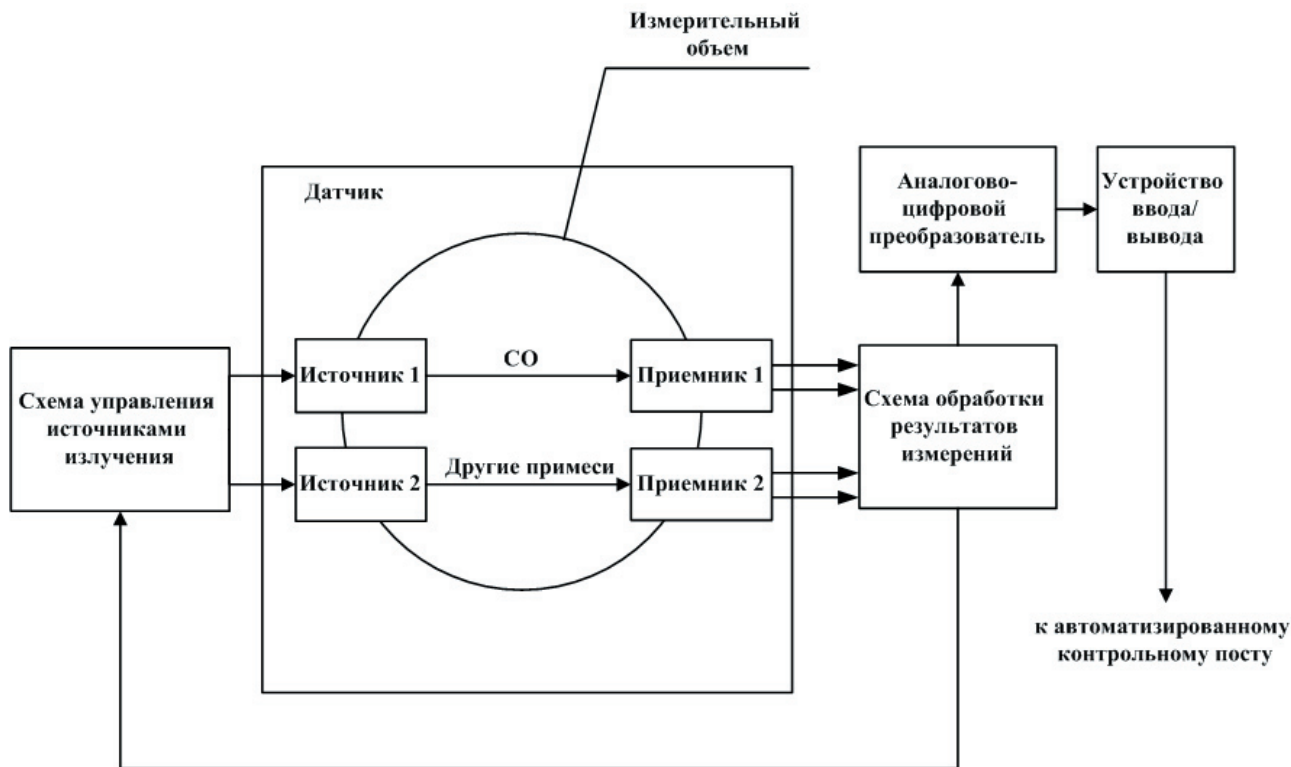


Рис. 2. Структура системы управления датчиком оксида углерода

Так как степень поглощения ИК-излучения зависит от температуры газовой смеси, то в процессе измерений концентрации CO необходима также коррекция температурной составляющей погрешности [17]. С этой целью в измерительный объем датчика был введен цифровой датчик температуры, соединенный непосредственно с устройством автоматической коррекции. На основе программной реализации полиномиальной термической зависимости коэффициента поглощения корректируются данные, полученные в оптической части системы контроля. Это позволило снизить температурную погрешность определения концентрации оксида углерода на 22 %.

5. Анализ динамических погрешностей алгоритмов управления

С целью дальнейшего повышения точности измерений и выбора необходимых режимов управления источниками излучения был проведен анализ динамических погрешностей алгоритмов управления датчиком. Для этого исследовалась устойчивость системы с помощью их амплитудно- и фазовочастотных характеристик (АЧХ и ФЧХ).

Анализ функционирования проводился методами математического анализа и показал, что наиболее приемлемой для дальнейшего исследования является модель z – преобразования [18], где алгебраическое выражение выходной величины аналогового сигнала имеет следующий вид:

$$Y^*(z) = W^*(z)X^*(z), \tag{1}$$

где $Y^*(z)$ - выходная величина аналогового сигнала, $W^*(z)$ - передаточная характеристика, $X^*(z)$ - входной аналоговый сигнал.

Имитационная схема соответствующего z-преобразования показана на рис. 3.

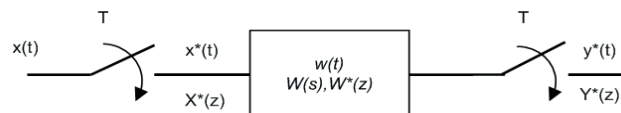


Рис. 3. Схема z – преобразования

АЧХ и ФЧХ устройства вычислялись методом перехода от дифференциальных уравнений, которые связывают входные и выходные переменные к соответствующим конечно-разностным уравнениям. Далее выполнялись z – преобразования (1), из которых определялись характеристики $W^*(z)$.

Анализ зависимости АЧХ и ФЧХ устройства от периода квантования сигнала датчика показал, что динамические погрешности $\Delta_{дин}^A = 5$ дБ и $\Delta_{дин}^\phi = 1^\circ$ обеспечиваются при $T \leq 0,005$ с [19]. Таким образом, период выборки входных данных, то есть период квантования сигнала датчика оксида углерода может задаваться меньшим или равным 5 мс, что соответствует условиям вариабельности температуры окружающей среды.

6. Разработка устройства адаптивной настройки датчика

Влияние внешних мешающих факторов приводит к увеличению погрешности при измерении концентрации

оксида углерода в промышленных условиях. Поэтому актуальным является корректировка характеристик датчика на основе принципов построения адаптивных систем.

Разработанное устройство, в соответствие со структурной схемой, можно согласно второму методу Ляпунова, рассматривать как адаптивную систему первого порядка (рис. 4), в которой $U(t) = 5$ – шаг изменения входной величины, а a_v ($a_v > 0$) – неизвестная константа. Блок адаптивной настройки должен компенсировать разность между полюсами эталонной модели разработанного датчика [17] и реальным сигналом $U(t)$.

Такая система может быть задана уравнением:

$$e' = 4 \cdot e + (a_c + Q_v - 4) \cdot U_{дат}, \tag{2}$$

где e – ошибка отклонения между реальными и заданными характеристиками датчика, a_c – настраиваемый коэффициент датчика, Q_v – матрица настраиваемых параметров датчика; $U_{дат}$ – выходное напряжение датчика. Матрица настраиваемых параметров в (2) является скалярной и ее значение принимается равным 8. Используя закон адаптивной коррекции, полученный в [17], зададим уравнение адаптивной настройки в виде:

$$a_c(t) = \alpha \cdot \int_{t_0}^t e \cdot U_{дат} dt + \beta \cdot U_{дат} + a_c(t_0), \tag{3}$$

где $\alpha > 0$ и $\beta \geq 0$ – произвольные константы. Уравнение (3) может описывать законы адаптивной настройки датчика системы контроля СО, если предположить β тождественно равным нулю. При этом структура системы адаптивной регулировки датчика имеет вид, показанный на рис. 4.

Система адаптивной настройки исследовалась путем моделирования в системе VisSim Com 6.0, при следующих исходных данных: $a_v = 1$, $t_0 = 0$, $a_c(0) = 0$, $e(0) = 0$, $\alpha = 100$. Результаты моделирования приведены на рис. 5. Ошибка отклонения системы адаптивной настройки датчика описывается кривой 1 при $\beta = 0$. Кривые 2 ($\beta = 10$) и 3 ($\beta = 90$) соответствуют ошибкам модифицированной системы адаптивного управления. В результате проведен-

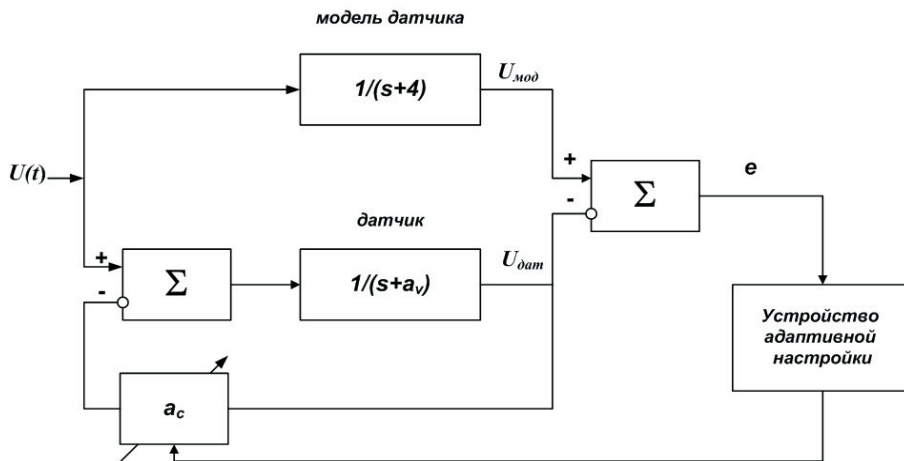


Рис. 4. Структурная схема устройства адаптивной настройки датчика системы контроля оксида углерода

ного моделирования установлено, что пиковое значение $|e(t)|$ при $\beta = 90$, что в 4,5 раза меньше пикового значения $|e(t)|$ при $\beta = 10$ (0,19).

На рис. 6 показаны временные характеристики $a_c(t)$ для значений β (0 (1), 10 (2), 90 (3) соответственно). В случае $\beta = 10$ переходной процесс завершается за 0,8 с, в то время как при $\beta = 0$ – за 2,9 с. Т. о., высокая скорость настройки параметров, обеспечиваемая модифицированным законом адаптивной настройки для значений β , равных 10 и 90, очевидна.

Значения β от 10 до 90, используемые в модифицированном расчете позволяют выбирать компромиссное решение между временем переходного процесса и максимальной по модулю амплитудной ошибки отклонения.

Т. к. временные характеристики настраиваемых параметров (рис. 6) представляют собой гладкие непрерывные кривые, то модель адаптивной настройки не содержит нежелательных колебаний.

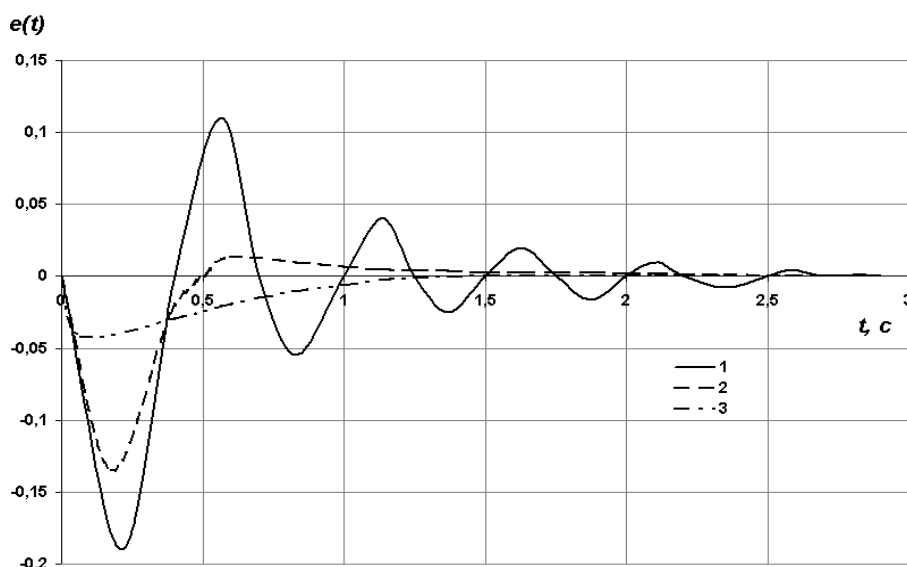


Рис. 5. Зависимость ошибки отклонения выходного напряжения e датчика от времени t при использовании системы адаптивной настройки: 1 – $\beta = 0$; 2 – $\beta = 10$; 3 – $\beta = 90$

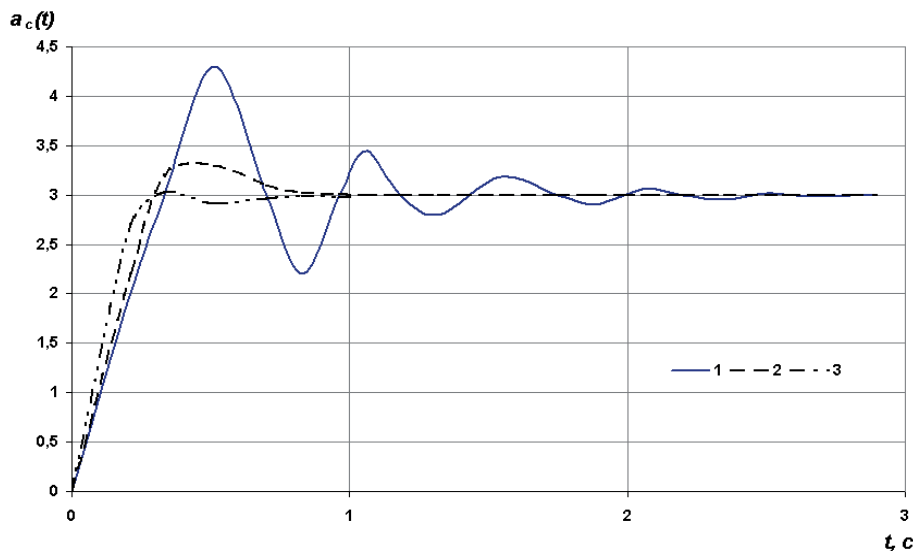


Рис. 6. Временная зависимость настраиваемого коэффициента датчика:
1 – $\beta = 0$; 2 – $\beta = 10$; 3 – $\beta = 90$

Применение разработанного устройства адаптивной настройки датчика позволяет повысить в 4,5 раза точность определения концентрации СО и снизить периодичность проведения динамической калибровки системы.

Конструктивно разработанная система управления датчиком СО была реализована в виде двух модулей размерами 70x32 мм и 137x56 мм.

7. Выводы

Разработана конструкция датчика монооксида углерода, который отличается компактностью, высокой чувствительностью и селективностью, длительным сроком службы и умеренной стоимостью. В соответствии с двулучевой схемой была разработана система, обеспечивающая погрешность определения концен-

трации СО не менее 0,0168 % в диапазоне от 0 до 5 %.

Проведенные исследования погрешностей устройства управления разработанной системы позволили оптимизировать режимы управления датчиком и повысить точность определения концентрации оксида углерода.

Предложено устройство настройки датчиков в виде адаптивной измерительной системы, базирующаяся на модели адаптивной коррекции характеристик измерительных преобразователей Ляпунова. Исследования разработанного устройства показали, что пиковое значение погрешности адаптивного регулирования зависит от величины напряжения на затворе

датчика. При этом, переходной процесс завершается за время от 0,8 с до 2,9 с, а используемые значения регулируемого коэффициента позволяют выбирать оптимальные величины длительности переходного процесса и максимальной по модулю амплитудной ошибки отклонения. Также модель адаптивной настройки не содержит нежелательных колебаний.

К достоинствам разработанной системы также относится возможность перенастройки датчика для контроля содержания других примесей, содержащихся в воздухе, таких как CO_2 , NO , NO_2 , NH_3 , H_2O_2 , C_2H_4 , CH_2O , CH_4 , CH_3OH и других.

Разработанная система может быть использована для контроля содержания оксида углерода в промышленных помещениях, мониторинга состояния атмосферы населенных пунктов и модернизации современного медицинского спирографического оборудования.

Литература

1. Повітря атмосферне. Визначення оксиду вуглецю. Метод інфрачервоного розсіювання. ДСТУ ISO 4224:2008. – [Чинний від 2011-01-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 14 с.
2. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними і біологічними речовинами). ДСП-201-97. – К.: Держспоживстандарт України, 1997. – 57с.
3. Атмосфера. Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі. ДСТУ 4277:2004. – [Чинний від 2004-01-31] – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 8 с.
4. Шулагин, Ю. А. Лазерный анализ эндогенного СО в выдыхаемом воздухе [Текст] / Ю. А. Шулагин, Е. В. Степанов, А. Г. Чу-чалин и др. // Труды Института Общей Физики им. А. М. Прохорова. – М.: Наука, 2005. – Т. 61. – 2005. – С. 135–189.
5. Dai, C. - L. Cobalt Oxide Nanosheet and CNT Micro Carbon Monoxide Sensor Integrated with Readout Circuit on Chip [Text] / C. - L. Dai, Y. - C. Chen, C. - C. Wu, C. - F. Kuo // Sensors, - 2010. – С. 1753–1764.
6. Liu, X. A Survey on Gas Sensing Technology [Текст] / X. Liu, S. Cheng, H. Liu // Sensors. – 2012. – P. 9635-9665.
7. MICROceL CF-Carbon Monoxide. Product Data Sheet, Available at: www.citytech.com/PDF-Datasheets/microcelcf.pdf (accessed 26.02.2014).
8. NE4-CO Electrochemical Carbon Monoxide Gas Sensor, Available at: www.nemoto.eu/ne4-co.html (accessed 26.02.2014).
9. Газоанализаторы портативные (анализаторы газов), датчики и газоаналитические системы, [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.mst-it.com/rus/content/catalogue/misc (accessed 26.02.2014).
10. Figaro Product information. TGS 5042 – for the detection of Carbon Monoxide, [Electronic resource] / Available at: www.figarosensor.com/products/5042pdf.pdf (accessed 26.02.2014).

11. Durrani, S. M. A. Investigation of the Carbon Monoxide Gas Sensing Characteristics of Tin Oxide Mixed Cerium Oxide Thin Films [Text] / S. M. A. Durrani, M. F. Al-Kuhaili, I. A. Bakhtiari // Sensors. – 2012. – С. 2598-2609.
12. O'Toole, M. Absorbance Based Light Emitting Diode Optical Sensors and Sensing Devices [Text] / M. O'Toole, D. Diamond // Sensors. – 2008. – С. 2453-2479.
13. Po-Chien, C. Enhancement of Optical Adaptive Sensing by Using a Dual-Stage Seesaw-Swivel Actuator with a Tunable Vibration Absorber [Text] / C. Po-Chien, L. Yu-Cheng, C. Stone // Sensors. – 2011. – С. 4808-4829.
14. Hung-Yi, C. Model-Free Adaptive Sensing and Control for a Piezoelectrically Actuated System [Текст] / C. Hung-Yi, L. Jin-Wei // Sensors. – 2010. – С. 10545-10559.
15. Jinsoo, J. An Innovations-Based Noise Cancelling Technique on Inverse Cepstrum Whitening Filter and Adaptive FIR Filter in Beamforming Structure [Text] / J. Jinsoo // Sensors. – 2011. – С. 6816-6841.
16. Костенко, В. Л. Измерительные преобразователи на основе комбинированных твердотельных структур: научное издание [Текст] / В. Л. Костенко, Е. Я. Швец, Е. Н. Киселев, Н. А. Омельчук. – Запорожье: ЗГИА, 2001.- 101 с.
17. Fine, G. F. Metal Oxide Semi-Conductor Gas Sensors in Environmental Monitoring [Text] / G. F. Fine, L. M. Cavanagh, A. Afonja // Sensors. – 2010. – С. 5469-5502.
18. Микропроцессоры. Средства сопряжения. Контролирующие и информационно-управляющие системы [Текст]: учеб. для техн. вузов / В. Д. Вернер, Н. В. Воробьев, А. В. Горячев [и др.]; под общ. ред. Л. Н. Преснухина. – Минск : Вышэйшая школа, 1987. – 303 с.
19. Паталаха, А. С. Розробка моделі адаптивної корекції системи визначення концентрації монооксиду вуглецю [Текст] / А. С. Паталаха, Є. М. Кисельов // Матеріали XVIII науково – технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Електроніка, автоматизовані системи та сучасні інформаційні технології. Том III, 15-19 квітня 2013 р. – Запоріжжя: ЗДІА, – 2013. – С. 22.

Розглянуто статистичні характеристики вихідних сигналів оптико-телевізійних систем з обмеженим динамічним діапазоном з урахуванням взаємодії вхідного випромінювання з оптичною ланкою. Використано модель α -стійких процесів. Проаналізовані граничні розподілення вихідних сигналів на приналежність областям тяжіння нормального та стійких законів з характеристичним показником α . Експериментально перевірено асимптотичну поведінку функції розподілу вихідних сигналів оптико-телевізійних систем, обґрунтовано застосування узагальнених граничних теорем

Ключеві слова: оптико-телевізійні систем, флуктуації сигналу, α -стійкі процеси, граничні розподілення

Рассмотрены статистические характеристики выходных сигналов оптико-телевизионных систем в условиях ограниченного динамического диапазона с учетом взаимодействия входного излучения с оптическим звеном. Использована модель α -устойчивых процессов. Проанализированы предельные распределения выходных сигналов на принадлежность областям притяжения нормального и устойчивых законов с характеристическим показателем α . Экспериментально проверено асимптотическое поведение функции распределения выходных сигналов оптико-телевизионных систем, обоснована применимость обобщенных предельных теорем

Ключевые слова: оптико-телевизионные системы, флуктуации сигнала, α -устойчивые процессы, предельные распределения

УДК 621.37:621.391

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ ОПТИКО- ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

Т. А. Стрелкова

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра основ радиотехники
Харьковский национальный
университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 16, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: strelkova_t@ukr.net

1. Введение

Оптико-электронные системы находят широкое применение при решении задач наблюдения в раз-

личных условиях освещенности от единиц квантов (при регистрации сверхслабого излучения) до -27 звездной величины (при регистрации оптического излучения Солнца). В настоящий момент