

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
Администрация Правительства Кузбасса  
Администрация г. Новокузнецка  
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН  
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН  
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
(в образовании, науке и производстве)  
AS' 2023**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
(с международным участием)**

**12-14 декабря 2023 г.**

**Новокузнецк  
2023**

**УДК 658.011.56**  
**С 409**

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),  
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, к.т.н., доц. В.А. Кубарев,  
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,  
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

**С 409** Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2023: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 12-14 декабря 2023 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2023. – 420 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

**УДК 658.011.56**

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2023

17. Трофимов В.Б. О построении интеллектуальной системы управления кислородным конвертером на основе компьютерного зрения / В.Б. Трофимов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2022. – № 1. – С. 95 – 104.
18. Бычков А.Г. Использование сверточных нейросетей для классификации изображений / А.Г. Бычков, Т.В. Киселёва, Е.В. Маслова // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2023. – № 1 (43). – С. 39 – 49.
19. Теория управления (дополнительные главы) / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 552 с.
20. Темкин И.О. Искусственные нейронные сети в АСУ ТП / И.О. Темкин, В.Б. Трофимов. – М.: Издательский Дом НИТУ МИСИС, 2023. – 352 с.
21. LeCun Y. Deep learning / Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton // Nature. – 2015. – Vol. 521. – P. 436 – 444.
22. Искусственные нейронные сети / под ред. В.В. Цехановского. – М.: КНОРУС, 2023. – 352 с.

УДК 681.536.6

## ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ КАЛОРИЙНОСТИ ТОПЛИВА ПОСТУПАЮЩЕГО НА НАГРЕВАТЕЛЬНУЮ ПЕЧЬ ПРОКАТНОГО СТАНА

Сазонова Г.А., Грачев В.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
г. Новокузнецк, Россия, gsazonova53@icloud.com*

**Аннотация.** Работа посвящена выбору технических средств для определения калорийности газа для отопления методической нагревательной печи при переходе с трёхкомпонентной газовой смеси на двухкомпонентную. В статье детально рассмотрены методы измерения калорийности газа и типы приборов. Выбран и описан интерференционный стационарный газовый калориметр FI-800-CS компании RIKEN KEIKI (Япония).

**Ключевые слова:** нагревательные печи, нагрев металла, топливо, природный газ, доменный газ, калориметр, интерференционный метод.

**Abstract.** The work is devoted to the selection of technical means for determining the caloric content of gas for heating a methodical heating furnace during the transition from a three-component gas mixture to a two-component one. The article describes in detail the methods of measuring the caloric content of gas and the types of devices. The interference stationary gas calorimeter FI-800-CS of RIKEN KEIKI company (Japan) is selected and described.

**Keywords:** heating furnaces, metal heating, fuel, natural gas, blast furnace gas, calorimeter, interference method.

На предприятиях чёрной металлургии прокатное производство является завершающим этапом производственного цикла. Номенклатура выпускаемой прокатной продукции велика, в связи, с чем существуют различные прокатные станы, специализированные под определённый тип проката (например, лист, квадратный или круглый профиль большого или малого сечения, арматура, рельсовая продукция, уголки, швеллеры, и т.п.). Кроме того, существуют станы как холодной прокатки, не требующие нагретой заготовки, так и станы горячей прокатки, которые в своём составе имеют нагревательные печи различных типов, в которых и происходит разогрев заготовок перед прокаткой.

Режимы нагрева заготовок в нагревательных печах должны соблюдаться точно для получения проката с удовлетворительными механическими свойствами. При несоблюдении режима прокат на выходе стана будет иметь либо пониженную пластичность, либо пониженную прочность. В виду этого контролируется множество параметров в каждой зоне печи.

Для обеспечения требований поддержания технологических процессов в должном режиме, а также для безаварийной работы объектов производства в настоящее время име-

ется необходимость в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) регулирования теплового режима высокой точности и надежности.

В статье [1] в качестве компенсирующих мероприятий, направленных на уменьшение негативных последствий нестабильных калорийности и состава газовой смеси, приведения теплообмена в надлежащее состояние, было предложено рассмотреть следующие варианты:

- переход с трёхкомпонентной газовой смеси (природный, коксовый, доменный) к двухкомпонентной (природно-доменной). Для этого необходимо будет также выяснить объемы производимого доменными печами газа;

- закупка и установка калориметров перед нагревательными печами для проведения регулировки процесса сжигания. Однако, по экспертной оценке специалистов фирмы «Даниэли», высказанной ими во время переговоров по строительству комбинированного стана, это дорогостоящая система, срок окупаемости которой сложно рассчитать. При этом, данный вариант будет не только дорогим, но и обладать заниженной точностью (большей погрешностью), поскольку, при сохранении высокой вариативности плотности смеси, для установки необходимо будет использовать датчик с более широким диапазоном, и как следствие, с большей погрешностью.

Однако, в нашей системе данной проблемы не будет, так как мы измеряем калорийность только одного газа, а не смеси что нивелирует все проблемы.

Также было выяснено, что увеличение доли природного газа в смеси не ведет к уменьшению калометрической температуры (рисунок 1).

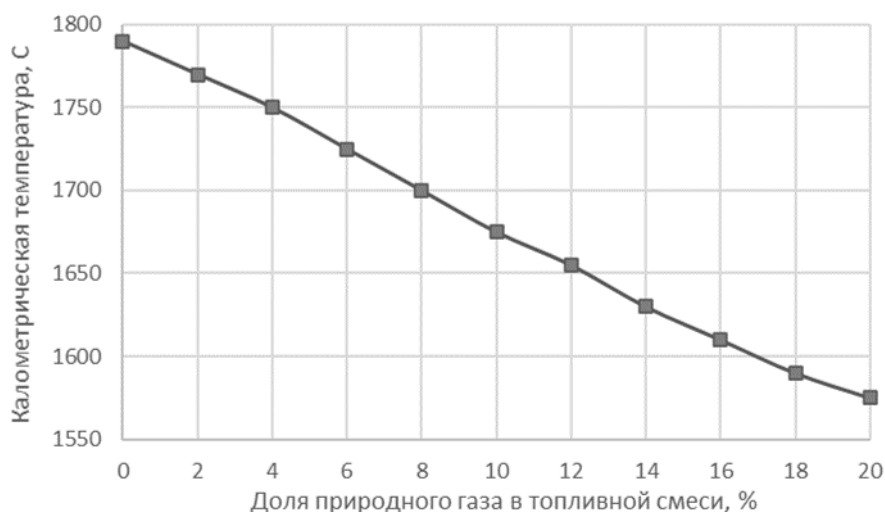


Рисунок 1 – График изменения калометрической температуры

Далее осуществим выбор датчика измерения калорийности, основываясь на используемом методе измерения и типе прибора.

#### **Методы измерения калорийности газа**

Метод сгорания – наиболее распространенный и точный метод. Суть метода: сжигание газа в кислороде, после чего измеряется количество теплоты.

Метод адиабатического калибрования – часто используется при калибровке приборов. Суть метода: измерение изменения температуры при прохождении газа через прибор с известной калорийностью.

Метод рефрактометрии – измерение калорийности газа с высоким содержанием углеводородов. Суть метода: измерение индекса преломления газа.

Метод инфракрасной спектроскопии – также, как и метод рефрактометрии основан на анализе спектра излучения газа в инфракрасной области.

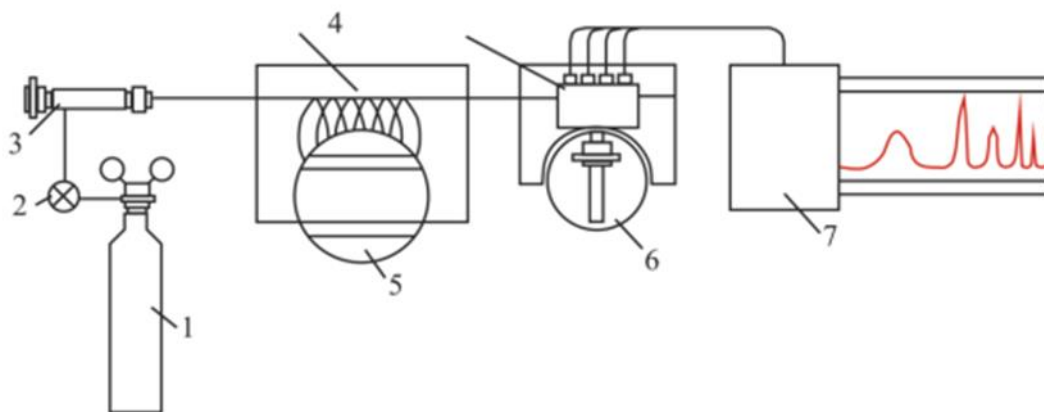
Метод атомной эмиссии – измерение калорийности газа с высоким содержанием азота, кислорода и других атомов. Суть метода: ионизация атомов газа и после измерение количества энергии.

### Типы приборов и методик измерения

Газоанализаторы – технический прибор, анализирующий газовые среды, определяющий состав газовой смеси и измеряющий количество и концентрацию необходимого в ней компонента.

Как можно заметить из определения, калорийность газа рассчитывается из концентраций. В настоящее время газоанализаторы в основном используют для анализа состава отходящих газов. Не удалось найти ни одной системы, где газоанализатор использовался бы для определения калорийности газа [2, 6].

Приборы для газовой хроматографии – устройство для анализ сложных газовых веществ путем их дифференцирования на монокомпоненты (рисунок 2) [3].



1 – баллон с газом-носителем; 2 – регулятор расхода; 3 – место ввода пробы; 4 – термостаты; 5 – колонка; 6 -детектор; 7 – регистратор

Рисунок 2 – Принципиальная схема газового хроматографа

На рисунке 2 по цифрой 3 представлено место ввода пробы, что в свою очередь означает что проба «подается» с помощью крана-дозатора или с при помощи шприца в инжектор человеком. Что в свою очередь ведет к череде дополнительных действий: таких как установка отборных устройств и взятие пробы напрямую из трубопровода, сложно реализуемых в автоматическом режиме.

Калориметры – приборы, позволяющие точно определить калорийность газа.

В основу классификации положены три признака: метод измерения, режим измерения, принцип конструкции. Среди методов измерения: компенсация фазовым переходом, компенсация термоэлектрическим эффектом, измерение разности температур, измерение локальной разности температур. Среди режимов измерений: изометрический ( $T_0$  и  $T_c$  постоянны), изопериболический ( $T_0 = \text{const}$ , а  $T_c = f(P)$ ), адиабатический ( $T_0 = T_c$ ), сканирующий ( $T_c = \varphi(Z)$ ). Среди конструкций: одна камера и две.

Также калориметры можно разделить на дискретную подачу или непрерывную (проточные).

Именно наблюдаемое изменение системы послужило для деления калориметров на изотермические и неизотермические. Если в неизотермических калориметрах измеряемой величиной является изменение температуры, то в изотермических количество калоримет-

рического вещества, претерпевшего фазовый переход, или мощность электрического тока, затраченная на компенсацию теплового эффекта.

За делением калориметров на изотермические и неизотермические скрывается их принципиальное отличие в способе передачи размера единицы измерения - джоуля. Все неизотермические калориметры требуют проведения такой метрологической процедуры, как градуировка. Изотермические калориметры, напротив, такой градуировки не требуют. Таким образом, с помощью изотермических калориметров производят абсолютные измерения тепловых эффектов, а с помощью неизотермических - относительные измерения [3-5].

К интерференционным методам относятся: интерферометрический, дифракционный, фазово-контрастный, рефрактометрический и голографический. Они основаны на изменении энергии и фазы вторичных потоков после взаимодействия с контролируемым объектом, его элементами или частями. Поскольку величиной, определяющей набег фазы, является длина волны, интерференционные методы обеспечивают измерения и контроль параметров объектов до долей длины волны.

По результатам проведенного анализа было установлено, что наиболее подходящим для нашей системы калориметром является интерференционный стационарный газовый калориметр FI-800-CS компании RIKEN KEIKI (Япония). Внешний вид калориметра представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Внешний вид газового калориметра FI-800-CS

Среди отличительных особенностей калориметр FI-800-CS можно отметить:

- короткое время отклика - получение 90% отклика в течение 5 сек;
- высокая точность результатов (методом Фурье) и стабильность полученных результатов;
- взрывозащищенный корпус позволяет установку прибора на любых объектах;
- долговечность, обеспечиваемая LED-источником;
- интерференционный тип сенсора не теряет своей чувствительности со временем;
- компенсация температуры и давления;
- возможность вычисления удельной массы и индекса Воббе [7].

Калориметр FI-800-CS имеет высокую надежность и точность измерений, фактор идеален для цеховых условий. Также в дальнейшем он может использоваться для измерения калорийности природного газа при последующей модернизации при отоплении печи только природным газом.

### Библиографический список

1. Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'22: труды Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 15-16 декабря 2022 г./Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общ ред. В.В. Зимин-

- на. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2022. – 632 с. // <https://library.sibsiu.ru/>
2. Илларионова, Е.А. Газовая хроматография. Теоретические основы метода: учебное пособие /Е.А. Илларионова, И.П. Сыроватский; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, Кафедра фармацевтической и токсикологической химии. –Иркутск: ИГМУ, 2018. – 52 с. // <https://e.lanbook.com/>
  3. Хеммингер, В. Калориметрия: Теория и практика / В. Хеммингер, Г. Хене; Пер. с англ. О. Б. Саламатиной. - Москва: Химия, 1989. - 175 с. // <https://booksprime.ru/>
  4. Кирьянов К.В. Калориметрические методы исследования. Нижний Новгород, 2007, 76 с.// <https://studylib.ru/>
  5. Попов М.М. Термохимия и калориметрия. 2–е изд. М.: 1954. // <https://rusneb.ru/>
  6. Павленко В. А., Газоанализаторы, М.-Л., 1965. // <https://rusneb.ru/>
  7. ООО «Метрология» Контрольно-измерительные приборы: FI-800-CS Стационарный газовый калориметр - Екатеринбург, 2023, 1 с. // <https://kipia-lab.ru/>

УДК 681.5:517.444

## СПОСОБ СЧИТЫВАНИЯ ВЕЙВЛЕТ-КАРТ ВИГНЕРА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Сулимова А.А., Симикова А.А., Чичерин И.В.

*Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово, Россия, simikovaanna@mail.ru*

**Аннотация.** Представлен способ считывания вейвлет-карт время-частотного представления динамики технологического процесса, который предусматривает распознавание координат всех атомарных объектов с полученной ранее вейвлет-карты Вигнера методом преобразования изображения в матрицу, последовательного горизонтального и вертикального считывания последней, разделения полученных данных на единые объекты, подсчет числа объектов и получение их координат на выходе. Результаты получения координат атомарных объектов и их координаты используются в автоматизации работы с помощью обратных связей.

**Ключевые слова:** автоматизация технологических процессов, вейвлет-преобразование, карта Вигнера, обработка сигналов.

**Abstract.** A method for reading the time-frequency representation of the dynamics of the technological process is presented, which provides for the recognition of the coordinates of all atomic objects from the previously obtained Wigner wavelet map by converting the image into a matrix, sequentially horizontal and vertical reading of the latter, dividing the received data into single objects, counting the number of objects and obtaining their coordinates at the output. The results of obtaining the coordinates of atomic objects and their coordinates are used in the automation of work using feedbacks.

**Keywords:** automation of technological processes, wavelet transform, Wigner map, signal processing.

Целью исследования является перестройка режимов работы технологического процесса в реальном времени на основании данных, полученных с вейвлет-карты Вигнера.

Описываемый способ считывания отличается, прежде всего, тем, что считывание объектов происходит с вейвлет-карт время-частотного представления динамики сигнала технологического процесса. Способ универсален для любого числа объектов и размеров обрабатываемого изображения и не зависит от формы объекта.

Поставленная задача достигается тем, что в состав автоматизированного комплекса вводятся устройства, регистрирующие параметры технологического процесса с последующей обработкой графиков с целью получения карты Вигнера, представляющей собой энергетическое изображение анализируемого сигнала на плоскости, в двумерном или трехмерном виде, дающая представление о расположении спектральных компонент сигнала во времени, которые рассматриваемым способом регистрируются с формированием обратных связей объекта управления для корректировки режимов работы.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО И УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Кулаков С.М., Тараборина Е.Н., Койнов Р.С., Кокорев И.С., Спиридонов В.В.*

**О развитии и применении концепции невозмущённого-возмущенного движения применительно к управлению технологическими и организационными объектами.....** 3

*Трофимов В.Б.*

**О прогнозировании и распознавании выбросов газо-шлако-металлической эмульсии из кислородного конвертера на основе искусственных нейронных сетей .....** 10

*Сазонова Г.А., Грачев В.В.*

**Выбор технических средств измерения калорийности топлива поступающего на нагревательную печь прокатного стана .....** 18

*Сулимова А.А., Симилова А.А., Чичерин И.В.*

**Способ считывания вейвлет-карт Вигнера для обработки сигналов .....** 22

*Янкин Д.М., Грачев В.В., Студенкова А.Л.*

**Автоматизированная система распознавания общественного транспорта интеллектуальной транспортной системы новокузнецкой городской агломерации .....** 26

*Гусев С.С.*

**Модифицированный алгоритм идентификации динамического объекта с учетом априорной информации о его параметрах .....** 33

*Куликов Е.С.*

**Система прогнозного обслуживания эксгаустеров .....** 41

*Курманова Д.А.*

**Оптимизация циклов светофорного регулирования перекрестка.....** 45

*Романов Л.Р., Крюков О.В.*

**Автоматизация релейной защиты цифровых подстанций .....** 50

*Шакиров М.К., Турчанинов Е.Б.*

**К вопросу формирования критерия оценки точности прогнозирования выбросов при кислородно-конвертерной плавке.....** 57

*Кокорев И.С., Широченко Д.С., Рожкова Ю.В., Бочаров В.В.*

**Обзор новых направлений цифровизации угольных предприятий открытого типа .....** 60

*Арбузов И.С., Кузнецова Е.С.*

**Реализация цифрового регулятора генератора импульсов на микроконтроллере .....** 65

*Ахремчик О.Л., Асатрян А.Г., Редькина Н.А.*

**Сообщения на поле экранных форм систем управления теплообменниками линий пищевых производств.....** 69

*Матюшкин Г.В., Кулаков С.М.*

**Разработка модуля интеграции между системами 1С:ERP и 1С:УПП .....** 72

**Научное издание**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
(в образовании, науке и производстве)  
AS' 2023**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**  
*(с международным участием)*

**12-14 декабря 2023 г.**

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зимина

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 01.12.2023 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 25.04. Уч.-изд. л. 26.64. Тираж 20 экз. Заказ 260.

Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.  
Издательский центр СибГИУ