

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2686385

Способ спектрометрического определения температуры потока газов

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU)*

Авторы: *Мешковский Игорь Касьянович (RU), Мехреньгин Михаил Викторович (RU), Аксарин Станислав Михайлович (RU), Сухинец Антон Валерьевич (RU), Смирнов Даниил Сергеевич (RU)*

Заявка № 2018119058

Приоритет изобретения 23 мая 2018 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 25 апреля 2019 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 23 мая 2038 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01K 2013/024 (2019.02); G01J 5/0014 (2019.02); G01J 2005/0081 (2019.02); G01J 5/10 (2019.02); G06N 3/02 (2019.02); G06N 3/084 (2019.02); G06F 17/5009 (2019.02)

(21) (22) Заявка: 2018119058, 23.05.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.05.2018

Дата регистрации:
25.04.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.05.2018

(45) Опубликовано: 25.04.2019 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр.,
49, Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Мешковский Игорь Касьянович (RU),
Мехреньгин Михаил Викторович (RU),
Аксарин Станислав Михайлович (RU),
Сухинец Антон Валерьевич (RU),
Смирнов Даниил Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики" (Университет ИТМО)
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 2583853 C1, 10.05.2016. US
6422745 B1, 23.07.2002. US 6786635 B2,
07.09.2004. RU 2213997 C2, 10.10.2003. CN
104331735 A, 04.02.2015. CN 102175345 A,
07.09.2011.

(54) Способ спектрометрического определения температуры потока газов

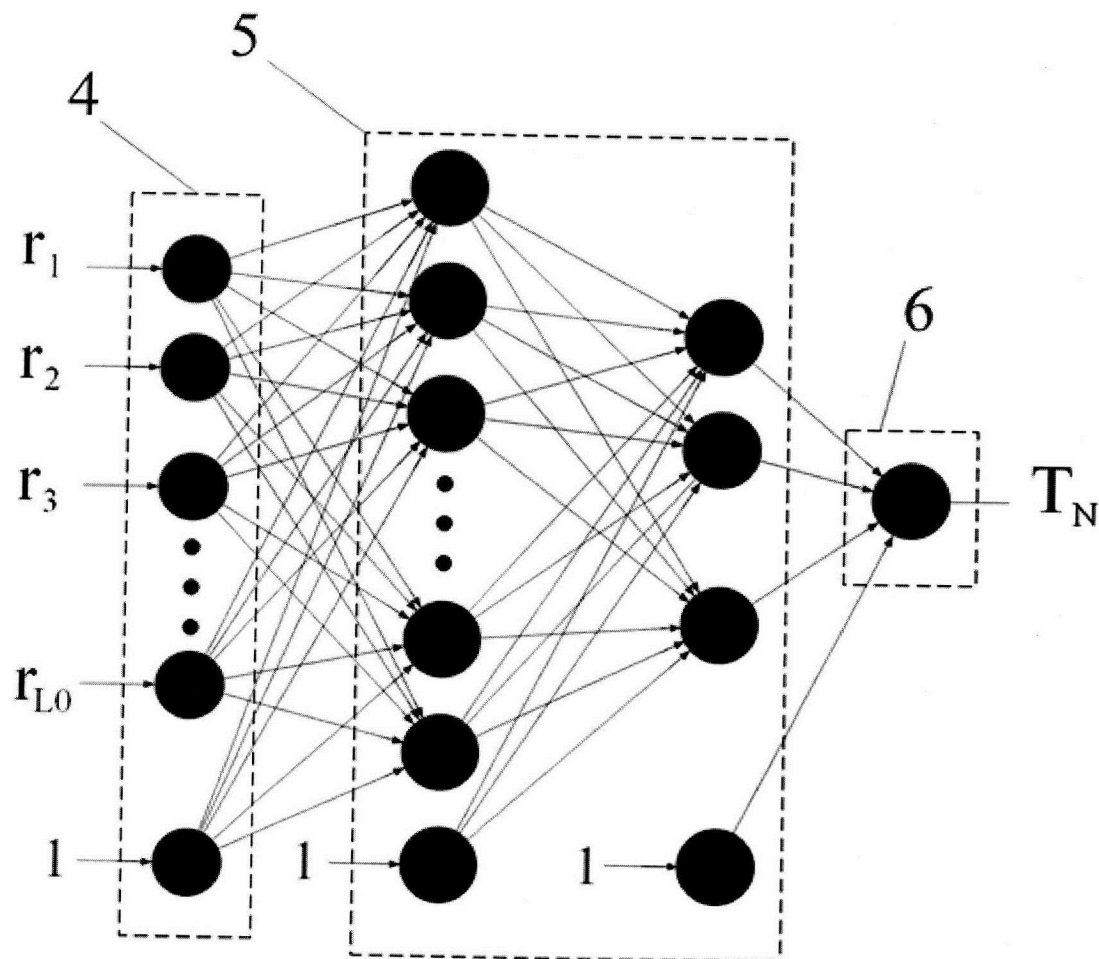
(57) Реферат:

Изобретение относится к области дистанционного измерения высоких температур газов, в частности к способам спектрометрического измерения температуры потока газов и обработки спектральных данных оптических датчиков определения температуры потоков газов и может быть использовано для экспериментальных исследований рабочего процесса силовых установок и для повышения надежности при эксплуатации газовых турбин и газотурбинных двигателей. Предложен способ спектрометрического определения температуры потока газов, включающий измерение интенсивностей излучения потока газов, по которым судят о текущей температуре потока газов. Предварительно, используя опорную термопару, измеряют текущие значения

температуры потока газов и интенсивности его излучения не менее чем в двух областях спектра в видимом диапазоне и не менее чем в двух областях спектра в инфракрасном диапазоне. По полученным данным вычисляют отношения интенсивностей, полученные данные используют для формирования обучающей выборки для обучения искусственной нейронной сети, с помощью которой рассчитывают значение текущей температуры потока газов. Обучают нейронную сеть методом обратного распространения ошибки. В процессе обучения корректируют весовые коэффициенты нейронной сети для достижения заданной точности и используют их для расчета искомой величины. Интенсивности излучения исследуемого потока газов измеряют не менее, чем в двух областях

спектра в видимом диапазоне и не менее, чем в двух областях спектра в инфракрасном диапазоне, а искомую текущую температуру исследуемого потока газов рассчитывают по формуле $t^{\circ} = f(r_1, r_2, \dots, r_m, r_{m+1}, r_{m+2}, \dots, r_{L0}, w_{1i}, w_{ij}, w_{jk}, b_{i0}, b_{j0}, b_{k0})$, где $r_1 \dots r_{L0}$ - значения отношений интенсивностей излучения потока газов в выбранных участках спектра, w_{1i}, w_{ij}, w_{jk} -

весовые коэффициенты, а b_{i0}, b_{j0}, b_{k0} - смещения. Технический результат - повышение достоверности измерения температуры потока газов за счет учета насыщенности топливно-воздушной смеси и исключения влияния загрязненности оптического канала и влияния концентраций химических элементов в топливно-воздушной смеси. 6 ил.



ФИГ.2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(19) **RU** (11)

2 686 385⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.

G01K 13/02 (2006.01)

G01J 5/10 (2006.01)

G06N 3/02 (2006.01)

G06N 3/08 (2006.01)

G06F 17/50 (2006.01)

(52) CPC

G01K 2013/024 (2019.02); *G01J 5/0014* (2019.02); *G01J 2005/0081* (2019.02); *G01J 5/10* (2019.02); *G06N 3/02* (2019.02); *G06N 3/084* (2019.02); *G06F 17/5009* (2019.02)

(21) (22) Application: **2018119058, 23.05.2018**

(24) Effective date for property rights:
23.05.2018

Registration date:
25.04.2019

Priority:

(22) Date of filing: **23.05.2018**

(45) Date of publication: **25.04.2019** Bull. № 12

Mail address:

**197101, Sankt-Peterburg, Kronverkskij pr., 49,
Universitet ITMO, OIS i NTI**

(72) Inventor(s):

**Meshkovskij Igor Kasyanovi (RU),
Mekhrengin Mikhail Viktorovich (RU),
Aksarin Stanislav Mikhajlovich (RU),
Sukhinets Anton Valerevich (RU),
Smirnov Daniil Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij natsionalnyj
issledovatel'skij universitet informatsionnykh
tekhnologij, mekhaniki i optiki" (Universitet
ITMO) (RU)**

(54) **METHOD OF SPECTROMETRIC DETERMINATION OF GAS FLOW TEMPERATURE**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to remote measurement of high gas temperatures, in particular to methods for spectrometric measurement of gas flow temperature and processing of spectral data of optical sensors for determining temperature of gas flows and can be used for experimental studies of working process of power plants and for improving reliability during operation of gas turbines and gas turbine engines. Disclosed is a method for spectrometric determination of gas flow temperature, which involves measurement of emission intensity of a stream of gases, from which the current gas flow temperature is determined. First, using reference thermocouple, current values of gas flow temperature and intensity of its radiation are measured in at least two spectral regions in visible range and at least in two spectral regions in infrared range. Obtained data are used to calculate intensity ratios; the obtained data are used to form a training sample for training an artificial neural network, by means of which the value of the current gas flow temperature is calculated. Neural network is trained by back

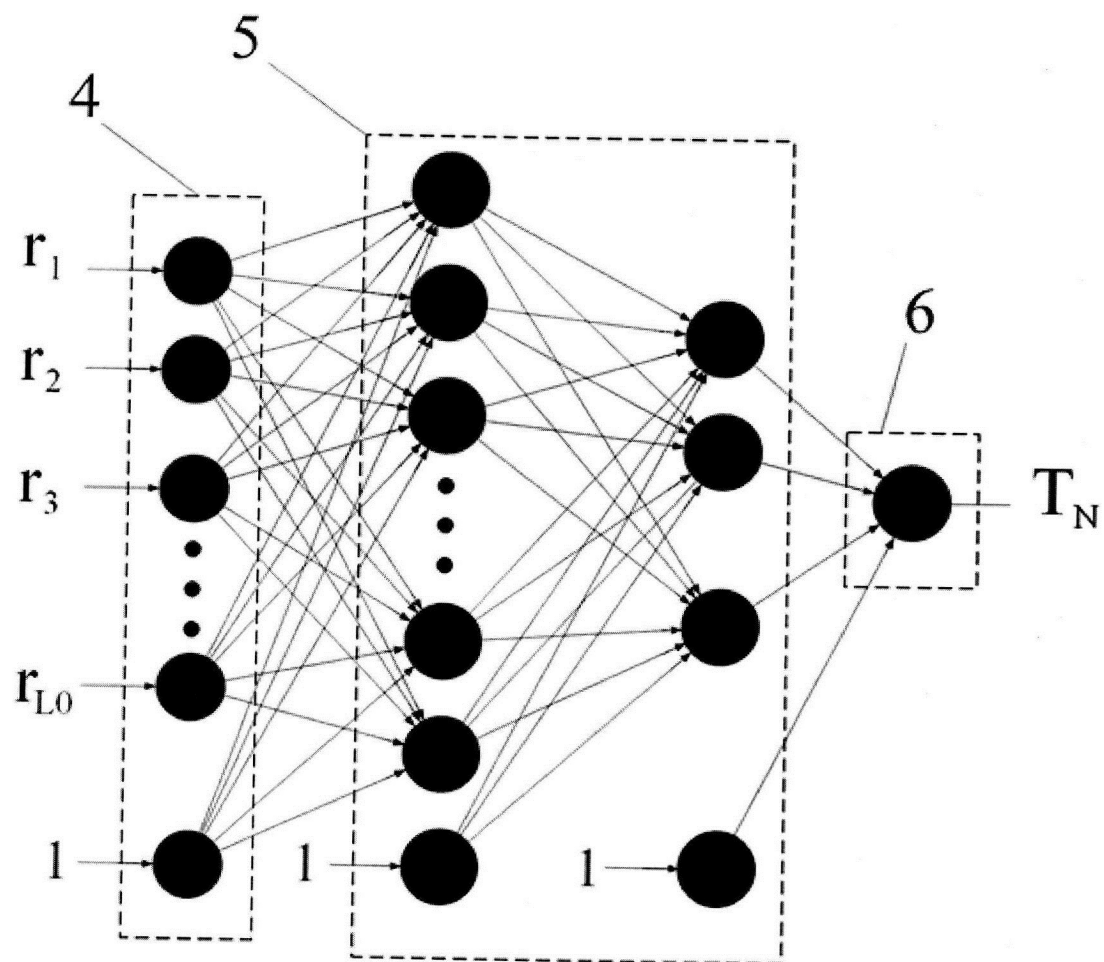
propagation of the error. During the training neural network weight coefficients are corrected to achieve the specified accuracy and are used to calculate the unknown value. Intensity of radiation of the analyzed gas flow is measured in at least two spectral regions in the visible range and at least in two regions of the spectrum in the infrared range, and the unknown current temperature of the analyzed gas stream is calculated by formula

$$t^0 = f(r_1, r_2, \dots, r_m, r_{m+1}, r_{m+2}, \dots, r_{L0}, w_{lt}, w_{tj}, w_{jk}, b_{t0}, b_{j0}, b_{k0}),$$

where $r_1 \dots r_{L0}$ - values of ratios of intensity of emission of gas flow in selected sections of spectrum, w_{lt} , w_{tj} , w_{jk} are weight coefficients, and b_{t0} , b_{j0} , b_{k0} - displacement.

EFFECT: high reliability of measuring temperature of the stream of gases by taking into account the saturation of the fuel-air mixture and eliminating the effect of contamination of the optical channel and the effect of concentrations of chemical elements in the fuel-air mixture.

1 cl, 6 dwg



ФИГ.2

Изобретение относится к области дистанционного измерения высоких температур газов, в частности к способам спектрометрического измерения температуры потока газов и обработки спектральных данных оптических датчиков определения температуры потоков газов и может быть использовано для экспериментальных исследований рабочего процесса силовых установок и для повышения надежности при эксплуатации газовых турбин и газотурбинных двигателей.

Известен способ оценки температуры лопаток в паровой турбине (патент РФ №2213997, МПК G06N 3/02, приор.05.12.1997, (конв. приор. 13.12.1996 US), опубликован 10.10.2003), представляющий собой оценку температуры лопаток с использованием нейронных сетей. Данные о температуре и давлении считываются в участках парового тракта паровой турбины перед и после исследуемых лопаток. На основании полученных данных нейронная сеть формирует информацию о средней температуре лопаток. Перед началом процесса эксплуатации газовой турбины нейронную сеть обучают в условиях малого потока пара. После обучения нейронная сеть используется для установления значений рабочей температуры лопаток.

Недостатком известного способа является то, что способ является косвенным и требует использования минимум четырех датчиков температуры и давления.

Известен способ и устройство для исследования температурных полей в газовых потоках (патент РФ №2597956, МПК G01K 13/02, 7/02, G01J 5/60, приор. 18.06.2015.).

В горячую часть тракта газотурбинного двигателя перпендикулярно газовому потоку помещена сеть из нитей, изготовленных из высокотемпературных материалов со специальным покрытием. Также в одной из нитей расположена термопара. Тепловизионная камера используется для получения визуального образа цветового поля. На основании цветовой характеристики нитей формируются данные о температуре газового потока. Информация с термопары используется в качестве опорного значения для определения степени черноты нитей сетки.

Недостатками известного способа являются необходимость внесения изменений в конструкцию существующей газовой турбины или газотурбинного двигателя и тот факт, что использование сетки создает препятствие внутри тракта турбины, что приводит к искажениям газового потока.

Наиболее близким к предлагаемому способу и принятым за прототип является способ спектрометрического измерения температуры потока газов с поглотителем (патент РФ №2583853, МПК G01K 13/02, G01J 5/58, приор. 09.12.2014), представляющий собой измерение температуры в различных слоях заданной толщины. Способ включает измерение интенсивности излучения потока газов в области спектра, соответствующей максимуму излучения углекислого газа CO_2 . До начала эксплуатации оптическая система калибруется при помощи регулируемого нагревателя. В процессе калибровки подбираются поправочные коэффициенты, которые позволяют получить данные о температуре в разных слоях на основании данных о температуре в среднем слое. В процессе работы оптическая система фокусируется в центральную точку по сечению горячего тракта газовой турбины и выполняется измерение температуры в среднем слое. Данные о температуре в других слоях, расположенных перпендикулярно линии визирования, получают на основании поправочных коэффициентов.

Недостатком способа является определение температуры только по одной области спектральных данных, что не позволяет учитывать изменение величины интенсивности, вызванное изменением химического состава продуктов сгорания вследствие изменения состава топлива и окислителя, что снижает достоверность полученных данных, отсутствует обоснование оптимальности подбора поправочных коэффициентов, кроме

того, метод не устойчив к загрязнению оптического тракта.

Задачей, на решение которой направлено данное изобретение, является повышение достоверности способа измерения температуры потока газов за счет учета насыщенности топливно-воздушной смеси и исключения влияния загрязненности оптического канала

и влияния концентраций химических элементов в топливно-воздушной смеси.

Технический результат достигается за счет измерения интенсивностей излучения потока газов в областях спектра, соответствующих излучению веществ СН (431 нм), С₂ (470 нм, 515 нм, 560 нм) и Н₂О (1500-1700 нм), отношения которых дают информацию о следующих параметрах: насыщенность топливно-воздушной смеси, загрязненность оптического канала, концентрации химических элементов в топливно-воздушной смеси, которые учитываются при вычислении температуры потока газов.

Поставленная задача решается следующим образом.

В способе спектрометрического определения температуры потока газов, включающем измерение интенсивностей излучения потока газов, по которым судят о текущей температуре потока газов, предварительно, используя опорную термопару, измеряют текущие значения температуры потока газов и интенсивности его излучения не менее чем в двух областях спектра в видимом диапазоне и не менее чем в двух областях спектра в инфракрасном диапазоне, по полученным данным вычисляют отношения интенсивностей, полученные данные используют для формирования обучающей выборки для обучения искусственной нейронной сети, с помощью которой рассчитывают значение текущей температуры потока газов, обучают нейронную сеть методом обратного распространения ошибки, в процессе обучения корректируют весовые коэффициенты нейронной сети для достижения заданной точности и используют их для расчета искомой величины, интенсивности излучения исследуемого потока газов измеряют не менее, чем в двух областях спектра в видимом диапазоне и не менее, чем в двух областях спектра в инфракрасном диапазоне, а искомую текущую температуру исследуемого потока газов рассчитывают по формуле

$$t^{\circ} = f(r_1, r_2, \dots, r_m, r_{m+1}, r_{m+2}, \dots, r_{L0}, w_{1i}, w_{ij}, w_{jk}, b_{i0}, b_{j0}, b_{k0}),$$
 где $r_1 \dots r_{L0}$ - значения отношений интенсивностей излучения потока газов в выбранных участках спектра, w_{1i}, w_{ij}, w_{jk} - весовые коэффициенты, а b_{i0}, b_{j0}, b_{k0} - смещения.

Сущность заявляемого изобретения поясняется следующим. В способе спектрометрического определения потока газов выполняется измерение интенсивностей излучения потока газов в областях спектра, соответствующих излучению радикалов в видимом оптическом диапазоне: СН (431 нм), С₂ (470 нм), С₂ (515 нм), С₂ (560 нм), и в инфракрасном оптическом диапазоне: Н₂О (1550-1600 нм), Н₂О (1600-1650 нм), Н₂О (1650-1700 нм). Далее происходит вычисление попарных отношений интенсивностей в соответствии с формулами:

$$r_1 = \frac{I_{CH}}{I_{C_2}}, r_2 = \frac{I_{C_2(470)}}{I_{C_2(515)}}, \dots, r_m = \frac{I_{CH}}{I_{H_2O}}, \dots, r_{L0} = \frac{I_{H_2O(1550)}}{I_{H_2O(1600)}}, \quad (1)$$

где I_{CH} - интенсивность излучения радикала СН, $I_{C_2(470)}, I_{C_2(515)}$ - интенсивность излучения радикала С₂ на длинах волн 470 нм и 515 нм, I_{H_2O} - интенсивность излучения Н₂О.

Отношения интенсивностей излучения радикалов СН и С₂ позволяют получить информацию о насыщенности топливно-воздушной смеси в камере сгорания, попарные отношения излучения радикала С₂ в различных областях спектра содержат информацию

о температуре потока газов в камере сгорания, попарные отношения интенсивностей излучения H_2O в различных областях спектра содержат информацию о температуре потока газов в камере сгорания, отношения интенсивностей излучения CH и H_2O , а также C_2 и H_2O дают информацию о концентрации продуктов сгорания в среде.

Наличие данных о концентрации продуктов сгорания в среде, а также о насыщенности топливно-воздушной смеси повышают достоверность полученных данных о температуре потока газов. Использование отношений интенсивностей, а не абсолютных значений интенсивностей излучения радикалов, позволяет нивелировать влияние загрязнений оптической схемы и повышает достоверность полученных данных.

Таким образом, входными параметрами нейронной сети является набор отношений интенсивностей. Искусственная нейронная сеть считывает эти значения. Первый слой нейронной сети реализует алгоритм нормирования входных данных, который работает по следующему принципу:

$$y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot (x - x_{\min}) + y_{\min}, \quad (2)$$

где x - нормируемый набор данных, y - результат нормирования, $y_{\max}$, $y_{\min}$ - параметры нормирования, $x_{\max}$, $x_{\min}$ - максимум и минимум диапазона измеряемой величины.

Далее данные поступают на нейроны скрытого слоя, значения которых вычисляются следующим образом:

$$S = \sum_{j=1}^J w_j x_j \pm b_{j0}, \quad (3)$$

где w_j - весовой коэффициент связи с нейроном, x_j - значение, поступающее с j -го входа, b_{j0} - смещение. При этом на выход поступает значение:

$$t = f(S). \quad (4)$$

Выражение (4) называется функцией активации, которая, в данном способе, является сигмоидой и вычисляется по формуле:

$$f(x) = \frac{2}{\exp(-2x) + 1} - 1. \quad (5)$$

Данные значения вычисляются для каждого нейрона и поступают далее на следующие слои, где проходят аналогичные операции. На последнем слое нейронной сети, после вычисления выходного значения нейрона, происходит денормировка вычисленного значения нейронной сети. Полученное число является температурой газового потока.

Для корректной работы нейронной сети необходимо подобрать корректные значения весовых коэффициентов. Для этого нейронная сеть проходит обучение с использованием заранее записанных спектральных данных и данных о температуре.

Для формирования обучающей выборки используются данные о температуре с опорной термпары. Данные о температуре и значения интенсивностей излучения потока газов в выбранных областях спектра записываются синхронно. Данные записываются таким образом, что на протяжении всего времени записи температура потока газов изменяется от минимального значения к максимальному значению.

Нейронная сеть обучается методом обратного распространения ошибки, для обучения которого используют набор исходных данных для обучения - обучающую выборку. Суть обучения заключается в следующем. На первоначальной нейронной сети, весовые коэффициенты которой сгенерированы случайно, подаются данные о спектре из

обучающей выборки. Выданный нейронной сетью результат сравнивается с действительным значением из обучающей выборки, после чего вычисляется разность между ними. Эта разность используется как корректирующее значение для весовых коэффициентов нейронов и смещений, расположенных в предыдущем слое. Аналогично
 5 корректируются значения весовых коэффициентов и смещений в каждом предыдущем слое с учетом его текущего значения. Процесс подстановки значений из обучающей выборки и корректировка весовых коэффициентов повторяется до тех пор, пока разница между реальным значением и вычисляемым не достигнет порогового значения, установленного пользователем, или пока количество итераций обучения не достигнет
 10 предела, также установленного пользователем.

Таким образом, нейронную сеть можно представить в виде многомерной функции зависимости температуры от набора интенсивностей в нескольких участках спектра:

$$T_N = f\left(\sum_{t=1}^{L_2} w_{t1} \cdot f_t\left(\sum_{j=1}^{L_1} w_{tj} \cdot f_j\left(\sum_{k=1}^{L_0} w_{jk} r_k + b_{k0}\right) + b_{j0}\right) + b_{t0}\right), \quad (6)$$

15 где T_N - нормированное значение текущей температуры потока газов, L_0, L_1, L_2 - количество нейронов в первом, первом скрытом и втором скрытом слоях, w_{t1}, w_{tj}, w_{jk} - весовые коэффициенты, b_{t0}, b_{j0}, b_{k0} - смещения.

После денормировки значения T_N получаем итоговую зависимость текущей
 20 температуры потока газов от интенсивностей излучения потока газов в различных областях спектра, которая выражается в общем виде формулой:

$$T_N = f(r_1, r_2, \dots, r_m, r_{m+1}, r_{m+2}, \dots, r_{L_0}, w_{t1}, w_{tj}, w_{jk}, b_{t0}, b_{j0}, b_{k0}), \quad (7)$$

где $r_1, r_2, r_m, \dots, r_{L_0}$ - отношения интенсивностей излучения потока газов в различных
 25 областях спектра, w_{t1}, w_{tj}, w_{jk} - весовые коэффициенты, b_{t0}, b_{j0}, b_{k0} - смещения.

Сущность заявляемого изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 представлена принципиальная схема реализующего заявляемый способ устройства для сбора данных, преобразовываемых в температуру, на фиг. 2 представлена структура искусственной
 30 нейронной сети, используемая для оценки температуры потока газов, на фиг. 3 представлена схема сбора данных для формирования обучающей выборки искусственной нейронной сети, на фиг. 4 изображены спектры газов, где отмечены области спектра, используемые для оценки температуры в видимом диапазоне оптического излучения и указаны соответствующие продукты сгорания, на фиг. 5 изображены спектры
 35 продуктов сгорания в инфракрасном диапазоне излучения, на фиг. 6 изображена зависимость отношения интенсивностей излучения в двух областях видимой области спектра от температуры потока газов.

Устройство, реализующее заявляемый способ (фиг. 1), включает оптическую схему 1, оптически соединенную с массивом фотоприемных устройств (МФПУ) 2. МФПУ 2 выполняет оптоэлектронное преобразование сигнала и передает электрические сигналы,
 40 соответствующие интенсивностям излучения потока газов в различных областях спектра, в блок цифровой обработки сигналов (ЦОС) 3. Блок ЦОС 3 выполняет аналого-цифровое преобразование данных, вычисляет отношения между интенсивностями излучения на различных ФПУ и реализует алгоритм обработки данных, построенный на базе искусственной нейронной сети (фиг. 2). Нейронная сеть состоит из первого слоя
 45 4, скрытого слоя 5 и последнего слоя 6. После обучения при помощи обучающей выборки, состоящей из спектрометрических данных и данных о температуре, полученных при помощи термопары 7 (фиг. 3), нейронная сеть формирует на выходе значение измеряемой температуры потока газов.

Заявляемый способ реализуется следующим образом. Оптическое излучение потока газов отводится из камеры сгорания при помощи оптической схемы 1 и передается на массив фотоприемных устройств 2. МФПУ 2 выполняет измерение интенсивностей излучения потока газов в областях спектра, соответствующих излучению радикалов в видимом оптическом диапазоне: CN (425-435 нм), C_2 (465-475 нм), C_2 (510-520 нм), C_2 (550-560 нм) (фиг. 4), и в инфракрасном оптическом диапазоне: H_2O (1550-1600 нм), H_2O (1600-1650 нм), H_2O (1650-1700 нм) (фиг. 5). Данные об интенсивностях излучения в данных областях спектра поступают на блок ЦОС 3, где происходит вычисление попарных отношений интенсивностей в соответствии с формулами (1). Полученный набор отношений интенсивностей поступает на вход искусственной нейронной сети. Искусственная нейронная сеть (фиг. 2), реализованная в блоке ЦОС 3, считывает эти значения. Первый слой 4 нейронной сети реализует алгоритм нормировки входных данных. Нормированные данные поступают на нейроны скрытого слоя 5, где происходит их активация при помощи сигмоиды. На последнем слое 6 нейронной сети выполняется вычисление выходного значения нейрона и денормировка вычисленного значения нейронной сети. Полученное число является температурой газового потока.

Для корректной работы нейронная сеть предварительно проходит обучение с использованием заранее записанных спектральных данных и данных о температуре. Для формирования обучающей выборки используется устройство, реализующее описываемый способ, вместе с опорной термопарой (фиг. 3). Данные с опорной термопары 7 и МФПУ 2 одновременно записывают в блок ЦОС 3. Данные записываются таким образом, что на протяжении всего времени записи температура потока газов изменяется от минимального значения к максимальному значению. На основании полученного набора данных нейронная сеть обучается методом обратного распространения ошибки.

В качестве конкретного примера выполнения для реализации заявляемого способа предлагается устройство, где оптическая схема, представляет собой совокупность оптического окна, изготовленного из лейкосапфира, и жгута оптических волокон. Оптическое окно выполнено в виде полированной с обеих сторон пластинки из лейкосапфира. Жгут оптических волокон представляет собой массив оптических волокон, скрученных вместе и помещенных в оплетку из высокотемпературного теплоизоляционного материала. Жгут оптических волокон при помощи оптического коннектора подключается к массиву фотоприемных устройств. На каждое фотоприемное устройство, входящее в состав МФПУ, нанесен спектральный дихроичный фильтр. Массив фотоприемных устройств с дихроичными фильтрами позволяет измерять интенсивность излучения в вышеупомянутых областях спектра.

Примеры спектров излучения потока газов в видимом оптическом диапазоне показаны на фиг. 4. Примеры спектров излучения потока газов в инфракрасном оптическом диапазоне показаны на фиг. 5.

Блок ЦОС реализуется на базе платы с программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС). Блок ЦОС выполняет аналого-цифровое преобразование данных с МФПУ и передает их в ПЛИС. В ПЛИС реализован алгоритм обработки данных, который построен на базе искусственной нейронной сети типа многослойный персептрон. Выходное значение искусственной нейронной сети принимается за измеряемую температуру потока газов.

Пример зависимости отношения интенсивностей излучения радикала C_2 в областях длин волн 470 нм и 515 нм от температуры потока газов пропановой горелки

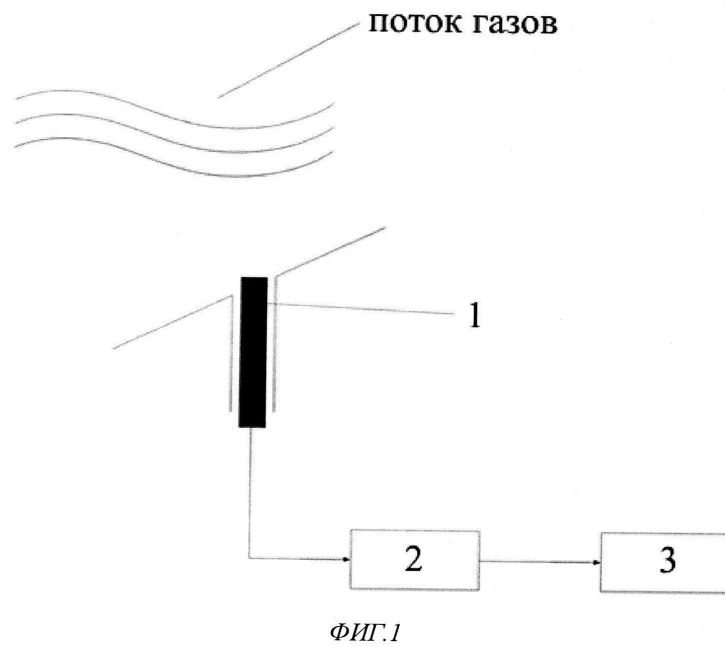
представлен на фиг. 6.

Таким образом, заявляемый способ позволяет повысить достоверность измерения температуры потока газов за счет измерения интенсивностей излучения потока газов в областях спектра, соответствующих излучению веществ CH (431 нм), C_2 (470 нм, 515 нм, 555 нм) и H_2O (1500-1700 нм), отношения которых дают информацию о следующих параметрах: насыщенность топливно-воздушной смеси, загрязненность оптического канала, концентрации химических элементов в топливно-воздушной смеси, которые учитываются при вычислении температуры потока газов.

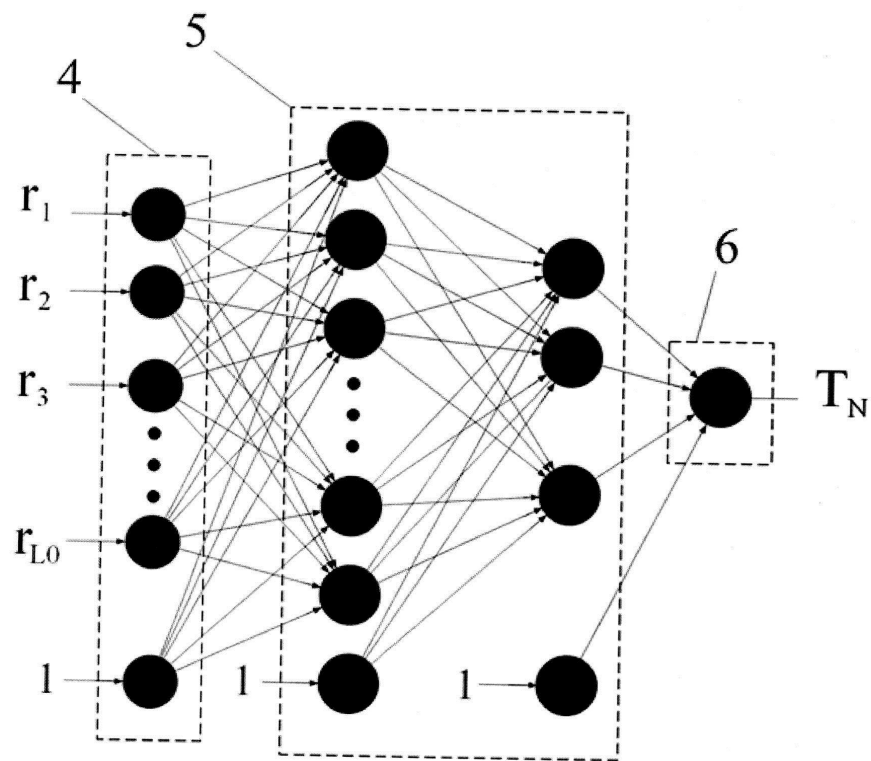
(57) Формула изобретения

Способ спектрометрического определения температуры потока газов, включающий измерение интенсивности излучения потока газов, по которой судят о текущей температуре потока газов, отличающийся тем, что, предварительно, используя опорную термопару, измеряют текущие значения температуры потока газов и интенсивности его излучения не менее чем в двух областях спектра в видимом диапазоне и не менее чем в двух областях спектра в инфракрасном диапазоне, по полученным данным вычисляют отношения значений интенсивностей излучения, которые используют для формирования обучающей выборки для обучения искусственной нейронной сети, с помощью которой рассчитывают текущую температуру потока газов, обучают нейронную сеть методом обратного распространения ошибки, в процессе обучения корректируют весовые коэффициенты нейронной сети по достижению заданной точности и используют их для расчета искомой величины, интенсивность излучения исследуемого потока газов измеряют в выбранных областях спектра, вычисляют отношения значений интенсивностей, а искомую текущую температуру исследуемого потока газов рассчитывают по формуле $t^\circ = f(r_1, r_2, r_3, r_4, w_{1t}, w_{ij}, w_{jk}, b_{t0}, b_{j0}, b_{k0})$, где r_1, r_2, r_m - отношения интенсивностей выбранных областей спектра, w_{1t}, w_{ij}, w_{jk} - весовые коэффициенты, b_{t0}, b_{j0}, b_{k0} - смещения.

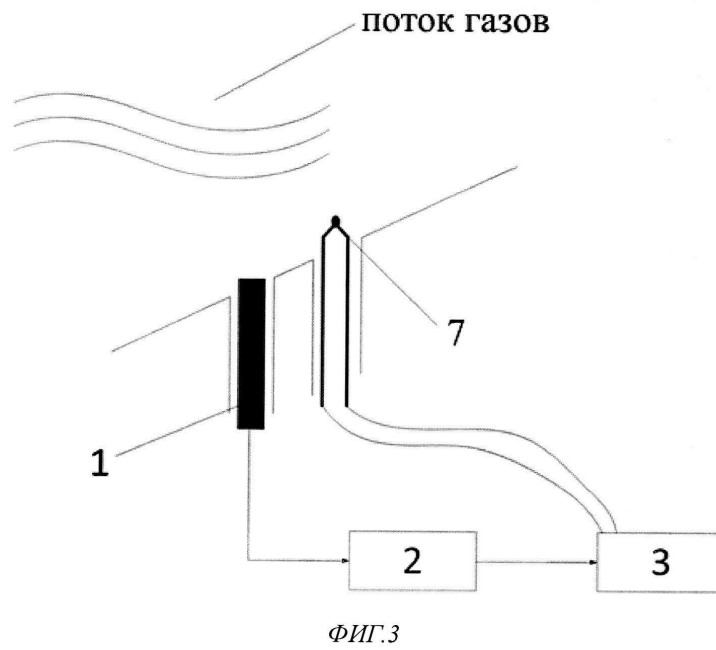
1

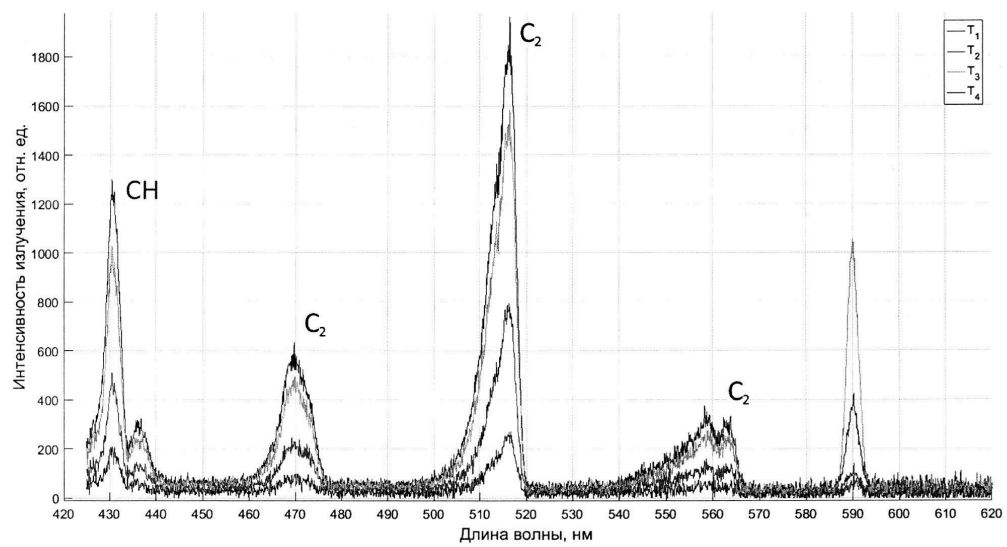


2

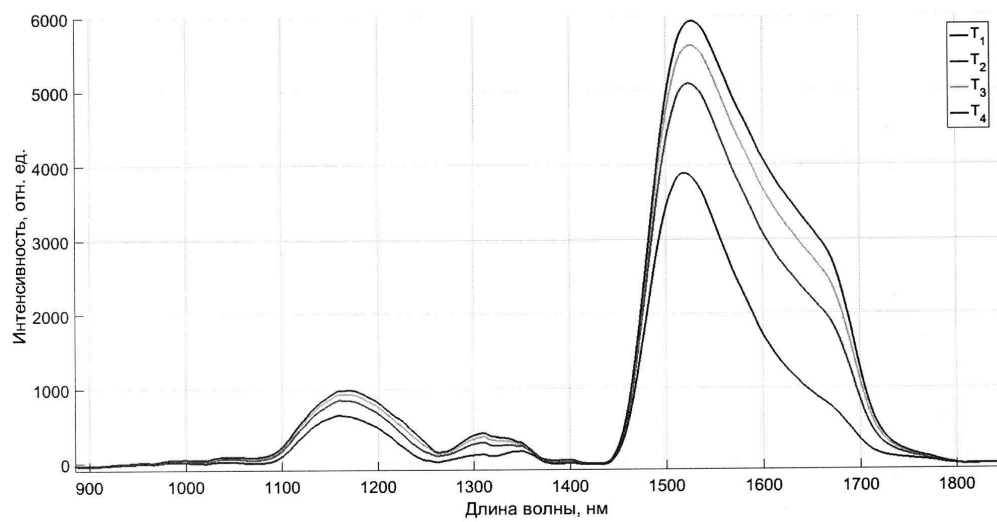


ФИГ.2

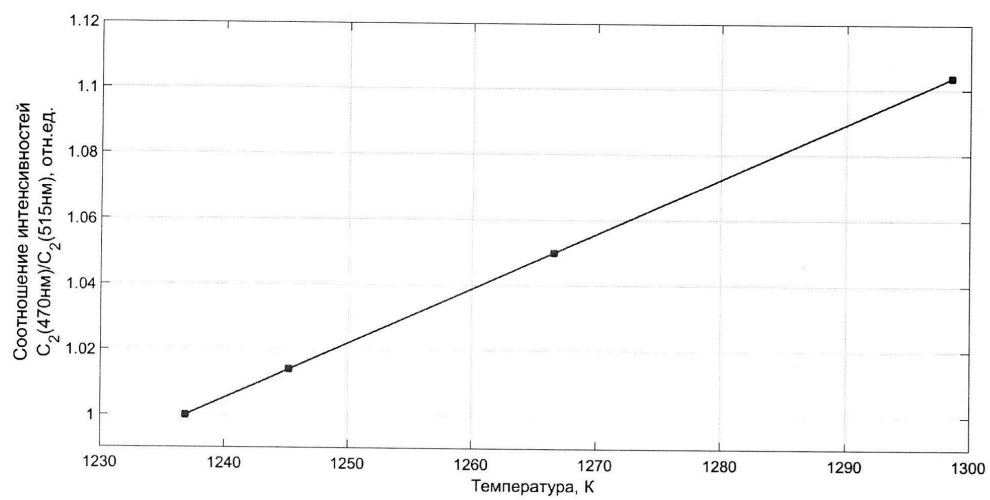




ФИГ. 4



ФИГ.5



ФИГ. 6