



(51) МПК  
**F27B 1/26** (2006.01)  
**C21B 7/24** (2006.01)  
**G05D 16/00** (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: **2012115985/02, 19.04.2012**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**19.04.2012**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **19.04.2012**

(45) Опубликовано: **20.10.2013** Бюл. № 29

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2212014 C2, 10.09.2003. RU 2106411 C1, 10.03.1998. SU 1836431 A3, 23.08.1993. DE 1224880 B, 15.09.1966. FR 2300809 A1, 10.09.1976.**

Адрес для переписки:

**620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,  
 Центр интеллектуальной собственности,  
 пат.пов. Т.В. Маркс**

(72) Автор(ы):

**Лисиенко Владимир Георгиевич (RU),  
 Маликов Юрий Константинович (RU),  
 Титаев Александр Анатольевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего  
 профессионального образования  
 "Уральский федеральный университет имени  
 первого Президента России Б.Н. Ельцина"  
 (RU)**

**(54) СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГАЗОПЛОТНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА  
 ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области энерготехнологий, в частности, промышленных печей и котельных агрегатов. Способ включает задание требуемого давления в рабочем пространстве агрегата, измерение давления в рабочем пространстве агрегата, сравнение измеренного значения с заданным и формирование управляющего воздействия на шибер или заслонку в дымовом тракте. После измерения давления в рабочем пространстве агрегата измеряют концентрацию кислорода в отходящих дымовых газах, расход топлива и коэффициент избытка воздуха по соотношению "топливо - воздух для горения", после чего определяют величину подсосов атмосферного воздуха в рабочее пространство агрегата по формуле:

$$G_{\Pi} = G_{\Gamma} \left[ \frac{C_{\kappa} V_0}{0,21 - C_{\kappa}} - (\alpha - 1) L_0 \right], \text{ где}$$

$G_{\Pi}$  - объем подсосов атмосферного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{\Gamma}$  - расход топлива, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{\kappa}$  - концентрация кислорода в продуктах сгорания, объемные доли;  $\alpha$  - коэффициент избытка воздуха по соотношению "топливо - воздух для горения";  $L_0$  и  $V_0$  - теоретически необходимое для горения 1 м<sup>3</sup> топлива количество воздуха и теоретический выход продуктов сгорания на 1 м<sup>3</sup> топлива соответственно, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, и корректируют задание требуемого давления в рабочем пространстве агрегата до достижения величины объема подсосов атмосферного воздуха  $G_{\Pi}$ , равной нулю. Использование изобретения обеспечивает снижение расхода топлива и повышение теплового КПД. 2 ил., 1 пр.

RU 2 496 070 C1

RU 2 496 070 C1

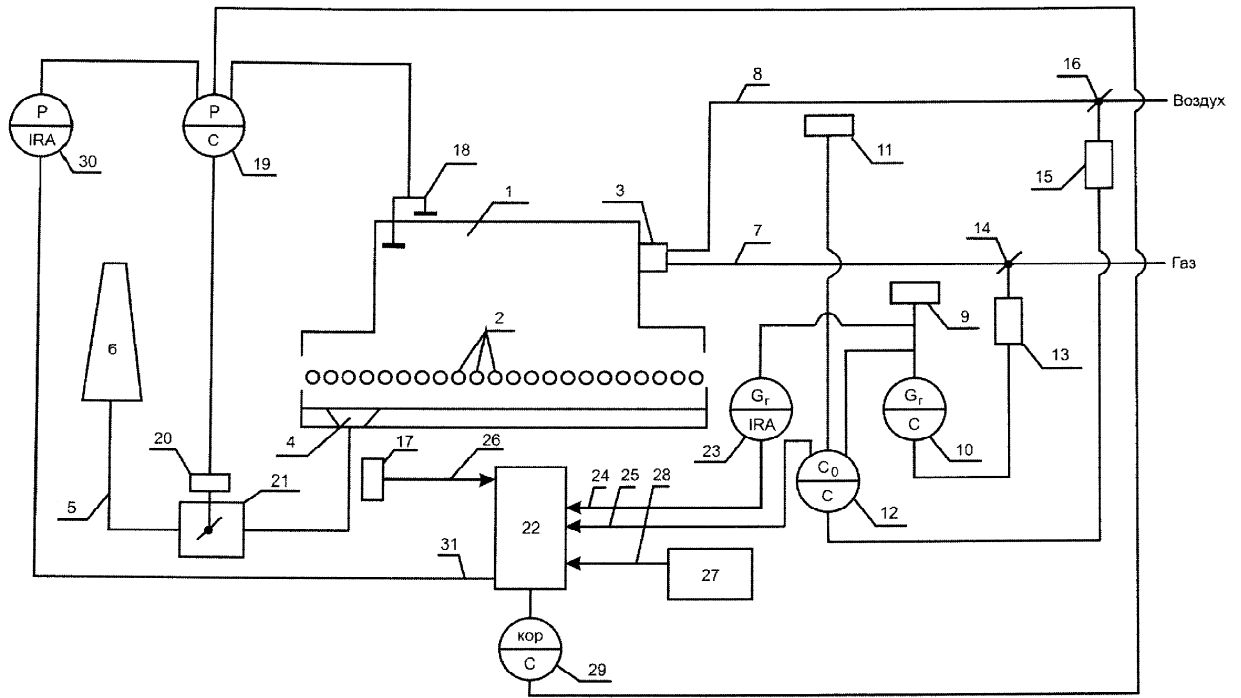


Рис. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**F27B 1/26** (2006.01)  
**C21B 7/24** (2006.01)  
**G05D 16/00** (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012115985/02, 19.04.2012**

(24) Effective date for property rights:  
**19.04.2012**

Priority:

(22) Date of filing: **19.04.2012**

(45) Date of publication: **20.10.2013 Bull. 29**

Mail address:

**620002, g.Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU,  
Tsentr intellektual'noj sobstvennosti, pat.pov.  
T.V. Marks**

(72) Inventor(s):

**Lisienko Vladimir Georgievich (RU),  
Malikov Jurij Konstantinovich (RU),  
Titaev Aleksandr Anatol'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovaniya "Ural'skij  
federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta  
Rossii B.N. El'tsina" (RU)**

(54) **METHOD TO CONTROL GAS TIGHTNESS OF WORKING AREA IN ENERGY TECHNOLOGY UNITS**

(57) Abstract:

FIELD: power engineering.

SUBSTANCE: method includes setting the required pressure in the working area of a unit, measurement of pressure in the working area of the unit, comparison of the measured value with the set one and generation of a control action at a gate or a shutter in a smoke tract. After measurement of pressure in the working area, oxygen concentration is measured in effluent smoke gases, as well as fuel consumption and coefficient of air excess according to the ratio "fuel-air for combustion", afterwards the value of atmospheric air suction is measured into the working area of the unit in accordance with the following formula:

$$G_s = G_f \left[ \frac{C_o V_0}{0,21 - C_o} - (\alpha - 1)L_0 \right],$$

where  $G_s$  - volume of atmospheric air suction,  $m^3/hr$ ;  $G_f$  - fuel consumption,  $m^3/hr$ ;  $C_o$  - oxygen concentration in combustion products, volume

fractions;  $\alpha$  - coefficient of air excess according to the ratio "air-air for combustion";  $L_0$  and  $V_0$  - air quantity theoretically required for combustion of  $1 m^3$  of fuel and theoretical yield of combustion products per  $1 m^3$  of fuel accordingly,  $m^3/m^3$ , and the setting of the required pressure is corrected in the working area of the unit until achievement of the atmospheric air suction value  $G_n$ , equal to zero.

EFFECT: reduced fuel consumption and increased thermal efficiency.

2 dwg, 1 ex

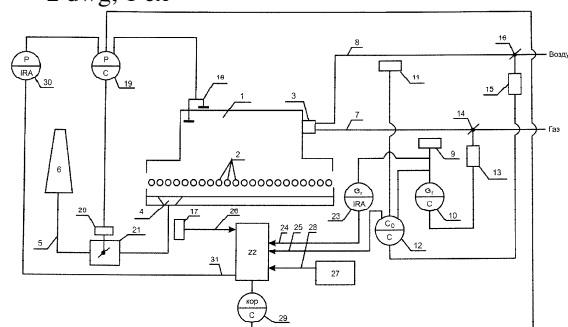


Рис. 1

RU 2 496 070 C1

RU 2 496 070 C1

Изобретение относится к области энерготехнологий, в частности, промышленных печей и котельных агрегатов.

Известен способ регулирования газоплотности рабочего пространства, при котором подсосы воздуха в рабочее пространство регулируют путем поддержания 5 давления под сводом агрегата, обычно в пределах 0,8-2,0 мм.вод.ст. При этом регулирование давления в рабочем пространстве осуществляют путем перемещения заслонки или шиберы, перекрывающих дымовой тракт агрегата. Данный способ включает в себя задание требуемого давления в рабочем пространстве агрегата, 10 измерение давления в рабочем пространстве агрегата, сравнение измеренного значения с заданным, в случае обнаружения отклонения измеренного значения от заданного формирование управляющего воздействия на шибер или заслонку в дымовом тракте, позволяющего устранить выявленное отклонение давления [Блинов О.М., Глебов Ю.Д., Прибытков И.А. Основы металлургической теплотехники. М.: "Металлургия". 1973]. 15

Также известен способ регулирования давления колошникового газа доменных печей, при котором давление колошникового газа также поддерживают регулированием шиберы [Патент на изобретение RU 2212014 C2. Способ и устройство 20 для регулирования давления колошникового газа]. Патент описывает способ регулирования давления колошникового газа в печи, включающий измерение давления газа первым датчиком давления на выходе газа из печи, измерение давления дутья, поступающего в печь, вторым датчиком давления, изменение положения 25 первого исполнительного механизма по сигналу от первого регулятора по заданию, отличающийся тем, что импульс с первого датчика давления передают на первый регулятор через первый регистрирующий прибор с датчиком давления, передают импульс от второго датчика давления на второй регулятор через второй регистрирующий прибор с датчиком давления и переключающее устройство, 30 изменяют положение второго исполнительного механизма дросселя, при этом на переключающее устройство также подают электрический сигнал с датчика положения первого исполнительного механизма.

Однако недостатком этих способов является трудность подбора необходимого давления газов для устранения или минимизации величины подсосов атмосферного 35 воздуха в рабочее пространство агрегатов, вызванная отсутствием полной герметичности корпуса агрегата, открытием и закрытием рабочих окон, наличием пульсаций при включении и выключении горелочных устройств. При этом даже небольшое изменение давления в рабочем пространстве агрегата и перемещение 40 заслонки в дымовом тракте агрегата может вызвать значительный приток атмосферного воздуха в рабочее пространство агрегата. Это приводит к охлаждению рабочего пространства, снижению КПД, увеличению расхода топлива, а также к повышенному окислению металлических элементов агрегата (нагреваемый металл, трубчатые поверхности паропроводов и т.д.).

Таким образом, известен способ регулирования газоплотности рабочего пространства, принятый за прототип, при котором подсосы воздуха в рабочее пространство регулируют путем поддержания давления под сводом агрегата, при этом регулирование давления в рабочем пространстве осуществляют путем 45 перемещения заслонки или шиберы, перекрывающих дымовой тракт агрегата. Однако недостатком этого способа является трудность подбора и отслеживания необходимого давления газов для устранения или минимизации величин подсосов атмосферного воздуха, что приводит к охлаждению рабочего пространства, 50

снижению теплового КПД, увеличению расхода топлива и повышенной коррозии металлических элементов агрегата.

Задачей настоящего изобретения является устранение подсосов холодного атмосферного воздуха в рабочее пространство энерготехнологических агрегатов, повышение теплового КПД, снижение расходов топлива и устранение коррозии элементов рабочего пространства агрегатов.

Эта задача решается тем, что в известном способе регулирования газоплотности рабочего пространства энерготехнологических агрегатов, включающем задание требуемого давления в рабочем пространстве агрегата, измерение давления в рабочем пространстве агрегата, сравнение измеренного значения с заданным, в случае обнаружения отклонения измеренного значения от заданного формирование управляющего воздействия на шибер или заслонку в дымовом тракте, позволяющего устранить выявленное отклонение давления, после измерения давления в рабочем пространстве агрегата измеряют концентрацию кислорода в отходящих дымовых газах, расход топлива и коэффициент избытка воздуха по соотношению "топливо-воздух для горения", после чего определяют величину подсосов атмосферного воздуха в рабочее пространство агрегата, определяемую по формуле:

$$G_{\Pi} = G_{\Gamma} \left[ \frac{C_{\kappa} V_0}{0,21 - C_{\kappa}} - (\alpha - 1) L_0 \right],$$

где  $G_{\Pi}$  - объем подсосов атмосферного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{\Gamma}$  - расход топлива, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{\kappa}$  - концентрация кислорода в продуктах сгорания, объемные доли;  $\alpha$  - коэффициент избытка воздуха по соотношению "топливо-воздух для горения";  $L_0$  и  $V_0$  -

теоретически необходимое для горения 1 м<sup>3</sup> топлива количество воздуха и теоретический выход продуктов сгорания на 1 м<sup>3</sup> топлива соответственно, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, и корректируют задание давления в рабочем пространстве агрегата до достижения величины подсосов атмосферного воздуха, равной нулю ( $G_{\Pi}=0$ ).

Таким образом, в отличие от прототипа в предлагаемом способе регулирования газоплотности проводится корректировка задания регулятора давления под сводом с целью устранения подсосов атмосферного воздуха в рабочее пространство агрегата. При этом регулирующим воздействием является изменение положения заслонки илишибера в дымовом тракте агрегата.

Основной информацией для корректирующего регулятора и одновременно его входной величиной является при этом непосредственно величина самих подсосов атмосферного воздуха. Эта величина  $G_{\Pi}$  определяется из следующих балансовых соотношений.

Расход отходящих продуктов сгорания  $G_{\text{д}}$  определяется соотношением

$$G_{\text{д}} = V_{\alpha} G_{\Gamma} + G_{\Pi} = [V_0 + (\alpha - 1) L_0] G_{\Gamma} + G_{\Pi} \quad (1)$$

где  $G_{\Gamma}$  - расход топлива, например, природного газа, м<sup>3</sup>/ч;  $\alpha$  - коэффициент расхода воздуха, определяемый на горелке регулятором соотношения "топливо-воздух для горения";  $V_{\alpha}$ ,  $V_0$  и  $L_0$  - теоретические выход продуктов сгорания, при  $\alpha \neq 1$ , при  $\alpha = 1$  и необходимый расход воздуха для горения при  $\alpha = 1$  соответственно, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

За счет избытка воздуха, подаваемого на горение при  $\alpha > 1$ , расход избыточного воздуха в отходящих продуктах сгорания равен

$$G_{\text{в}}^{\alpha} = G_{\Gamma} L_0 (\alpha - 1) \quad (2)$$

Тогда концентрация кислорода в отходящих продуктах сгорания равна

$$C_k = \frac{0,21(G_B^\alpha + G_{II})}{G_D} = \frac{0,21[G_r L_0 (\alpha - 1) + G_{II}]}{[V_0 + (\alpha - 1)L_0]G_r + G_{II}} \quad (3)$$

Решая уравнение (3) относительно величины  $G_{II}$ , получим

$$G_{II} = G_r \left[ \frac{C_k V_0}{0,21 - C_k} - (\alpha - 1)L_0 \right], \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что для определения величины подсосов атмосферного воздуха необходимо определить с помощью датчика концентрацию кислорода в отходящих продуктах сгорания  $C_k$ , задать известные для применяемого топлива справочные величины  $V_0$  и  $L_0$  и отследить определяемую регулятором "топливо-воздух для горения" величину коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ .

Предлагаемый способ, таким образом, предусматривает, что при наличии регулирования соотношения "топливо-воздух для горения" определяется величина коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ , и определяется концентрация кислорода в отходящих продуктах сгорания для корректировки задания регулятора давления под сводом агрегата с целью устранения подсосов атмосферного воздуха в рабочее пространство. При этом входной величиной корректирующего регулятора является величина подсосов атмосферного воздуха, определяемая в вычислительном устройстве по формуле (4), а заданием корректирующему регулятору является величина, определяемая отсутствием подсосов, т.е.

$$G_{II} = G_{II}^{\text{зад}} = 0 \quad (5)$$

Однако в определенных условиях при увеличении давления под сводом рабочего пространства  $P_{св}$  возникает возможность значительного выбивания продуктов сгорания из рабочего пространства агрегата, что затрудняет работу агрегата и обслуживающего персонала. В этом случае вводят ограничение на максимальную величину давления под сводом рабочего пространства агрегата, обычно не превышающую величин

$$P_{св \text{ макс}} = 1,2 - 2,0 \text{ мм вод.ст.}$$

С учетом этих обстоятельств условие (5) заменяется на следующие ограничения

$$P_{св} \leq P_{св \text{ макс}}$$

$$G_{II} = G_{II \text{ мин}}$$

т.е. при этом достигается минимально возможная в данных условиях величина подсосов атмосферного воздуха  $C_{II \text{ мин}}$  при максимально допустимом давлении под сводом  $P_{св \text{ макс}}$ . В этом случае предварительно кроме задания давления в рабочем пространстве агрегата дополнительно задают максимально допустимое для агрегата значение давления в рабочем пространстве  $P_{св \text{ макс}}$ , а при формировании коррекции на задание давления в случае достижения измеренным давлением максимального значения

$$P_{св} = P_{св \text{ макс}}$$

коррекцию останавливают.

Как отмечалось, наличие подсосов атмосферного холодного воздуха в рабочее пространство агрегатов приводит к снижению температуры в рабочем пространстве, уменьшению теплового КПД, увеличению расхода топлива, а также к окислительной коррозии элементов рабочего пространства и нагреваемого материала.

Рассмотрим реализацию заявленного способа устройством, представленным на рис.1 на примере нагревательной печи.

Оно включает: рабочее пространство 1, нагреваемый материал 2, горелочное

устройство 3, канал отходящих продуктов сгорания 4, дымоход 5, дымовую трубу 6, подводы топлива 7 и воздуха 8, датчик расхода топлива 9, регулятор расхода топлива 10, датчик расхода воздуха 11, регулятор соотношения "топливо-воздух для горения" 12, исполнительный механизм 13 и регулирующий орган 14 расхода топлива, исполнительный механизм 15 и регулирующий орган 16 расхода воздуха, датчик концентрации кислорода 17, датчик давления под сводом 18, регулятор давления под сводом 19, заслонка в дымовом тракте 20, исполнительный механизм регулирования положения заслонки в дымовом тракте 21, вычислительное устройство 22, расходомер подачи газа 23, ввод данных в вычислительное устройство 22 (о расходе топлива 24, о соотношении "топливо-воздух для горения" 25, о концентрации кислорода в продуктах сгорания 26, ручной ввод данных 28 из банка данных 27), корректирующий регулятор 29, вторичное измерительное устройство давления под сводом 30, ввод данных о давлении под сводом 31 в вычислительное устройство 22. На рис.1 обозначения: С - регулятор; IRA - показывающий, регистрирующий и сигнализирующий вторичный прибор; кор - корректирующий регулятор;  $G_T$  - расходомер топлива;  $C_0$  - регулятор соотношения "топливо-воздух для горения",  $P$  - давление под сводом.

В рабочее пространство печи, в котором нагревается материал, через горелочное устройство подается природный газ и воздух для горения, продукты сгорания удаляются через канал отходящих продуктов сгорания и дымоход в дымовую трубу. Определение расходов газа и воздуха для горения осуществляется соответствующими датчиками, а регулирование их расходов - исполнительными механизмами и регулирующими органами. Автоматическое регулирование расхода природного газа осуществляется регулятором расхода топлива, а расхода воздуха - регулятором соотношения "топливо-воздух для горения", определение концентрации кислорода в продуктах сгорания осуществляется датчиком концентрации кислорода. Давление под сводом измеряется соответствующим датчиком. Регулирование давления с помощью исполнительного механизма регулирования положения заслонки в дымовом тракте осуществляется регулятором давления. В вычислительное устройство вводятся данные: о расходе газа, о концентрации кислорода в продуктах сгорания, о соотношении "газ-воздух для горения", и посредством ручного ввода данные о теоретическом необходимом расходе воздуха на горение  $L_0$  и теоретическом выходе продуктов сгорания  $V_0$ . В вычислительном устройстве определяется по формуле (4) величина подсосов атмосферного воздуха  $G_{п}$ , и эти данные поступают в корректирующий регулятор, изменяющий величину задания регулятора давления под сводом так, чтобы величина подсосов была равна  $G_{п}=0$ . Измеренное с помощью соответствующего датчика давление под сводом через вторичное измерительное устройство давления под сводом поступает на вход вычислительного устройства, где осуществляется сравнение заданной максимальной величины  $P_{св макс}$  с физической величиной давления под сводом  $P_{св}$ . В случае превышения давления под сводом заданной величины  $P_{св макс}$ , т.е. при  $P_{св} \geq P_{св макс}$  работа корректирующего регулятора приостанавливается. При этом достигается величина  $P_{св} = P_{св макс}$ , а величина подсосов достигает минимально возможной в реальных условиях эксплуатации величины  $G_{п} = G_{п мин}$ .

Рассмотрим пример работы устройства при конкретных физических условиях.

При давлении под сводом нагревательной печи с отоплением природным газом  $P_{св} = 0,9$  мм вод.ст. величина коэффициента избытка воздуха для горения, устанавливаемая регулятором соотношения "газ-воздух для горения", составляет

$\alpha=1,05$ , концентрация кислорода в продуктах сгорания составила 3,2%, а расход природного газа равен 500 м<sup>3</sup>/ч. Эти величины поступают в вычислительное устройство. В то же устройство вводятся справочные данные для природного газа

$$L_0=9,5 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ и } V_0=10,5 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

При этом по формуле (4) величина подсосов атмосферного воздуха составит

$$G_{\text{п}} = 500 \left[ \frac{0,032 \cdot 10,5}{0,21 - 0,032} - (1,05 - 1) \cdot 9,5 \right] = 706 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Эта величина  $G_{\text{п}}$  поступает из вычислительного устройства на корректирующий регулятор давления под сводом. При задании корректирующему регулятору  $C_{\text{п}}=0$  корректирующий регулятор увеличивает задание на давление под сводом, при этом заслонка на дымовом тракте работает на его частичное перекрытие.

Однако технологическая инструкция устанавливает по условиям выбивания продуктов сгорания из рабочего пространства печи величину максимального давления под сводом  $P_{\text{св макс}}=1,1$  мм вод.ст. Это ограничение поступает в вычислительное устройство, которое на этой основе приостанавливает увеличение давления под сводом и снижение задания подсосов атмосферного воздуха до задания

$$G_{\text{п}}=G_{\text{п мин}}$$

Этот пример также иллюстрируется графиками процессов регулирования величины подсосов атмосферного воздуха (рис.2), из которых видно, что при  $P_{\text{св макс}}=1,1$  мм вод.ст. установилось значение подсосов атмосферного воздуха  $G_{\text{п мин}}=200$  м<sup>3</sup>/ч, т.е. величина подсосов атмосферного воздуха в результате регулирования газоплотности печи была снижена в 7 раз.

Использование данного способа обеспечивает снижение подсосов холодного атмосферного воздуха в рабочее пространство печи, повышает тепловой КПД печи, снижает расход топлива и устраняет в данном случае угар нагреваемого металла за счет его окисления избыточным кислородом.

#### Формула изобретения

Способ регулирования газоплотности рабочего пространства энерготехнологических агрегатов, включающий задание требуемого давления в рабочем пространстве агрегата, измерение давления в рабочем пространстве агрегата, сравнение измеренного значения с заданным и в случае обнаружения отклонения измеренного значения давления от заданного формирование управляющего воздействия на шибер или заслонку в дымовом тракте для устранения выявленного отклонения давления, отличающийся тем, что в процессе измерения давления в рабочем пространстве агрегата измеряют концентрацию кислорода в отходящих дымовых газах, расход топлива и коэффициент избытка воздуха по соотношению топливо-воздух для горения, после чего определяют величину подсосов атмосферного воздуха в рабочее пространство агрегата по формуле:

$$G_{\text{п}} = G_{\text{г}} \left[ \frac{C_{\text{к}} V_0}{0,21 - C_{\text{к}}} - (\alpha - 1) L_0 \right],$$

где  $G_{\text{п}}$  - объем подсосов атмосферного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{\text{г}}$  - расход топлива, м<sup>3</sup>/ч;  $C_{\text{к}}$  - концентрация кислорода в продуктах сгорания, объемные доли;  $\alpha$  - коэффициент избытка воздуха по соотношению топливо-воздух для горения;  $L_0$  и  $V_0$  - теоретически необходимое для горения 1 м<sup>3</sup> топлива количество воздуха и теоретический выход



продуктов сгорания на  $1 \text{ м}^3$  топлива соответственно,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , и корректируют задание требуемого давления в рабочем пространстве агрегата до достижения величины объема подсосов атмосферного воздуха  $G_{\text{п}}$ , равной нулю.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

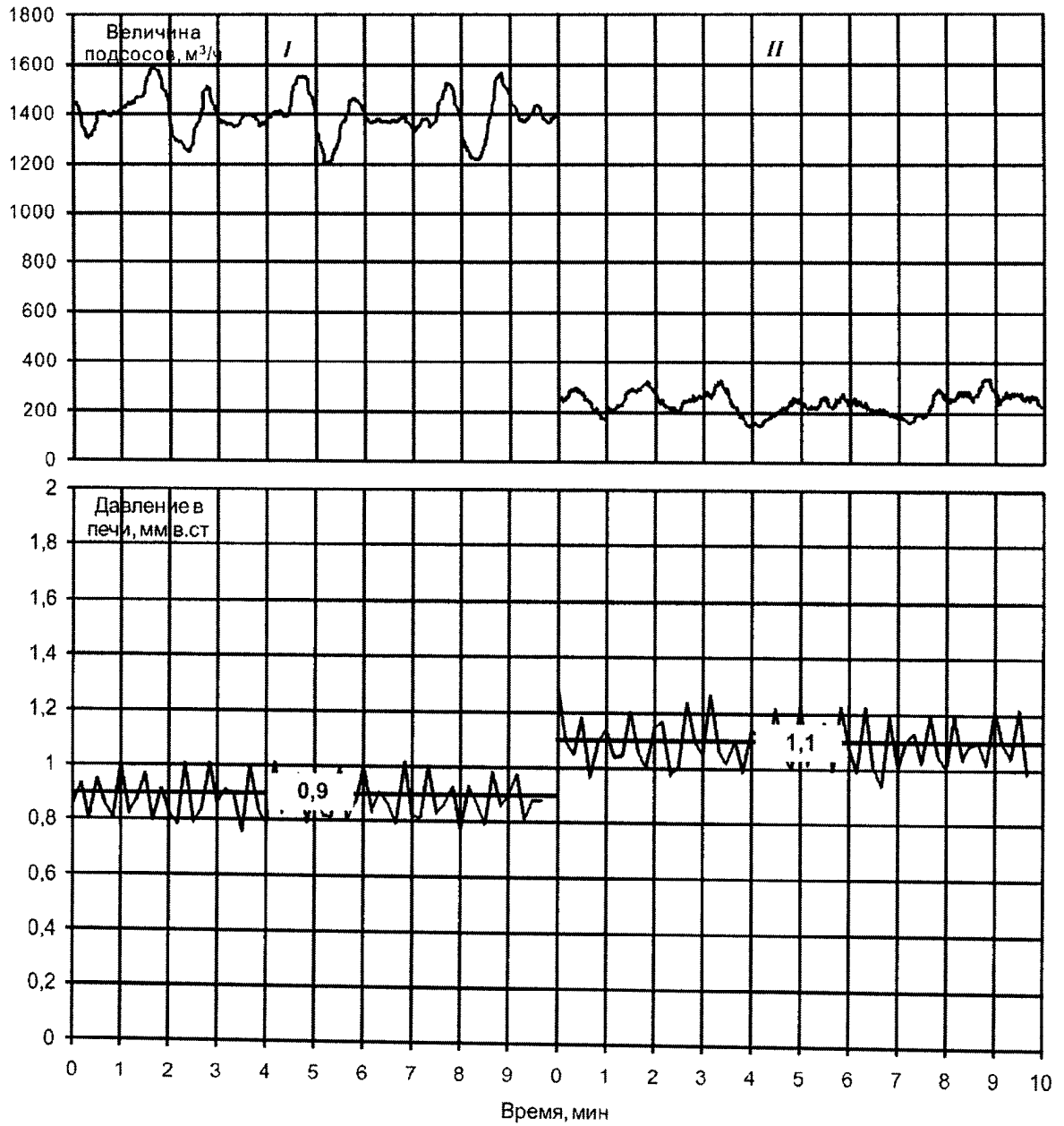


Рис. 2