



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014147929/02, 27.11.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.11.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.11.2014

(43) Дата публикации заявки: 20.06.2016 Бюл. № 17

(45) Опубликовано: 20.08.2016 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: (см. прод.)

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,  
Центр интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Лисиенко Владимир Георгиевич (RU),  
Маликов Герман Константинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уральский федеральный  
университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина" (RU)**(54) СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ В КОМПЛЕКСЕ "ПЕЧЬ ВАНЮКОВА - КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР"**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии и может быть использовано, например, в печи Ванюкова. Система дополнительно снабжена корректирующим регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь по температуре в котле-утилизаторе, датчиком температуры котла-утилизатора, установленным на границе между пароиспарительной и конвективной зонами котла-утилизатора, регулятором температуры в котле-утилизаторе по расходу охлаждающей воды в аптейк печи перед котлом-утилизатором, измерителем температуры котла-утилизатора с сигнализатором заданной температуры, переключателем датчика температуры, при этом датчик температуры связан с корректирующим

регулятором температуры, корректирующий регулятор температуры связан с регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь, переключатель датчика температуры связан с корректирующим регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь, регулятором температуры в котле-утилизаторе по расходу охлаждающей воды в аптейк печи перед котлом-утилизатором и измерителем температуры котла-утилизатора с сигнализатором заданной температуры. Использование изобретения обеспечивает стабильное протекание процессов плавления шихты, увеличивает стойкость и тепловую эффективность работы комплекса. 2 ил.

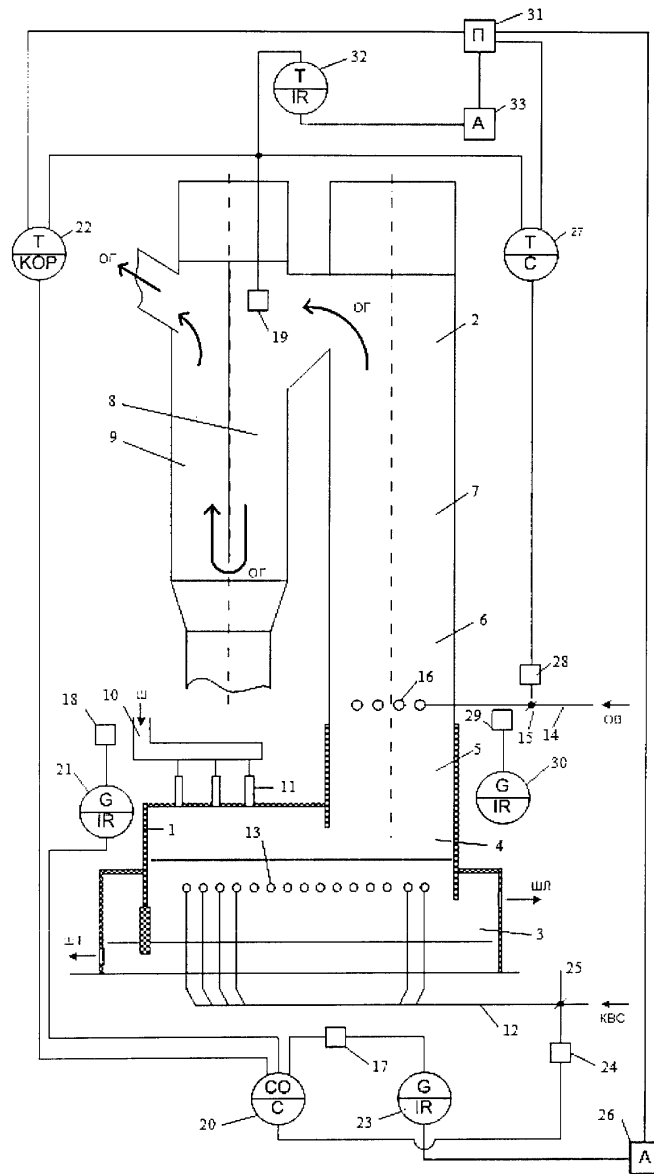


Рис. 2

(56) (продолжение):

RU 2484157 C2, 10.06.2013; SU 1788983 A3, 15.01.1993; SU 1581978 A1, 30.07.1990; RU 2422744 C2, 27.06.2011; RU 2241186 C1, 27.11.2004. US 4005856 A, 01.02.1977.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*F27B 17/00* (2006.01)  
*F27B 1/26* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014147929/02, 27.11.2014

(24) Effective date for property rights:  
27.11.2014

Priority:

(22) Date of filing: 27.11.2014

(43) Application published: 20.06.2016 Bull. № 17

(45) Date of publication: 20.08.2016 Bull. № 23

Mail address:

620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, UrFU, TSentr  
intellektualnoj sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Lisienko Vladimir Georgievich (RU),  
Malikov German Konstantinovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Uralskij federalnyj universitet  
imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Eltsina"  
(RU)

(54) **SYSTEM TO CONTROL THERMAL CONDITIONS IN VANUKOV FURNACE-HEAT RECOVERY BOILER UNIT**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: present invention relates to metallurgy and can be used, for example, in a Vanukov furnace. System is additionally equipped with a regulator to correct the ratio of charge/oxygen-air mixture depending on the temperature in the exhaust-heat boiler, a heat-recovery boiler temperature sensor installed on the boundary between the evaporation and convection zones of the heat-recovery boiler, a temperature control in the heat-recovery boiler depending on the flow of cooling water into the uptake of the furnace in front of the heat-recovery boiler, a device for measuring the temperature of the heat-recovery boiler with a preset temperature indicator, a temperature sensor switch, wherein the temperature sensor is connected to correcting temperature regulator, the correcting regulator temperature is connected to the regulator of the ratio of charge/oxygen-air mixture, the temperature sensor switch is connected to the correcting regulator of the ratio of charge/oxygen-air mixture, the regulator of the temperature in the heat-recovery boiler depending on the flow of cooling water into the uptake of the furnace in front of the heat-recovery boiler and the device to measure the temperature in the heat-recovery boiler with a preset temperature indicator.

EFFECT: use of the invention ensures stable processes of charge melting, increases the resistance and heat efficiency of the system operation.

1 cl, 2 dwg

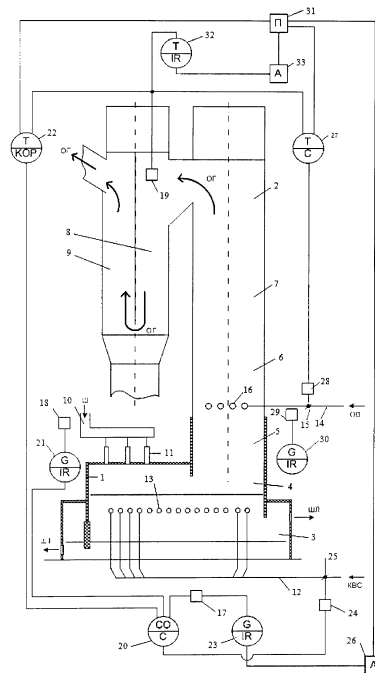


Fig. 2

RU 2 595 188 C2

RU 2 595 188 C2

Изобретение относится к области металлургии и может быть использовано при выплавке медного штейна в печах автогенной плавки, в частности в печах Ванюкова.

Известны автоматизированные системы управления (АСУ) печи Ванюкова [1, 2]. При этом основное внимание уделяется содержанию меди в штейне и отмечается, что  
5 разброс содержания меди явно не зависит ни от каких управляющих переменных, в том числе расходов кислородно-воздушной смеси (КВС). В связи с этим предлагается для управления процессом плавки использование экспертных систем.

Однако недостатком данной АСУ является неучет дискретного запаздывающего характера контроля содержания меди и серы в шихте при заданном массовом расходе  
10 шихты, а также неучет влияния этого колебания на тепловую работу котла-утилизатора (КУ).

В работе [3] рекомендовано расход КВС рассчитывать при заданной среднебалансовой концентрации серы в шихте, определяемой методом материального баланса. При этом также не учитываются изменения концентрации серы в шихте при  
15 заданном массовом расходе шихты.

Однако практика работы печей Ванюкова на целом ряде предприятий показывает, что концентрация серы в шихте существенно изменяется во времени.

На рис. 1 приведен характерный пример колебаний концентрации серы в шихте печи Ванюкова во времени по данным одного из предприятий [4].

Известна также система управления плавкой медно-никелевого сульфидного сырья в печи Ванюкова, в которой в качестве основного параметра принимают также  
20 содержание меди в штейне, а компенсацию времени дискретного запаздывания контроля осуществляют путем введения расчетного эквивалентного времени [5]. Однако недостатком этой системы является неопределенность и изменчивость входящих в  
25 расчетную формулу величин и требуется их постоянная и также дискретная корректировка.

Кроме того, управление технологическим процессом не увязывается с работой котла-утилизатора, в частности не учитывается влияние колебания серы в шихте на ход  
технологического процесса и, главное, на стойкость элементов печи и котла-утилизатора.

Практика работы печи Ванюкова и проведенное математическое моделирование  
30 показывают, что при увеличении концентрации серы выше расчетной среднемассовой неучет колебаний концентрации серы приводит к недостатку кислорода для выгорания серы, выносу недожженной серы за пределы плавильной ванны в аптейк печи и ее дожиганию в аптейке за счет дополнительно подаваемого кислорода на дожиг. Это, в  
35 свою очередь, приводит к увеличению температуры отходящих газов на входе в КУ до температур 1400-1500°C и выше.

Эти недопустимые по установленным техническим условиям работы КУ превышения температуры отходящих газов приводят к резкому увеличению тепловых потоков на  
поверхности котла и, соответственно, температур этих поверхностей. Возникают  
40 аварийные ситуации при прогаре тепловоспринимающих поверхностей в радиационной и конвективной зонах КУ. Эти ситуации особенно опасны в связи с попаданием воды на ванну печи, что приводит к хлопкам и даже взрывам с разрушением конструкций и угрозой для жизни обслуживающего персонала.

Кроме того, в случае недостатка кислорода в ванне печи при увеличении содержания  
45 серы в шихте нарушаются условия стабильного протекания технологического процесса. Это приводит к тепловому дисбалансу ванны печи, снижению тепловой эффективности и производительности. Дожигание серы над ванной и в аптейке приводит к ухудшению стойкости элементов самой печи.

Таким образом, известна система управления печи Ванюкова, принятая за прототип [5].

Однако недостатком этой системы является неучет колебаний концентрации серы в используемой для плавки шихте, что нарушает стабильное протекание технологического процесса. Это приводит к снижению тепловой эффективности и производительности печи, ухудшению стойкости элементов печи и КУ, возникновению аварийных ситуаций.

Техническим результатом настоящего изобретения является стабилизация теплового режима в системе «печь Ванюкова - котел-утилизатор», что обеспечивает постоянство температуры отходящих газов печи на входе в котел-утилизатор на допустимом уровне 1300-1350°C с повышением

производительности печи и стойкости ее элементов и КУ и предотвращением аварийных ситуаций.

Технический результат изобретения достигается тем, что представлена система управления тепловым режимом в комплексе «печь Ванюкова - котел-утилизатор», содержащая расходомер шихты, выполненный с возможностью размещения в устройстве подачи шихты, расходомер кислородно-воздушной смеси, выполненный с возможностью установки в фурме для ввода кислородно-воздушной смеси под ванну печи, регулятор соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь, связанный с расходомером шихты, расходомером кислородно-воздушной смеси и через исполнительный механизм регулирования расхода кислородно-воздушной смеси с регулирующим органом расхода кислородно-воздушной смеси, и расходомер охлаждающей воды, выполненный с возможностью установки в трубопроводе ввода охлаждающей воды в аптечку печи, отличающаяся тем, что она снабжена термопарой, выполненной с возможностью размещения на границе между пароиспарительной и конвективной зонами котла-утилизатора, корректирующим регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь по температуре в котле-утилизаторе, корректирующим регулятором температуры в котле-утилизаторе по расходу охлаждающей воды, связанным через исполнительный механизм подачи охлаждающей воды с регулирующим органом расхода охлаждающей воды, измерителем температуры с сигнализатором заданной температуры, переключателем корректирующих регуляторов и сигнализатором максимального расхода кислородно-воздушной смеси, при этом выход термопары связан со входом упомянутого измерителя температуры и со входом упомянутого корректирующего регулятора соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь, выход которого соединен с регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь, а упомянутый сигнализатор заданной температуры и выход расходомера кислородно-воздушной смеси через сигнализатор максимального расхода кислородно-воздушной смеси подключены к переключателю корректирующих регуляторов, который связан соответственно с корректирующим регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь и с корректирующим регулятором температуры в котле-утилизаторе по расходу охлаждающей воды.

При этом очевидно, что непосредственное использование в качестве регулирующего параметра собственно концентрации серы в шихте в реальном времени затруднено из-за сравнительно длительного, дискретного характера процесса анализа содержания серы, появлением в связи с этим значительного запаздывания в системе регулирования и увеличением колебаний по выносу недожженной серы над ванной печи.

Таким образом, представительным регулируемым параметром в этой ситуации, непосредственно отражающим режим выноса серы и ее дожигания в аптечке, являются температура отходящих газов в аптечке и на входе котла-утилизатора. Однако из-за

наличия высоких температур и значительной запыленности отходящих газов в этих зонах невозможно добиться приемлемой для непрерывного автоматического регулирования стойкости термопар при их размещении на входе в котел-утилизатор. В то же время установка термопары на границе между пароиспарительной и конвективной зонами котла-утилизатора отражает достаточно представительную информацию о температурном режиме и обеспечивает, как показывает практика, длительную стабильную работоспособность и эксплуатацию термопары. Проведение расчетов и математическое моделирование показало, что при проектной температуре на входе в котел-утилизатор отходящих газов 1300-1350°C температура на границе между его пароиспарительной и конвективной зонами составляет 700-800°C, что и принято в качестве уставки для регуляторов температуры. Превышение этой температуры свидетельствует о росте температуры отходящих газов на входе в котел-утилизатор и вероятности аварийных ситуаций, температура ниже этого диапазона приводит к тепловой недогрузке котла и снижению его паропроизводительности. Основой предлагаемой системы управления является установка корректирующего регулятора с датчиком температуры на границе пароиспарительной и конвективной зон котла-утилизатора, что обеспечивает корректировку соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь в случае колебания концентрации серы в шихте относительно средних значений и предотвращает возможность возникновения аварийных ситуаций.

Подстраховочным элементом системы управления является дополнительная подсистема с регулятором температуры и регулирующим воздействием в виде подачи охлаждающей воды в аптейк печи. Ее подключение к регулированию температуры котла-утилизатора происходит в случае исчерпания возможностей по снижению температуры в котле за счет корректирования соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь вследствие достижения максимального значения расхода кислорода. Подача охлаждающей воды является именно запасным вариантом, так как при этом имеют место значительно неравномерные поля температур на входе в котел и снижение его тепловой эффективности.

Для реализации этой запасной подсистемы управления установлен сигнализатор достижения максимального расхода кислородно-воздушной смеси в процессе регулирования температуры и связанного с ним переключателя на подсистему регулирования температуры по расходу охлаждающей воды. Также установлен сигнализатор поддержания температуры в заданном пределе 700-800°C.

Данная система на примере печи Ванюкова представлена на рис. 2. Она включает в себя рабочее пространство печи 1, котел-утилизатор 2, плавильную ванну 3 с выпуском шлака ШЛ и штейна ШТ, надваннное пространство 4, аптейк печи 5, радиационную зону котла-утилизатора 6, пароиспарительную зону котла-утилизатора 7, нисходящие и восходящие участки 8 и 9 конвективной зоны, устройство подачи шихты 10, устройство ввода шихты в рабочее пространство и ванну печи 11, коллектор подачи кислородно-воздушной смеси 12, кислородно-воздушные фурмы 13, трубопровод подачи охлаждающей воды в аптейк печи 14 регулирующим органом подачи воды 15, форсунками для ввода воды в аптейк печи 16, расходомер кислородно-воздушной смеси 17, 23, расходомер шихты 18, 21, термопару на границе пароиспарительной и конвективной зон котла-утилизатора 19, регулятор соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь 20, корректирующий регулятор соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь по температуре в котле-утилизаторе 22, исполнительный механизм регулирования расхода кислородно-воздушной смеси 24, регулирующий орган расхода

кислородно-воздушной смеси 25, сигнализатор максимального расхода кислородно-воздушной смеси 26, регулятор температуры в котле-утилизаторе по расходу охлаждающей воды 27, исполнительный механизм расхода охлаждающей воды 28, расходомер охлаждающей воды 29, 30, переключатель корректирующего регулятора соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь на регулятор температуры по расходу охлаждающей воды 31, измеритель температуры 32, сигнализатор 33 установления температуры в пределах задания 700-800°C.

Ш - шихта, КВС - кислородно-воздушная смесь, ОВ - охлаждающая вода, ОГ - отходящие газы, ШЛ - шлак, ШТ - штейн, Со - соотношение, С - регулятор, G - расход, IR - прибор показывающий и записывающий, Т - температура, кор - корректирующий регулятор, КВС - кислородно-воздушная смесь.

Система работает следующим образом. В рабочее пространство печи 1 через надванное пространство 4 в ванну печи 3 подается шихта. При этом используется устройство подачи шихты 10 и устройство ввода шихты в рабочее пространство и ванну печи 11. В рабочее пространство 1, в частности в ванну печи 3, подается кислородно-воздушная смесь (КВС) через коллектор 12 и фурмы 13. К аптечку печи подведен также трубопровод подачи охлаждающей воды в аптечку печи 14 и установлены форсунки для ввода воды 16. Соотношение шихта/кислородно-воздушная смесь обеспечивается регулятором соотношения 20 с использованием расходомера шихты 18, 21 и расходомера КВС 17, 23. Температура котла-утилизатора на границе пароиспарительной и конвективной зон измеряется термопарой 19. Выход термопары 19 соединен с входом корректирующего регулятора 22, который корректирует задание регулятору соотношения 20 при отклонении заданной температуры в корректирующем диапазоне 700-800°C. Выход расходомера КВС 17, 23 соединен с входом сигнализатора 26, который срабатывает при достижении максимально возможного расхода КВС и обеспечивает переключение корректирующего регулятора 22 на регулятор температуры 27. Регулятор температуры 27 через исполнительный механизм 28 и регулирующий орган 15 обеспечивает регулирование температуры уже за счет расхода охлаждающей воды. Выход термопары 19 соединен с входом измерителя температуры 32, снабженного сигнализатором 33. При установлении температуры в пределах задания 700-800°C сигнализатор 33 переключает регулятор температуры 27 обратно на корректирующий регулятор 22 и в обычном режиме регулирование температуры в котле-утилизаторе осуществляется с использованием корректирующего регулятора 22 и регулятора соотношения 20.

Предлагаемая система может быть применена и на плавильных печах черной металлургии, работающих в режиме ПЖВ (плавка в жидкой ванне), в частности при выплавке чугуна в печах типа РОМЕЛТ, снабженных котлом-утилизатором. При этом обеспечивается стабилизация работы печи и котла-утилизатора при колебании содержания углерода в применяемом восстановителе.

Таким образом, использование данной системы управления обеспечивает стабильное протекание процессов плавления шихты в печах Ванюкова, учитывает колебания концентрации серы в шихте, увеличивает стойкость и теплоэффективность работы печи и котла-утилизатора, предотвращает аварийные режимы работы комплекса печь Ванюкова - котел-утилизатор.

#### ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Спесивцев А. Интеллектуальная АСУ печи Ванюкова. Control Engineering, 2013. No. 3.

2. Спесивцев А. Интеллектуальная АСУ печи Ванюкова. <http://summatechnology.ru/>

Publications/intellektualnaya\_asu\_pechi\_vanukova.shfml.

3. Рогова Л.Н. Metallургические расчеты. Учебное пособие. Норильский индустриальный институт. - Норильск: НИИ, 2007. - 154 с.

4. Вернигора А.С., Казанцев А.Н., Красильников Ю.В. [и др.]. Анализ показателей 5 печи Ванюкова на ОАО СУМЗ с целью стабилизации режимов плавки. // Цветная металлургия, №3, 2008. - с. 24-28.

5. Кадыров Э.Д., Васильева Н.В. Способ управления плавкой медно-никелевого сырья в печи Ванюкова при дискретном запаздывающем контроле продуктов плавки. Патент на изобретение РФ №2484157. Заявл. 28.07.2011; опубл. 10.06.2013.

10

#### Формула изобретения

Система для управления тепловым режимом в комплексе «печь Ванюкова - котел-утилизатор», содержащая расходомер шихты, выполненный с возможностью размещения в устройстве подачи шихты, расходомер кислородно-воздушной смеси, 15 выполненный с возможностью установки в фурме для ввода кислородно-воздушной смеси под ванну печи, регулятор соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь, связанный с расходомером шихты, расходомером кислородно-воздушной смеси и через исполнительный механизм регулирования расхода кислородно-воздушной смеси с регулирующим органом расхода кислородно-воздушной смеси, и расходомер 20 охлаждающей воды, выполненный с возможностью установки в трубопроводе ввода охлаждающей воды в аптейк печи, отличающаяся тем, что она снабжена термопарой, выполненной с возможностью размещения на границе между пароиспарительной и конвективной зонами котла-утилизатора, корректирующим регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь по температуре в котле-утилизаторе, 25 корректирующим регулятором температуры в котле-утилизаторе по расходу охлаждающей воды, связанным через исполнительный механизм подачи охлаждающей воды с регулирующим органом подачи охлаждающей воды, измерителем температуры с сигнализатором заданной температуры, переключателем корректирующих регуляторов и сигнализатором максимального расхода кислородно-воздушной смеси, при этом 30 выход термопары связан со входом упомянутого измерителя температуры и со входом упомянутого корректирующего регулятора соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь, выход которого соединен с регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь, а упомянутый сигнализатор заданной температуры и выход расходомера кислородно-воздушной смеси через сигнализатор максимального расхода 35 кислородно-воздушной смеси подключены к переключателю корректирующих регуляторов, который связан соответственно с корректирующим регулятором соотношения шихта/кислородно-воздушная смесь и с корректирующим регулятором температуры в котле-утилизаторе по расходу охлаждающей воды.

40

45



**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ  
В КОМПЛЕКСЕ  
«ПЕЧЬ ВАНЮКОВА – КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР»**

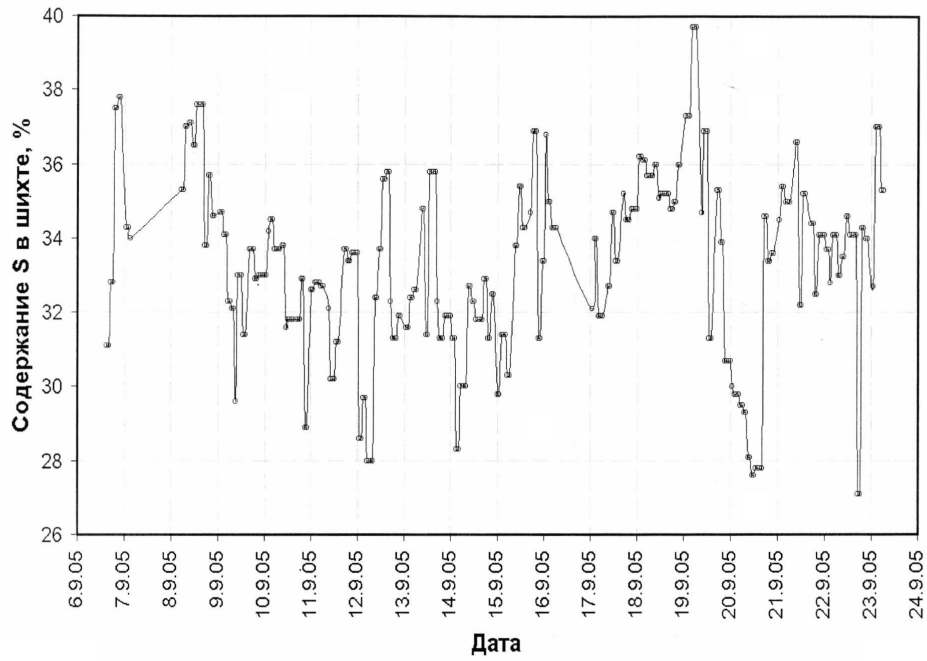


Рис. 1.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ  
 В КОМПЛЕКСЕ  
 «ПЕЧЬ ВАНЮКОВА — КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР»

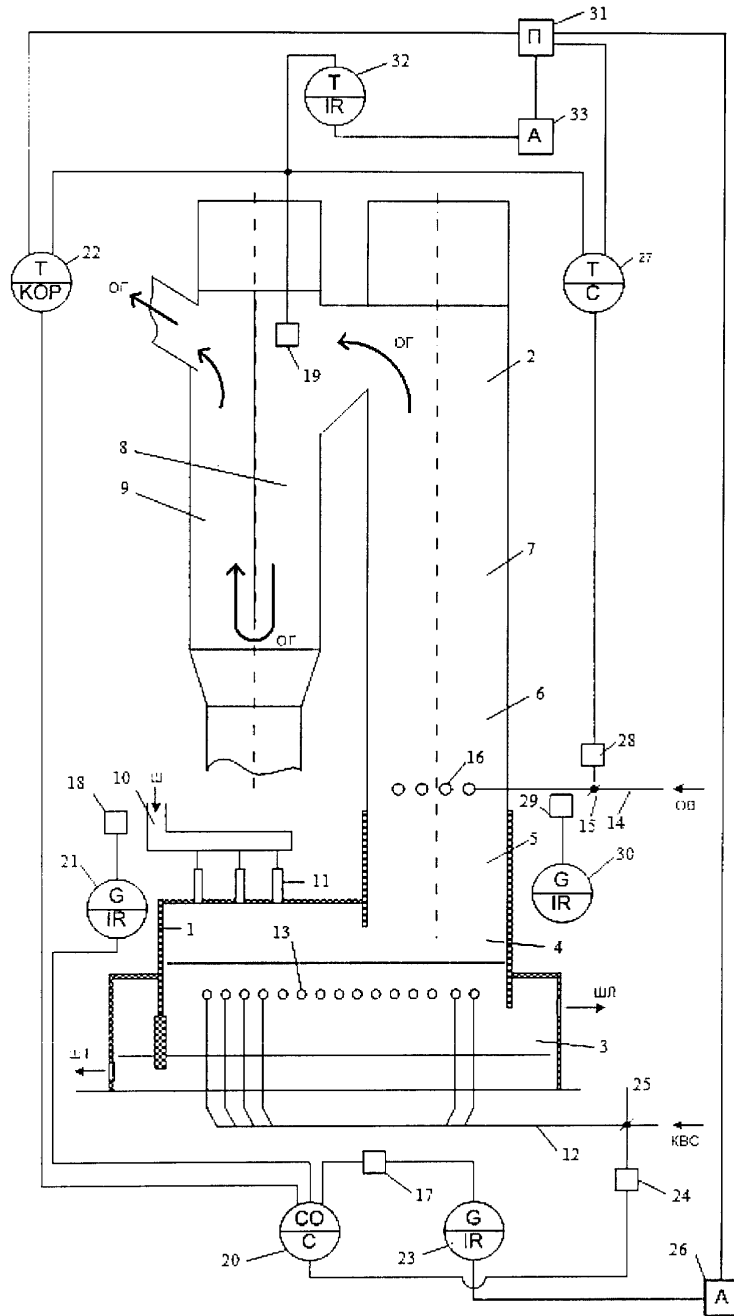


Рис. 2