

Тараненко Максим Евгеньевич^{1,2*}, канд. техн. наук, **Казанцев Антон Александрович**^{2,3}, канд. техн. наук

¹АО «Лебединский ГОК», 309191, Россия, Белгородская обл., г. Губкин, промышленная зона, промплощадка ЛГОКа

²Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Губкине, 309186, Россия, Белгородская обл., г. Губкин, ул. Комсомольская, 16

³СТИ НИТУ «МИСиС», 309516, Россия, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, д. 42

* E-mail: taranenko@yandex.ru

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»



Информация о статье

Поступила:

16 апреля 2021 г.

Рецензирование:

20 июня 2021 г.

Принята к печати:

26 октября 2021 г.

Ключевые слова:

сушильный барабан, регулирование, адаптивная система управления, оптимизация процесса горения

Аннотация.

Одним из важнейших переделов обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» является комплекс сушки концентрата цеха №4 обогатительной фабрики. Вопрос оптимизации тепловых режимов сушильных барабанов, в частности максимизации производительности и минимизации расхода топлива (природного газа), имеет существенное экономическое и практическое значение.

Основная идея работы состоит в создании адаптивной автоматизированной системы оптимизации процесса горения топлива сушильного барабана с использованием метода оценки состава продуктов горения в отходящих газах.

Предложено техническое решение, позволяющее оптимизировать расход газа при максимальной производительности сушильных барабанов комплекса сушки концентрата обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК».

Для цитирования: Тараненко М.Е., Казанцев А.А. Разработка адаптивной системы управления сушильного барабана обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 5 (157). – С. 51-56 – DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-51-56

Основной объем вредных выбросов в атмосферу техногенного характера составляют продукты сжигания топлива на предприятиях энергетики, ЖКХ, промышленного и горного производства [1-6], в том числе таких гигантов, как АО «Лебединский ГОК». С другой стороны, производственные технологии постоянно модернизируются, растут требования к системам оптимизации затрат на использование энергии органического топлива [8, 14, 15], поэтому разработка адаптивной системы управления сушильного барабана для ОФ АО «Лебединский ГОК» является актуальной.

Технология сушки железорудного концентрата

В цехе № 4 по производству высококачественного концентрата и отгрузке концентрата осуществляется:

- производство концентрата железорудного с массовой долей железа более 69,5% (участок дообогатения, подготовки концентрата для цеха ГБЖ);

- производство концентрата железорудного (сушеного) (участок по производству сушеного концентрата);

- складирование и отгрузка железорудных концентратов на ФОК и в вагоны РЖД (участок отгрузки и производства высококачественного концентрата).

В цехе 4 на участке по производству сушеного концентрата для обезвоживания концентрата до 3% влажности применяется технология сушки концентрата. Сушка – процесс обезвоживания материала, основанный на испарении влаги в окружающую среду при нагревании. Процесс сушки железорудного концентрата включает в себя стадию сушки влажного продукта в барабанной конвективной сушилке и стадию очистки отходящих газов.

Сушка материала осуществляется непрерывным прямотоком топочными газами во вращающемся барабане, установленном с наклоном 3° в сторону разгрузки. Передача тепла от теплоносителя к материалу осуществляется конвекцией, излучением от стен барабана и теплопроводностью при непосредственном контакте частиц концентрата со стенками барабана.

Преобладающим в барабанной сушилке является конвективный теплообмен. При движении материала по сушилке происходит испарение влаги из частиц концентрата. В последней секции сушилки потоки материала и теплоносителя разделяются с помощью секторной насадки и выводятся в камеру выгрузки.

Сушеный концентрат поступает в нижнюю часть камеры и выводится на конвейер, а сушильный агент поднимается вверх, увлекая за собой часть мелких пылевидных частиц, и поступает в систему газоочистки.

В качестве теплоносителя (сушильного агента) в сушилке используется природный газ, разбавленный воздухом до заданной температуры. Для сжигания топлива в топочную камеру одним вентилятором нагнетается воздух. Второй вентилятор подает воздух для разбавления продуктов горения. Полученная смесь направляется прямотоком с высушиваемым материалом по сушилке барабанной, насыщается парами воды и выводится в систему газоочистки.

Технология обезвоживания железорудного концентрата включает две технологические операции:

- операция обезвоживания концентрата в сушильном барабане;
- операция очистки отходящих газов.

Сырье – концентрат железорудный, крупностью 0,034 мм 77-85% и с исходным содержанием влаги

10,2% подается в загрузочное устройство сушильного барабана. Обезвоживание железорудного концентрата производится постоянно прямым потоком смешанных горючих газов в соответствии с технологическим регламентом сушильного барабана. В процессе сушки концентрата должна поддерживаться температура отходящего потока смешанных горючих газов сушки в автоматическом режиме.

Сухой железорудный концентрат с содержанием влаги не более 3,0 +0,5% и температурой не более 85°C выгружается из устройства разгрузки сушильного барабана.

Отходящие газы с температурой в пределах 100...150°C и с содержанием пыли до 26,85 г/м³ подаются на двухстадийную систему очистки газа: первая стадия – оборудование циклонного типа, вторая стадия – оборудование типа скруббер Вентури. Уловленная после группы первой стадии пыль возвращается в готовый продукт.

Пыле-газоочистка обеспечивает требуемую (заданную) концентрацию мелкодисперсной пыли в газах после очистки, которая выбрасывается в атмосферу с концентрацией не более 49 мг/м³.

Технологическая схема сушильного барабана №1 УППСК Цеха №4 обогатительной фабрики представлена на рисунке 1, технические характеристики процесса сушки концентрата приведены в таблице 1.

Для безаварийной работы комплекса сушки должен постоянно производиться автоматический контроль и управление технологическим процессом обезвоживания концентрата.

Требования к подготовке и запуску топки в работу: необходимо убедиться в готовности горелочного устройства и дымососа, т.е. проверить наличие

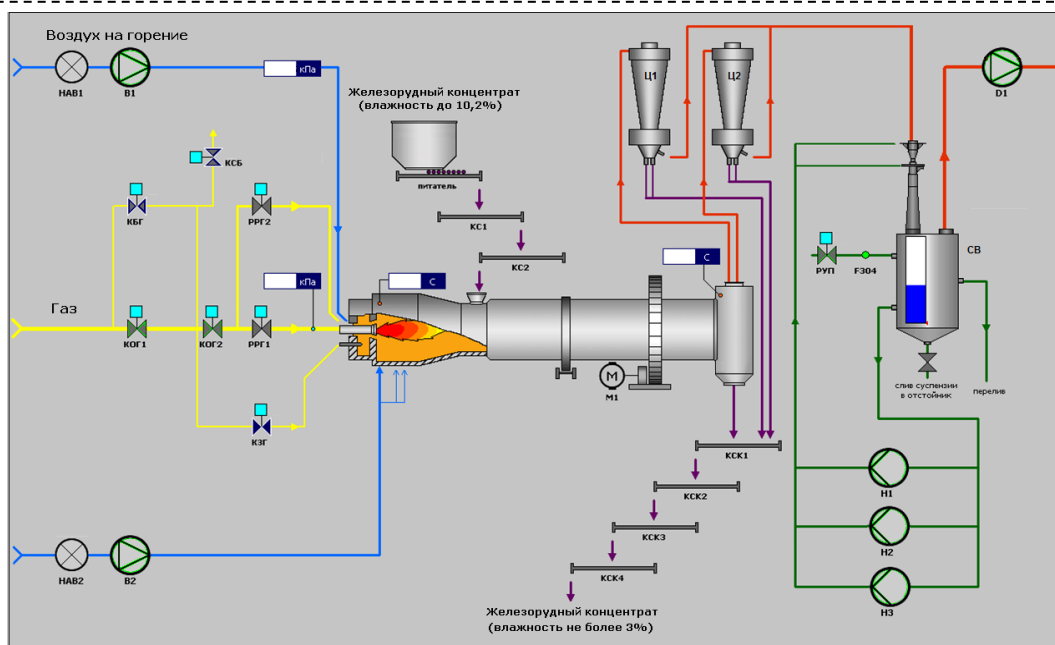


Рис. 1. Схема цепи аппаратов сушильного барабана №1:

Ц1, Ц2 – циклоны для 1-ой ступени сухой очистки отходящих газов от мелкодисперсных примесей железорудного концентрата; СВ – скруббер Вентури; В1, В2 – вентиляторы для подачи воздуха в топочную камеру сушильного барабана на горение и разбавление; Д1 – дымосос для отсоса отходящих газов; Н1, Н2, Н3 – насосы

Fig. 1. Circuit of drying drum apparatus №1:

Ц1, Ц2 – cyclones for 1-st step dry cleaning of exhaust gases from fine impurities of iron ore concentrate; СВ – Venturi scrubber; В1, В2 – air supply fans into the furnace chamber of drying drum for combustion and dilution; Д1 – flue gas exhaust system; Н1, Н2, Н3 – pumps

Таблица 1. Технические характеристики процесса сушки концентрата
Table 1. Technical characteristics of the concentrate drying process

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Производительность по сушеному концентрату, т/ч	150
2	Процентное содержание влаги в исходном сырье, %, не более	10,2
3	Процентное содержание влаги в сушеном концентрате, %	3,0-3,5
4	Процентное содержание контрольного класса крупности – 0,045мм, %, не менее	88
5	Угол естественного откоса влажного исходного продукта, град.	39
6	Угол естественного откоса сухого продукта, град.	30
7	Насыпной вес влажного концентрата, т/ м ³	2,75
8	Насыпной вес сушеного концентрата, т/ м ³	2,38
9	Вид топлива горелки	Природный газ
10	Расчетный расход природного газа, м ³ /ч	1250
11	Расчетный расход воздуха на горение, н м ³ /ч	11940
12	Расчетный объемный расход воздуха на транспортировку топочных газов, н м ³ /ч	18280
13	Расчетный объемный расход воды на орошение скруббера, м ³ /ч	60
14	Расход воды на подпитку в систему мокрой очистки, м ³ /ч	10
15	Температура в топке, °С	850
16	Температура газов на выходе из сушильного барабана, °С	100...120
17	Температура сушеного концентрата на выходе из сушилки, не более, °С	90
18	Унос пыли в атмосферу с отходящим воздухом, не более, мг/м ³	50

давления газа и воздуха на горение и разрежения в топке.

При достижении в топке температуры 800-850°С производится подача материала. Разрежение в топке может сильно меняться за счет неравномерной подачи материала в загрузочное устройство. Технологический персонал должен контролировать температуру в топке, следить за давлением газа, воздуха и разрежением в топке.

При работе установки в режиме плановой производительности факел должен полностью заполнять топочную камеру и иметь яркий соломенный цвет. При недостатке воздуха пламя удлиняется и имеет темно-красный (желтый) цвет. При избытке воздуха пламя становится короче и приобретает бело-голубой цвет.

Запуск и останов топки производится путем подачи и прекращения подачи газа на горелку за счет вкл/выкл быстродействующих электромагнитных клапанов.

Система очистки отходящих газов

На первой ступени газоочистки отходящие газы под действием разрежения дымососа подаются на батарею гидроциклонов Ц1 и Ц2, работа которых основана на использовании центробежных сил, возникающих при вращении потока отходящих газов внутри корпуса агрегата. Вращение достигается путем углового ввода потока. В результате действия центробежных сил частицы пыли выпадают из потока. В циклоне Ц1 отвод уловленных частиц осуществляется через двойной клапан – мигалку, после которого материал выгружается на конвейер КСК1 готового продукта. Из циклона Ц2 частицы отводятся в дренажную канаву и далее насосами в ЦО1.

Очищенный поток из циклонов Ц1, Ц2 поступает на вторую ступень газоочистки – скруббер Вентури СВ, который состоит из трубы Вентури и сборника-каплеуловителя. В трубе Вентури осуществляется процесс дробления орошающей жидкости движущимся с большой скоростью пылегазовым потоком. В качестве орошающей жидкости используется

вода, подаваемая насосом Н1 и Н2 из сборника-каплеуловителя. Для поддержания уровня жидкости в сборник-каплеуловитель постоянно подводится вода, избыток жидкости в виде перелива выходит в гидрозатвор. Дымосос поддерживает разрежение в сушильном барабане и обеспечивает технологический процесс горения горелки и движение горячих газов и испаряемой влаги к разгрузочному устройству барабана.

Очищенный от твердых частиц воздух в скруббере Вентури выходит в атмосферу, а твердые частицы возвращаются в технологический процесс цеха обогащения №1 обогатительной фабрики.

Процесс сушки железорудного концентрата включает две стадии: собственно стадию сушки влажного продукта в барабанной конвективной сушилке и стадию очистки отходящих газов.

Исходный материал – железорудный концентрат крупностью 0,045 мм 88-96% и начальной влажностью до 10,2% – поступает в загрузочную камеру сушилки. Просушенный материал с влажностью не более 3,0 +0,5 % и температурой не более 90°С разгружается из камеры выгрузки.

Сушильный барабан – это энергоемкий, достаточно сложный динамический объект, работа которого зависит от нескольких внешних факторов.

Процесс оптимального сжигания топлива в топке сушильного барабана затруднен действием возмущений, основными из которых являются:

- 1) Изменчивость величины входной нагрузки сырья (влажный концентрат) при эксплуатации.
- 2) Изменчивость состава топлива (изменение calorificity газа).
- 3) Изменение температуры и влажности воздуха на горение.
- 4) Изменения характеристик горелок в процессе изменения их мощности.
- 5) Отсутствие контроля герметичности барабана (возможный подсос воздуха в зонах загрузки и выгрузки).

Регулирование соотношения «Воздух / Газ» сушильных барабанов ведется по режимным картам, настроенных на единственный режим при наладке.

Основы сжигания газа

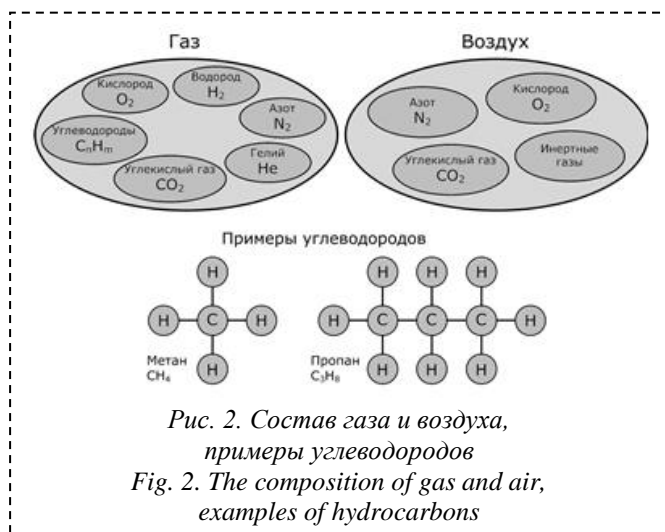


Рис. 2. Состав газа и воздуха, примеры углеводородов

Fig. 2. The composition of gas and air, examples of hydrocarbons

Состав газа и воздуха.

Газ и воздух представляют собой смесь нескольких химических веществ (рис. 2).

Горючими составляющими газа являются углеводородные соединения, водород и угарный газ. Эти составные части сгорают при участии кислорода воздуха.

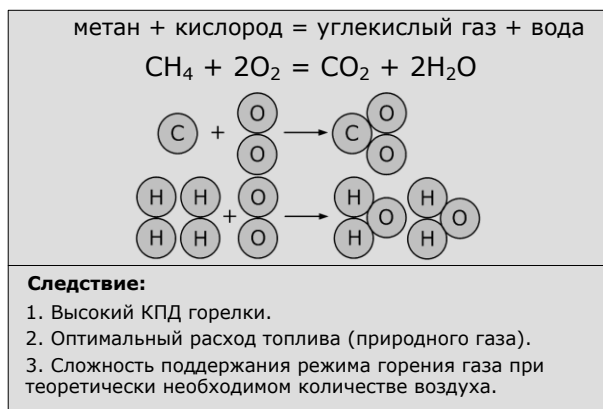


Рис. 3. Процесс полного сгорания газа

Fig. 3. The process of complete combustion

Полное сгорание газа.

При сгорании смеси газа и воздуха горючие составные части газа реагируют с кислородом воздуха (рис 3).

Полное сгорание характеризуется тем, что в реакции участвует такое количество кислорода, которое необходимо теоретически.

Сгорание газа при недостатке воздуха.

При недостатке воздуха углерод сгорает не полностью. В этом случае в результате реакции выделяется угарный газ.

Помимо выделения угарного газа может выделяться водород и образовываться сажа.

Из-за внешних возмущений (описанных выше) может возникнуть недостаток воздуха и образование вредных веществ, как следствие – перерасход энергоресурсов.

Для того, чтобы избежать этого, горелку настраивают на большее количество поступающего воздуха.

В этом случае сгорание происходит при избытке воздуха.

Однако сгорание при избытке воздуха характеризуется дополнительной потерей тепла.

Но этот избыток воздуха должен быть минимальным, чтобы потери тепла были наименьшими.

Коэффициент избытка воздуха α в топке – это отношение количества воздуха, действительно подаваемого в топку, к теоретически необходимому в топке.

$$\alpha = \frac{Q_{\text{возд.действ.}}}{Q_{\text{возд.теорет.}}}$$

Таким образом, с уменьшением избытка воздуха:

- увеличивается в процентном отношении содержание углекислого газа в дымовых газах;
- уменьшается в процентном отношении содержание несгоревших остатков кислорода в дымовых газах;
- увеличивается КПД благодаря уменьшению потерь тепла.

Условия оптимального сгорания газа:

- реакция горения полностью окислительная (отсутствие недостатка воздуха);
- минимальный избыток воздуха (остаточное содержание кислорода минимально).

Предлагаемое решение.

Наиболее перспективным методом определения текущих, постоянно меняющихся условий сжигания топлива в топке является метод оценки состава продуктов горения в отходящих газах с использованием стационарного газоанализатора (CO , O_2). Таким образом, существует возможность построения адаптивной системы, которая будет иметь возможность оперативно подстраивать коэффициент α (канал тонкой подстройки воздуха на горение) на основе оперативной информации с газоанализатора [8-].

Существующая система управления тепловым режимом каждого сушильного барабана состоит из следующих контуров управления:

- контур подачи газа;
- контур подачи воздуха;
- контур стабилизации температуры в топке сушильного барабана;
- контур стабилизации температуры на выходе сушильного барабана;

В состав существующей системы предлагается включить дополнительный контур управления – контур коррекции коэффициента избытка воздуха α (Рис. 4) [5, 6, 10, 12, 13], возможное конструктивное решение которого представлено на рис. 5 [11].

Таким образом, разработана структура подсистемы управления тепловым режимом сушильного

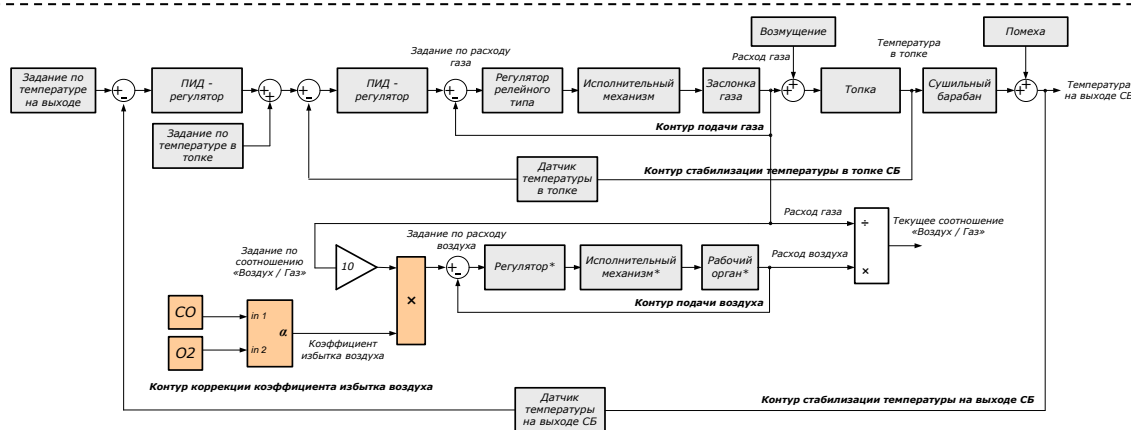


Рис. 4. Структура подсистемы управления тепловым режимом сушильного барабана с использованием метода контроля состава отходящих газов

Fig. 4. Structure of the subsystem for heat control of drying drum with controlling the composition of exhaust gases

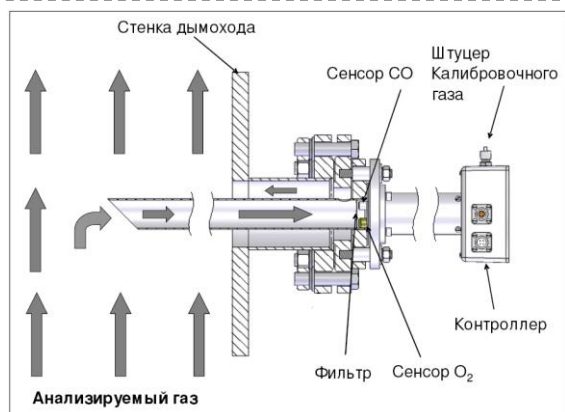


Рис. 5. Конструктивное решение процесса анализа отходящих газов

Fig. 5. design scheme for analysis of exhaust gases

барабана с адаптивной оптимизацией процесса горения топлива, в которой адаптация может осуществляться как автоматически, так и по запросу оператора.

Успешная реализация данного подхода адаптивного управления сушильным барабаном позволит:

- 1) точно вести процесс горения в топке сушильного барабана в оптимальном режиме;
- 2) повысить эффективность производства за счет сокращения удельного расхода энергоресурсов (снизить расход газа на 5-15%);
- 3) снизить предельно-допустимые выбросы вредных веществ (ПДВ) в атмосферу.

Сложности реализации данного подхода (риски):

- 1) отсутствие опыта использования устройств анализа отходящих газов на сушильных барабанах;
- 2) повышенные требования к надежности прибора анализа отходящих газов;
- 3) могут потребоваться более точные устройства регулирования подачи воздуха на горение;
- 4) технический проект с экспертизой промышленной безопасности.

Данная методология адаптивного управления может быть применима для таких классов объектов, как:

- Сушильные барабаны;
- Паровые и водогрейные котлы;
- Обжиговые машины;
- Промышленные печи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов В.А., Меркер Э.Э., Крахт Л.Н. Повышение эффективности дожигания горючих газов в дуговой сталеплавильной печи // Черная металлургия. Бюллетень

научно-технической и экономической информации. 2015. № 7 (1387). С. 61-64.

2. Уварова Л.В. Модернизация сушильной установки для приготовления бентонитовой глины на ФО АО «ЛГОК» // В сборнике: Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2016. С. 109-111.

3. Sabanin V.R., Starostin A.A., Repin A.I., Popov A.I. Study of connected system of automatic control of load and operation efficiency of a steam boiler with extremal controller on a simulation model // Thermal Engineering. 2017. Т. 64. № 2. С. 151-160.

4. Revun M.P., Zinchenko V.Y., Ivanov V.I., Cheprasov A.I. Optimal thermal control of a chamber furnace // Steel in Translation. 2018. Т. 48. № 8. С. 505-508.

5. Zykov A., Junin V. Automatic control system for the drum dryer // The Scientific Heritage. 2020. № 49-2 (49). С. 64-66.

6. Hammer F., Weber H. Sensorgesteuerte CO-Regelung zur Optimierung des Verbrennungsprozesses für Feuerungsanlagen kleiner und mittlerer Leistung // LAMTEC Meß- und Regeltechnik für Feuerungen GmbH & Co KG, Druckschrift Nr. DLT 5014.06aD. 0001.

7. Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Ляховец М.В., Венгер К.Г., Леонтьев И.А., Мелкозеров М.Ю. Развитие автоматизированной системы управления технологическими процессами обогатительной фабрики // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 316-323.

8. Тележко Г.М., Ягов Г.В. Газоанализаторы для современных ресурсоэнергосберегающих систем в теплоэнергетике и теплоснабжении / Энерго-надзор-Информ. № 4. 2008. С. 62-64.

9. Паранин А.Д., Тележко В.М., Тютчев М.В., Хойна Е.В. Электрохимический сенсор для контроля концентрации HCN в воздухе рабочей зоны // Датчики и системы. 2016. №12. С. 49-54.

10. Тележко Г.М., Хойна Е.В., Ягов Г.В. Новый подход к оптимизации режимов горения топлива // Энергонадзор-Информ. № 1. 2008. С. 26-28.

11. Тележко Г.М., Хойна Е.В. Использование газоанализаторов для оптимизации режимов горения топлива // Новости теплоснабжения. №4. 2015. С. 27-31.

12. Газоанализаторы многокомпонентные «ОПТИМА». Руководство по эксплуатации, ЛШНОГ.413411.014 РЭ. Санкт-Петербург. 2004 г.

13. Газоанализаторы многокомпонентные «АНГОРС». Руководство по эксплуатации, ЛШНОГ.413411.021 РЭ. Санкт-Петербург. 2011 г.

14. Денисов А.Ю. Внедрение автоматизированного электропривода в систему «шламовый насос-гидроциклон» на Балхашской обогатительной фабрике // В сборнике: Автоматизация, мехатроника, информационные технологии. Материалы VI международной научно-технической интернет-конференции молодых ученых. 2016. С. 27-30.

15. Михайленко В.С., Харченко Р.Ю. Синтез интеллектуальной системы автоматического управления процессом горения топлива в энергоблоках тепловых электростанций // Пром. теплотехника, 2012, т. 34. №5. С. 45-52.

Maksim Taranenko^{1,2*}, C. Sc. in Engineering, **Anton Kazantsev**^{2,3}, C. Sc. in Engineering

¹ JSC Lebedinsky GOK, 309191, Russia, Belgorod region, Gubkin, industrial zone, industrial platform of Lebedinsky GOK

² Gubkin branch of NUST «MISiS», 309186, Russia, Belgorod region, Gubkin, Komsomolskaya str. 16

³ Stary Oskol branch of NUST «MISiS», 309516, Russia, Belgorod region, Stary Oskol, Makarenko comm. 42

*E-mail: taranenko@yandex.ru

DEVELOPMENT OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR DRYING DRUM IN ORE-PROCESSING PLANT JSC «LEBEDINSKY GOK»



Article info

Received:

16 April 2021

Revised:

20 June 2021

Accepted:

26 October 2021

Keywords: drying drum, adjustment, adaptive control system, optimization of the combustion process.

Abstract.

One of the most important redistributions at ore-processing plant JSC Lebedinsky GOK is a concentrate drying complex. The issue of optimizing the thermal modes of drying drums, in particular maximizing productivity and minimizing fuel consumption (natural gas), has a significant economic and practical value.

Basic idea of the paper is creation of an adaptive automated system for optimizing the combustion process of the fuel of a drying drum, using the method for evaluating the composition of combustion products in exhaust gases.

The technical solution has been proposed that allows us to optimize gas consumption at the maximum productivity of the drying drums of the concentrate drying complex of the ore-concentration plant of JSC "Lebedinsky GOK"

For citation Taranenko M.E., Kazantsev A.A. Development of adaptive control system for drying drum in ore-processing plant JSC «Lebedinsky GOK». Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.5 (157), pp. 51-56. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-5-51-56

REFERENCES

1. Stepanov V.A., Merker E.E., Krakht L.N. (2015) Improving the efficiency of the afterburning of combustible gases in a steel furnace. Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information, 7(1387):61
2. Uvarova L.V. (2016) Modernization of the drying machine for the preparation of bentonite clay at ore-processing plant JSC Lebedinsky GOK. Proceedings of XIII All-Russian scientific and practical conference with international participation "Modern problems of the mining and metallurgical complex. Science and manufacturing", pp. 109-111.
3. Sabanin V.R., Starostin A.A., Repin A.I., Popov A.I. (2017) Study of connected system of automatic control of load and operation efficiency of a steam boiler with extremal controller on a simulation model. Journal of Thermal Engineering., 64.vol 2:151.
4. Revun M.P., Zinchenko V.Y., Ivanov V.I., Cheprasov A.I. (2018) Optimal thermal control of a chamber furnace. Steel in Translation, 48, vol. 8: 505-508.
5. Zykov A., Junin V. (2020) Automatic control system for the drum dryer. The Scientific Heritage, 49-2 (49):64.
6. Hammer F., Weber H. Sensorgesteuerte CO-Regelung zur Optimierung des Verbrennungsprozesses für Feuerungsanlagen kleiner und mittlerer Leistung. LAMTEC Meß- und Regeltechnik für Feuerungen GmbH & Co KG, Druckschrift Nr. DLT 5014.06aD_0001.
7. Myshlayev L.P., Makarov G.V., Lyakhovets M.V., Venger K.G., Leont'ev I.A., Melkozerov M.Yu. (2018) Development of an automated control system for technological pro-

cesses of the ore-concentration plant. Science-intensive technologies for the development and use of mineral resources, 4:316.

8. Telezhko G.M., Yagov G.V. (2008) Gas analyzers for modern resource-and-energy-saving systems in heat power engineering and heat supply. Energonadzor-Inform, 4:62.

9. Pararin A.D., Telezhko G.M., Tyutchev M.V., Khoyna E.V. (2016) Electrochemical sensor for monitoring the concentration of HCN in the air of the working area. Sensors and systems, 12:49.

10. Telezhko G.M., Khoyna E.V., Yagov G.V. A new approach to optimizing fuel combustion modes. Energonadzor-Inform, 1:26.

11. Telezhko G.M., Khoyna E.V. (2015) Using gas analyzers to optimize fuel combustion modes. Heat supply news, 4:27.

12. Multicomponent gas analyzers "OPTIMA". Operation manual, LSHYUG.413411.014 OM. St. Petersburg, 2004.

13. Multicomponent gas analyzers "ANGOR-S". Operation manual, LSHYUG.413411.021 OM. St. Petersburg, 2011.

14. Denisov A.Yu. (2016) Introduction of an automated electric drive into the "slurry pump-hydrocyclone" system at the Balkhash concentrating plant. Proceedings of VI International scientific and technical Internet conference of young scientists "Automation, mechatronics, information technologies", pp. 27-30.

15. Mikhailenko V.S., Kharchenko R.Yu. (2012) Synthesis of an intelligent system for automatic control of the fuel combustion process in power units of thermal power plants. Industrial heating technology, 34, vol.5:45.