

З. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. – М. – Ленинград: 1959. – 536 с.

УДК 621.742.52

В. И. Матюхин, К. А. Поликарпов, А. В. Матюхина, В. А. Дудко
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГОРЕЛОЧНОГО УСТРОЙСТВА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Для улучшения тепловой работы вращающихся печей предлагается использовать эффективную систему газоочистки, совершенствование условий теплообмена в ее рабочем пространстве и сокращение пылевыноса с применением способа внутриагрегатного пылеосаждения на основе использования энергии акустического поля. Применение энергетических способов утилизации тепла (подогреватель шихты, охладитель готовой продукции) обеспечивает возможность повышения общего теплового КПД вращающейся печи до 70–75 %, но не изменяет качество получаемой продукции. Использование двухпроводной горелки и энергии акустического поля для внутриагрегатного пылеосаждения позволяет обеспечить более эффективное сжигание природного газа, увеличить производительность печи на 25–30 %, снизить удельный расход топлива на величину до 25–30 %, уменьшить пылевынос на 20–50 % и повысить степень обжига известняка до 96 %.

Ключевые слова: вращающаяся печь, двухпроводная горелка, интенсивность теплообмена, пылевынос.

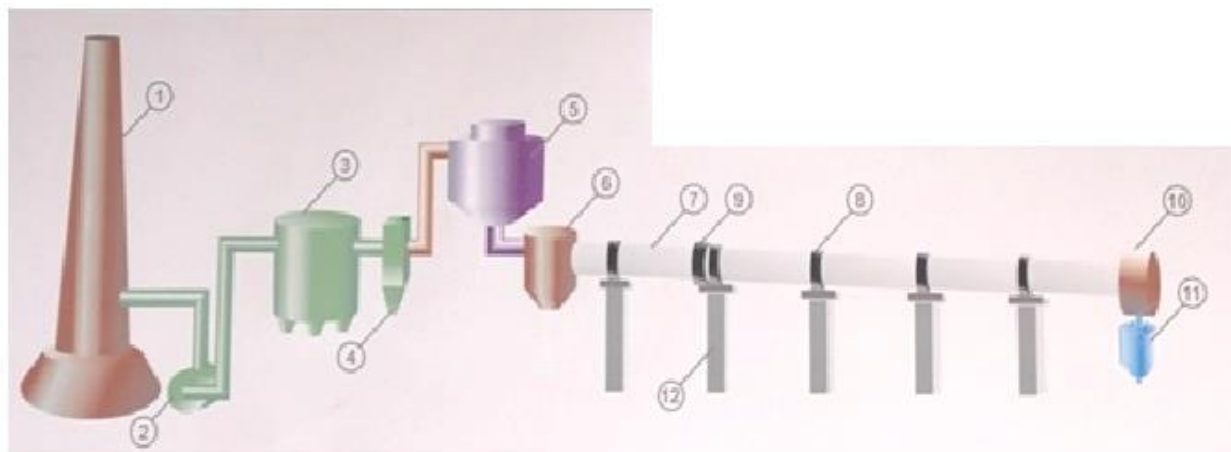
Abstract. To improve the thermal operation of rotating furnaces, it is proposed to use an efficient gas purification system, improve the conditions of heat exchange in its working space and reduce dust removal using the method of in-unit dust deposition based on the use of acoustic field energy. The use of energy methods of heat recovery (charge heater, finished product cooler) provides an opportunity to increase the overall thermal efficiency of a rotating furnace to 70–75 %, but does not change the quality of the products obtained. The use of a two-wire burner and acoustic field energy for in-unit vacuum deposition allows for more efficient combustion of natural gas, increase furnace productivity by 25–30 %, reduce specific fuel consumption by up to 25–30 %, reduce dust removal by 20–50 % and increase the degree of calcination of limestone to 96 %.

Key words: rotary furnace, two-wire burner, heat exchange intensity, dust removal.

Наиболее распространенным тепловым агрегатом для первоначальной тепловой обработки кусковых рудных компонентов является вращающийся наклонный барабан благодаря слабой зависимости его технико-экономических показателей от свойств перерабатываемых материалов [1]. В то же время, реализация в нем тепловых технологических процессов сопровождается высокими эксплуатационными затратами по обслуживанию этого агрегата, повышенными энергетическими затратами (до 300 кг усл. т/т сырья) вследствие значительных тепловых потерь, ограниченности развития тепломассообменных явлений между

высокотемпературными газами и нагреваемыми материалами, повышенным выносом пылевых компонентов газами (до 8–15 г/м³). Все это наблюдается в условиях ограниченной управляемости процессов для достижения удовлетворительных конечных результатов при умеренном тепловом КПД агрегата не выше 40 %.

Для сокращения отрицательных последствий работы вращающихся печей используется ряд эффективных технических средств и приемов (рис. 1) [2].



1 – дымовая труба; 2 – дымосос; 3 – электрофильтр; 4 – циклон;
5 – шахтный подогреватель шихты; 6 – пылесадительная камера;
7 – вращающийся барабан; 8 – опоры; 9 – привод печи; 10 – холодная загрузочная головка; 11 – охладитель извести; 12 – фундамент
Рис. 1. Схема газовых потоков на вращающейся печи обжига известняка

Так, для снижения объемов пылевых выбросов используется сложная многостадийная система газоочистки, а для утилизации тепла отходящих газов широко применяют теплоутилизирующие устройства. Значительные тепловые потери с готовым продуктом утилизируются в шахтном холодильнике с тепловым КПД более 90 % и последующей регенерацией тепла с воздухом, поступающим на горение при температуре около 500 °С. Использование таких устройств отличается значительными капитальными и экономическими затратами с возможностью повышения теплового КПД печи до 55–60 %.

Использование физического тепла отходящих газов утилизируется с использованием шахтного подогревателя известняка с тепловым КПД около 50 % с последующим поступлением частично обожженного известняка в рабочее пространство печи с температурой около 200 °С [3]. Однако такие показатели подогревателя шихты связаны с ограниченным развитием теплообменных процессов в рабочем пространстве обжигового агрегата с уровнем температуры отходящих газов более 1000 °С. Использование низкопотенциального тепла в печи хотя и обеспечивает повышение его тепловой эффективности, но ограничивает возможности по реализации обжигового процесса с ограниченной степенью обжига известняка не выше 88 %. Все эти технические мероприятия касаются только изменения исходных и конечных показателей работы вращающихся печей при ограниченной управляемости технологическим процессом.

При ограниченности окислительных процессов в структуре нагреваемых материалов и сложности использования внутреннего источника тепла (обжиг минеральных компонентов) основным источником теплоты в рабочем пространстве барабанной печи является факельное сжигание газообразного или жидкого топлива, эффективное использование которого в существенной степени зависит от конструкции топливосжигающего устройства. Если факельное сжигание исходного топлива осуществляется в условиях организации диффузионного горения даже при использовании сложных конструкций топливораспределительных устройств (рис. 2), но ограниченной скорости движения газов, то, в силу физических свойств топлива и воздуха при организации факельного режима горения будет происходить по длине печи постепенное расслоение этих потоков по вертикали.

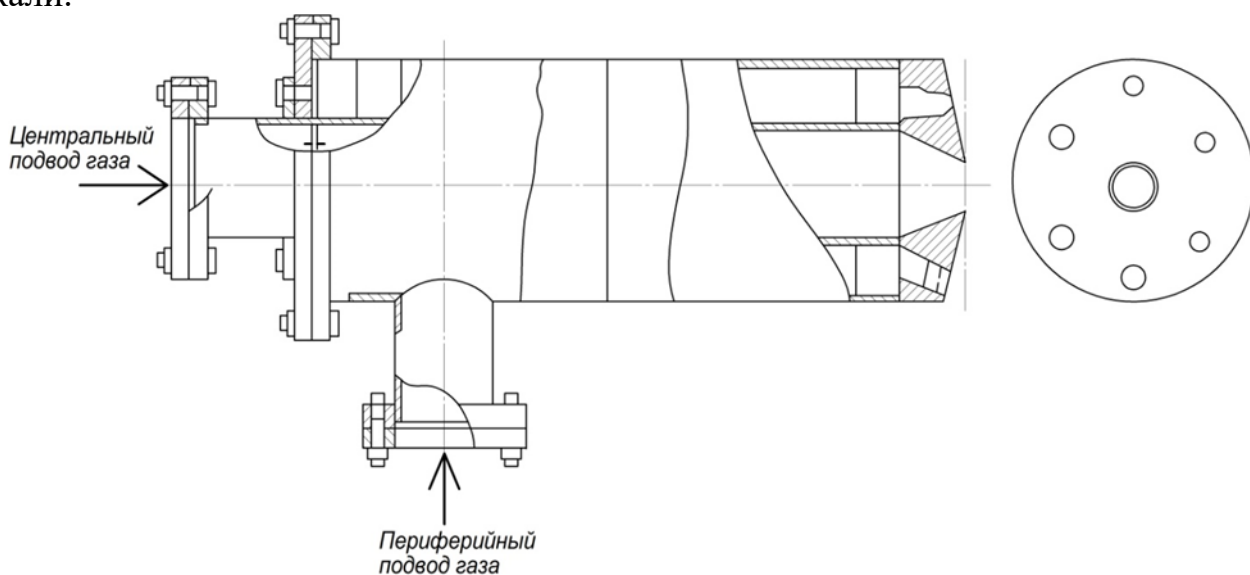
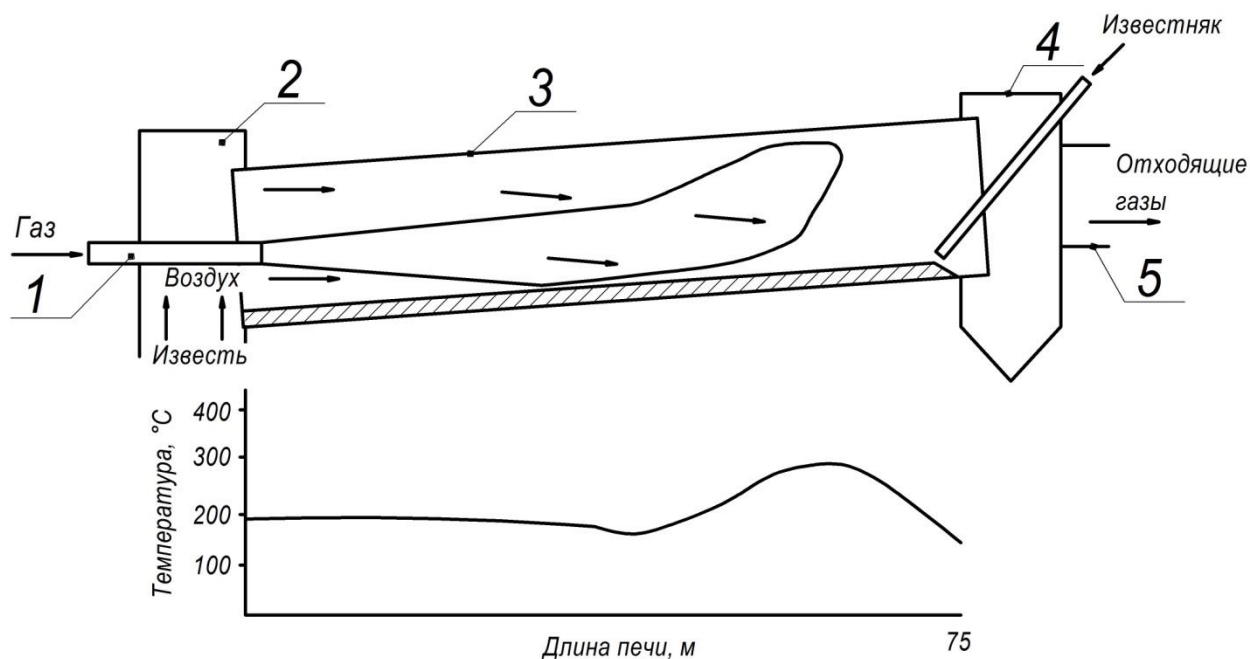


Рис. 2. Газораспределительное устройство

Более легкие горючие компоненты смещаются к верхней образующей рабочего пространства вращающейся печи с постепенным растягиванием факельного процесса по вертикали и удалением области максимальных температур от поверхности материалов (рис. 3).

Если учесть, что передача теплоты от факела к нагреваемым материалам осуществляется на 60–80 % излучением, то развитие факельных процессов по длине печи в этих условиях сокращает интенсивность теплопередачи материалам и обеспечивают преимущественно нагрев корпуса печи с понижением производительности агрегата. При этом увеличиваются тепловые потери с отходящими газами и снижается эффективность использования топлива.

Была предложена новая двухпроводная горелка (рис. 4), в которой используется первичный воздух с повышенными кинетическими параметрами (компрессорный или вентиляторный воздух) при выходе в рабочее пространство через сопло Лаваля при помощи внешней трубы с повышенными скоростями (более 200 м/с) и вторичный, подаваемый с внешней стороны горелки с меньшей скоростью (2–3 м/с), но с повышенной температурой (до 500–600 °С) [4].



1 – горелочное устройство; 2 – горячая головка; 3 – обжиговый барабан;
4 – холодная головка

Рис. 3. Схема движения газов в рабочем пространстве вращающейся печи и распределение их температуры при использовании однопроводной горелки

Основной поток природного газа поступает в горелочное устройство по центральной трубе с давлением не ниже 3 бар и выходит в рабочее пространство печи через сопло Лавали с повышенными скоростями (более 200 м/с). Такие условия подачи первичного воздуха и основного потока природного газа создают условия для существенного увеличения длины высокотемпературного факела вблизи поверхности пересыпающегося слоя. При этом сокращает возможность расслоения газов при их движении с концентрацией тепла в области факела. При этом более плотный поток воздуха ограничивает вертикальное перемещение потока топлива, способствует созданию более длинного и жесткого факела. При струйной подаче топлива и воздуха развитие тепломассообменных процессов в факеле сдерживается при их параллельном движении из-за ограниченности контакта и времени взаимодействия. Для улучшения перемешивания топлива и воздуха на внешней поверхности факела целесообразно использовать дополнительную турбулизацию воздушного потока первичного воздуха с применением внешнего пульсатора первичного воздуха (рис. 5).

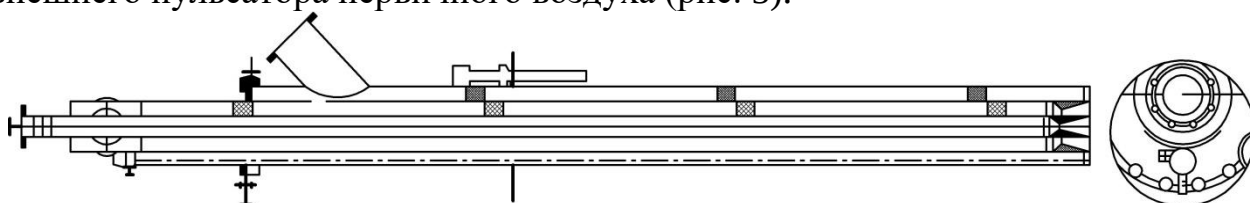
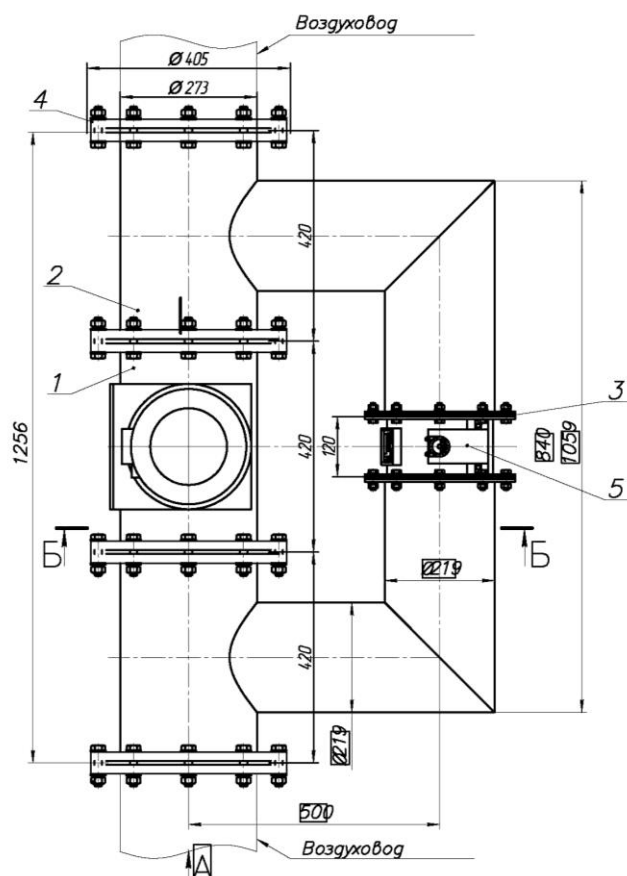


Рис. 4. Двухпроводная газовая горелка вращающихся печей



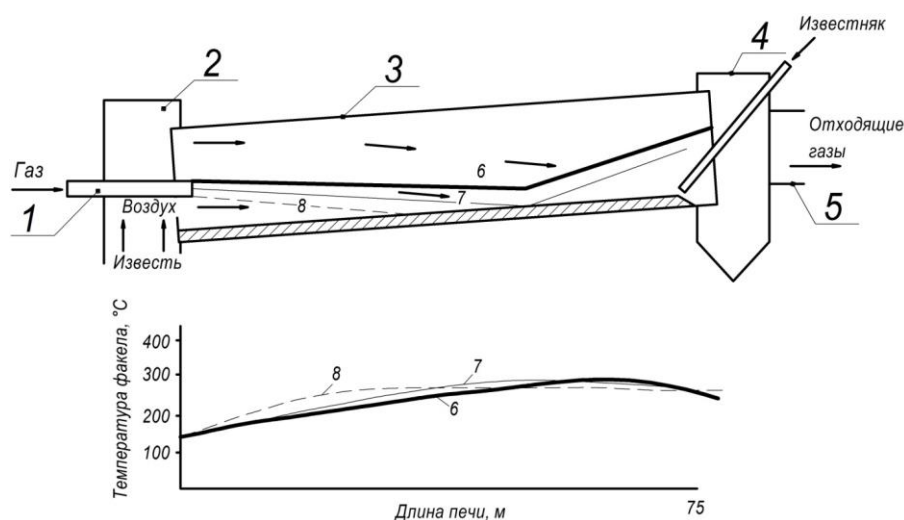
- 1 – лепестковый прерыватель основного воздушного потока;
 2 – выхлопной патрубок; 3 – байпас; 4 – соединение с горелочным устройством; 5 – клапан безопасности

Рис. 5. Механический прерыватель первичного воздуха двухпроводной горелки

Наиболее раннее создание таких условий движения потока первичного воздуха при его турбулизации может происходить только в условиях изменения его скорости, а масштаб турбулентности определяется ускорением движения газовых компонентов.

Передача механической энергии колебаний между газовыми потоками, движущимися параллельными траекториями, была реализована в основном через пульсирующие колебания управляемого потока первичного воздуха с применением отдельного шибберного регулирующего расход устройства, устанавливаемого в начале траектории его движения.

В неустойчивой газодинамической системе факела формирования топливозвдушной смеси с помощью горелочного устройства процесс горения распыленного топлива ограничен внешней поверхностью создания пределов воспламенения. В условиях ограниченного распространения потока топлива в рабочем пространстве печи при расслоении газовых потоков эта задача ограничена кинетическими параметрами движения первичного воздуха. Поэтому использование пульсирующего воздушного потока с требуемой частотой позволяет создать наиболее рациональные условия горения газозвдушной смеси на границе факела (рис. 6).



- 1 – горелочное устройство; 2 – горячая головка; 3 – вращающийся барабан;
 4 – холодная головка; 5 – газоотводящий тракт; 6 – траектория факела
 двухпроводной горелки; 7 – факела с боковой горелкой;
 8 – с пульсирующим потоком первичного воздуха

Рис. 6. Траектории движения газового факела и распределение его температуры во вращающейся печи

Такая частота прерывания отличается непрерывностью подачи воздушного потока, что слабо влияет на устойчивость процесса горения топлива в факеле.

Использование пульсирующего воздушного потока при формировании топливоздушнoй смеси с использованием горелочных устройств усиливает процессы перемешивания газовых потоков на границе их контактирования, создавая в движущемся потоке газов локальные зоны с пониженным давлением и ограничивают их расслоение. Это способствует распространению газовых потоков в рабочем пространстве печи за счет турбулентной диффузии в объеме факела и ускоряет процессы взаимодействия потока распыленного топлива и воздуха при стабилизации температуры факела. Основная же масса газовой струи продолжает двигаться в направлении формирования нагревающего факела вблизи поверхности нагреваемых материалов.

Однако сложность и многофакторность развития этого процесса определяют возможность установления оптимальной частоты пульсаций только опытным путем. Возникновение при этом касательных напряжений между газовыми объемами, воздействие которых приводит к ускорению вращательного движения отдельных газовых объемов, сопровождается ускорением процессов массообмена между ними с увеличением кратности циркуляции массовых потоков на величину до 40 %.

На используемой горелке применяется также периферийная горелка, которая обеспечивает дополнительный подогрев слоя шихты на первоначальном более холодном участке факельного горения топлива.

Ожидается при использовании этих мероприятий увеличить продолжительность высокотемпературного обжига известняка с повышением степени обжига до 96 %.

Таким образом, предлагаемая реконструкция системы отопления вращающейся печи для обжига известняка способствует:

1. Более эффективному сжиганию природного газа.
2. Интенсификации теплообменных процессов между газами и материалами.
3. Увеличению длительности высокотемпературного обжига известняка с повышением степени обжига известняка до 96 %.
4. Сокращению удельного расхода топлива со 180 до 150 м³/т извести.

Список использованных источников

1. Лисиенко В.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. Справочное пособие в 2-х книгах. Книга 1 / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2004. – 688 с.
2. Ладыгичев М.Г. Зарубежное и отечественное оборудование для очистки газов. Справочное пособие / М.Г. Ладыгичев, Г.Я. Бернер. – М.: Теплотехник, 2004. – 696 с.
3. Болдырев А.С. Пути экономии топлива в цементной промышленности / А.С. Болдырев, В.К. Хохлов. – М.: Стройиздат, 1983. – 88 с.
4. Винтовкин А.А. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики). Справочное пособие / А.А. Винтовкин, М.Г. Ладыгичев, В.Л. Гусовский, А.Б. Усачев. – М.: Машиностроение, 2001. – 496 с.

УДК 669.162.1

**Н. К. Озорнин¹, Е. С. Берсенева², И. С. Берсенева², О. В. Матюхин¹,
А. С. Степанова², О. Г. Сивков², М. А. Михеенков²**

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия;

² ООО «Научно-производственное внедренческое предприятие ТОРЭКС» (ООО «НПВП ТОРЭКС»), г. Екатеринбург, Россия

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОВАРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ШЛАМОВ СЕРООЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОБЖИГОВЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ МАШИН

Аннотация. При переработке сернистых руд выбрасывается загрязняющих атмосферу вредных газов. Балансовые запасы сернистых руд в РФ превышают 6 млрд т. Среди газообразных веществ, загрязняющих атмосферный воздух, сернистый ангидрид является одним из наиболее массовых технологических загрязнителей, ежегодные выбросы которого в мире, по некоторым оценкам, достигают 150 млн т. При переработке сернистых руд вредные выбросы ухудшают качество жизни населения окружающих территорий и нарушают