



УДК 669.

Поступила 20.11.2017

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ГОРЕЛОЧНЫХ
УСТРОЙСТВ В ПЕЧАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ
ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК В СПЦ-2
ОАО «БМЗ – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»**

**EXPERIENCE IN USE OF RECUPERATIVE BURNERS DEVICES
IN FURNACES OF PERIODIC ACTION FOR HEAT TREATMENT
OF BLANKS IN SPC-2 OJSC «BSW – MANAGEMENT COMPANY
OF HOLDING «BMC»**

Д. С. ЯДЧЕНКО, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная 37. E-mail: dimonworks@mail.ru

D. S. JADCHENKO, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: dimonworks@mail.ru

При строительстве и модернизации промышленных печей следует принимать во внимание следующие существенные факторы: с одной стороны должна быть обеспечена экономическая эффективность, а с другой – важно снизить вредные выбросы в атмосферу, улучшить условия труда персонала и т. п. При этом постоянно возрастающие требования к производительности и экологичности не должны отрицательно сказываться на периоде окупаемости затрат.

В данной статье рассмотрен опыт использования рекуперативных горелок. Рассмотрены как положительные, так и отрицательные аспекты использования горелок с точки зрения экономики, экологии и технологии.

Существенным исходным моментом оптимизации затрат является правильный выбор системы нагрева в комплексе с системой автоматического регулирования. Одним из примеров эффективной системы нагрева является горелка со встроенной системой подогрева воздуха (рекуперативная горелка), которая позволяет экономить топливо, уменьшить вредные выбросы и одновременно повысить технико-экономические показатели работы печей.

In building and modernizing industrial furnaces the following important factors should be taken into account: on the one hand, economic efficiency must be ensured, and on the other hand it is important to reduce harmful emissions into the atmosphere, improve the working conditions of personnel, etc. At the same time, constantly increasing requirements for productivity and environmental friendliness should not adversely affect the period of cost recovery.

This article considers the experience of using recuperative burners. Both positive and negative aspects of the use of burners are considered from the point of view of economics, ecology and technology.

An important initial point of cost optimization is the correct choice of a heating system complete with an automatic control system. One example of an effective heating system is a burner with a built in air heating system (recuperative burner), which saves fuel, reduces harmful emissions and simultaneously improves the technical and economic performance of the furnaces.

Ключевые слова. *Рекуперативные горелочные устройства ECOMAX 2CB545 и BIO 65HB. Особенности использования рекуперативных горелок на печах отжига, с контролируемой атмосферой. Радиационные трубчатые нагреватели. Эксплуатация рекуперативных горелок. Система управления горелками. Экологические, экономические характеристики.*

Keywords. *Recuperative burners ECOMAX 2CB545 and BIO 65HB. Particularities of the use of recuperative burners on heating furnaces with controllable atmosphere. Radiation tube heaters. Operation of recuperative burners. Burner control system. Environmental, economic characteristics.*

При расчете затрат на строительство и модернизацию промышленных печей необходимо учитывать следующие существенные факторы: с одной стороны, должна быть обеспечена экономическая эффективность, а с другой – важно снизить вредные выбросы в атмосферу, улучшить условия труда персонала и т. п. При этом постоянно возрастающие требования к производительности и экологичности не должны отрицательно сказываться на периоде окупаемости затрат.

Существенным исходным моментом оптимизации затрат является правильный выбор системы нагрева печи для термообработки заготовок в комплекте с системой автоматического регулирования. Одним из примеров эффективной работы печи является горелка со встроенной системой подогрева воздуха (рекуперативная горелка), которая позволяет экономить топливо, уменьшить вредные выбросы и одновременно повысить технико-экономические показатели работы печи.

С 2015 г. на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в сортопрокатном цехе №2 функционируют печи с использованием схем косвенного нагрева (радиационные трубчатые нагреватели). Печь с роликовым подом для непрерывного отжига заготовок общей длиной 110 м включает 70 рекуперативных горелок ECOMAX 2CB545 мощностью 60 кВт и 14 горелок ВЮ 65НВ мощностью 30 кВт. Для повышения безопасности и удобства эксплуатации каждая горелка оборудована автоматом управления горелкой ВСУ. Двухкамерная печь периодического действия для термообработки мотков стана 370/150 в СПЦ-2 также оборудована рекуперативными горелками ВЮ 50 в количестве 16 шт. на каждую секцию. Печь периодического действия для термообработки прутков имеет три секции, каждая из которых включает в себя по 16 рекуперативных горелочных устройств тепловой мощностью 110 кВт каждая. Всего 164 горелки.

Промышленные газовые горелки со встроенным подогревателем воздуха предъявляют высокие требования к конструкционным материалам. Горячие продукты сгорания отводятся из рабочего пространства радиационных труб через корпус горелки, что ведет к существенно повышенному износу материала, применяемому для изготовления рекуператора. С другой стороны, система подогрева должна легко монтироваться и в течение долгого времени эксплуатироваться без значительного технического обслуживания. Установленные на печах термообработки горелки представляют собой «компромисс», являясь простыми, но эффективными по конструктивному исполнению.

Принцип работы

Рекуперативная горелка ECOMAX (рис. 1) использует тепло продуктов сгорания для подогрева воздуха, подаваемого на горение. В состав горелки входит необходимый для этого теплообменник (рекуператор). Схожее строение имеет рекуперативная горелка ВЮ (рис. 2).

Поступив в горелку, воздух на горение проходит через зазор между воздушной трубой и внутренней поверхностью рекуператора по направлению к носику горелки. Часть этого воздуха подается внутрь горелки для организации первой ступени горения. Оставшаяся часть воздуха на горение с высокой скоростью устремляется сквозь зазор между камерой горения и фронтальной частью рекуператора, где начинается вторая ступень.

Такой процесс горения обеспечивает наименьшее содержание токсичных составляющих в продуктах сгорания. Горячие дымовые газы выходят из печного пространства вдоль наружной поверхности рекуператора в противотоке с воздухом, идущим на горение. Тепло передается от горячих дымовых газов холодному воздуху на горение через стенку рекуператора. Горелка разжигается от запального электрода.

Горючая газовоздушная смесь образуется за горелочной головкой. В конструкции горелочной головки предусмотрены щели и отверстия, которые влияют на степень и характер закручивания воздушного потока и определяют форму пламени. Геометрия газовых сопел зависит от типа газа.

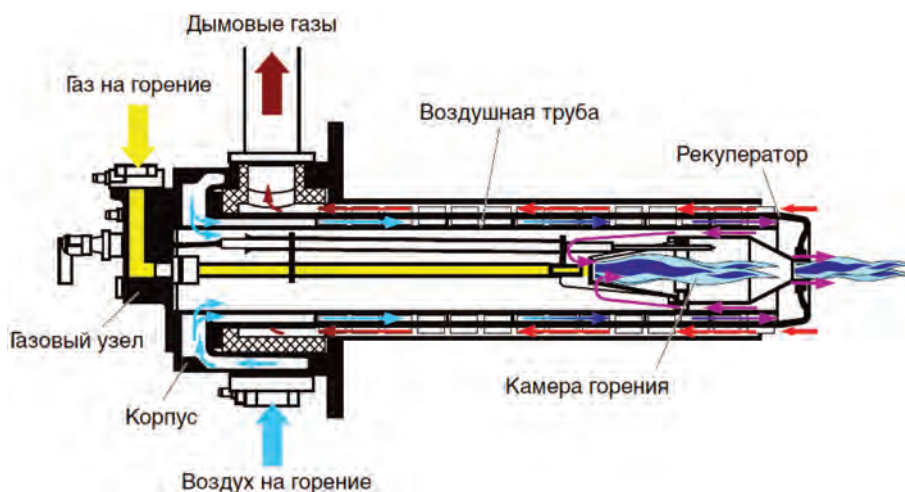


Рис. 1. Схема работы рекуперативной горелки ECOMAX

Газовоздушная смесь воспламеняется с помощью прямого электророзжига от электрода. Формирование пламени контролируется ионизационным электродом.

Работа печи основана на использовании непрямого нагрева. Ряд радиационных труб (рис. 3) расположен вдоль боковых стен печи для равномерного нагрева камеры излучением. Выбрана U-образная конфигурация труб. Каждая горелка соединена с одной двухступенчатой радиационной трубкой (U-образной, металлической). Этот принцип позволяет поднимать температуру, сохраняя защитную технологическую газовую среду, и при этом избегая прямого контакта с продуктами сгорания.

Применение рекуперативных горелок ведет к снижению расхода топлива и, следовательно, к сокращению эксплуатационных расходов. Снижение расхода топлива осуществляется за счет применения встроенного в горелку рекуператора. Экономия природного газа в результате использования подогрева воздуха является существенным элементом при анализе эффективности такой отопительной системы. Ребра на поверхности стального литого рекуператора значительно увеличивают поверхность теплообмена, что эффективно даже при низких температурах.

Применяемые горелки благодаря своей конструкции имеют высокий коэффициент использования топлива (КИТ) — до 90% и отличаются очень малым выбросом вредных веществ CO и NO_x. Горелки и излучающие трубы изготовлены с большим количеством деталей из устойчивой к термическому износу керамики, что обеспечивает долгий срок службы оборудования. При использовании рекуперативной горелки в радиационной трубе для получения равномерного температурного поля вдоль всей длины излучающей трубы горелка должна работать в режиме «включено/выключено». Плавное регулирование горелки отрицательно влияет на равномерность температуры вдоль излучающей трубы. Кроме того, высокая скорость истечения струи продуктов сгорания при номинальной мощности горелки является основой снижения содержания NO_x за счет рециркуляции дымовых газов на сопле керамической камеры сгорания. Диаметр выходного сопла камеры сгорания выбран таким образом, чтобы скорость струи составляла около 120 м/с. Обеспечивается низкое содержание NO_x в продуктах сгорания горелки при температуре печи 950°C.

В процессе эксплуатации горелок возникли неисправности, связанные с загрязнением функционально значимых элементов (электродов, сопел, отверстий). При таких неисправностях провели разборку горелки и осмотр всех ее деталей. Засорения оперативно удалили, поврежденные детали заменили.

Работа горелки должна регулярно контролироваться обученным персоналом в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

При обслуживании горелки необходимо проверять состояние смесителя (если необходимо провести его очистку); степень износа и положение запального электрода; состояние уплотнительных прокладок.

Профилактическая проверка загрязнения и состояния запального электрода производится один раз в 3 месяца. Для проверки запального электрода необходимо демонтировать газовый фланец с газовым коллектором и смесителем.

Наиболее подверженные повреждению и износу детали – это уплотнительные прокладки, запальный электрод.

Все неисправности оперативно устранялись обслуживающим персоналом, простота конструкции позволяет легко чистить и настраивать данные горелки. Неисправная горелка была заменена на новую. Автоматика дает возможность устранять неисправности даже на работающей печи, ведь отключая одну горелку, соседние поддерживают заданную температуру в этой зоне.

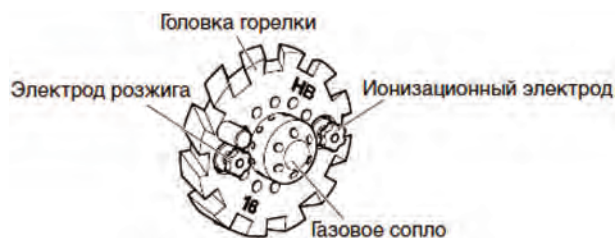


Рис. 2. Схема элементов розжига рекуперативной горелки ВЮ



Рис. 3. Схема расположения радиационных труб

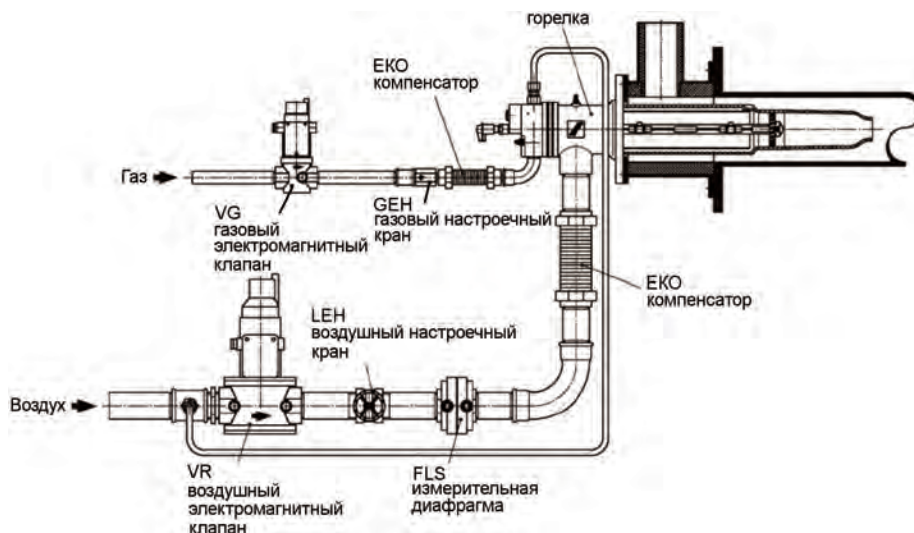


Рис. 4. Система управления горелки при установке в радиационной трубе

В стандартном исполнении пламя контролируется с помощью комбинированного ионизационного электрода, выполняющего также функцию розжига.

В комплекте с простой по конструкции рекуперативной горелкой целесообразно применение и простой системы управления. В качестве оснащения горелки установлено по одному регулируемому клапану на газо- и воздухопровод, которые имеют скорость открытия 3–5 с. На трубопроводах находятся диафрагменные узлы (FLS) для измерения расходов газа и воздуха в процессе наладки (рис. 4).

Достоинства и недостатки использования рекуперативных горелочных устройств приведены ниже.

Достоинства	Недостатки
Используются для сжигания природного газа в печах прямого и косвенного нагрева	Работа горелки должна регулярно контролироваться обученным персоналом
Горелки с керамическим рекуператором применяются до температуры 1250 °С	Электрод изготовлен из хрупкого материала Kanthal
Все элементы, установленные на газовой головке и корпусе, охлаждаются поступающим в горелку холодным воздухом	Необходимо производить профилактическую проверку загрязнения и состояние комбинированного ионизационного и запального электродов один раз в 3 месяца
Высокий КПД, КИТ и соответственно низкий расход топлива	Регулярная чистка и замена фильтров
Минимальное образование вредных выбросов CO и NO _x	Чувствительны к загрязненному воздуху, поэтому требуют регулярной настройки соотношения газ/воздух 3–6 мес
Простота регулирования давления в печи, высокая температура подгрева	Высокая стоимость рекуперативных горелок
Легко монтируются и демонтируются, имеют простую, но эффективную конструкцию	

За весь период эксплуатации существенных недостатков в работе горелочных устройств выявлено не было. Залог стабильной работы горелок – своевременное техническое обслуживание и наладка печей.

Применение горелочных устройств в печи термообработки заготовок

Наименование параметра	Опыт 1
Длительность цикла t , ч	24
Начальная температура металла t_1 , °С	24
Конечная температура металла в конце максимального нагрева t_2 , °С	900
Состав продуктов горения: двуоксид углерода CO ₂ , % оксид углерода CO, ppm оксиды азота NO _x , ppm	3,8 19 70
Удельный расход условного топлива на термообработку 1 т металла $V_{уд}$, кг/у. т./т	49,5
Коэффициент использования топлива $h_{ит}$, %	80,8

Как видно из таблицы, при работе нагревательной печи с помощью рекуперативных горелок коэффициент использования топлива составил 80,8% что подтверждает экономичность применения данных горелочных устройств. Продукция прошла технический контроль и соответствует регламентированному качеству.

Выводы

Рекуперативная горелка модульной конструкции предназначена для применения как в системах отопления печей с прямым нагревом, так и при косвенном нагреве радиационными трубами. При анализе экономических показателей рекуперативной горелки важно обратить внимание не только на экономию топлива. Чтобы иметь объективный взгляд, следует учесть многие факторы, от затрат на строительство и ввод в эксплуатацию до потребляемой мощности вентилятора. Горелка объединяет простую конструкцию и невысокие требования к техническому обслуживанию и одновременно характеризуется низким уровнем выбросов, высокой производительностью и достаточной экономичностью.

Рассмотренная в данной статье горелочная техника позволяет добиться значительной экономии энергии и снижения выбросов вредных веществ CO и NO_x. Децентрализованная рекуперация также является решением для достижения максимальной производительности печного агрегата.

При используемом тактовом управлении гибкость, точность и скорость управления, а также однородность распределения теплового потока в пространстве горения существенно лучше в сравнении с обычным методом пропорционального управления.

Многолетний опыт нашей работы показывает, что инвестиции в новые технологии нагрева, разработанные с учетом снижения выбросов вредных газов, обеспечивают не только уменьшение затрат на топливо и снижение загрязнения окружающей среды, но также повышают производительность и качество продукции.

Литература

1. Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Менделев А. В., Герман М. Л. Теплотехническое и экономическое обоснование выбора оптимальной температуры нагрева воздуха в рекуператорах нагревательных проходных печей машиностроительных предприятий // Изв. вузов и высш. энерг. объедин. СНГ. Энергетика. 2009. № 3. С. 50–59.
2. Wunning J. Рекуперативные горелки для прямого нагрева промышленных печей // Gaswarne International. 1988. Т. 37. Вып. 10. С. 515–519.

References

1. Timoshpol'skij V. I., Trusova I. A., Mendeleev A. V., German M. L. Teplotekhnicheskoe i jekonomicheskoe obosnovanie vybora optimal'noj temperatury nagreva vozduha v rekuperatorah nagrevatel'nyh prohodnyh pechej mashinostroitel'nyh predpriyatij [Thermotechnical and economic substantiation of the choice of the optimum temperature of air heating in recuperators of heating pass-through furnaces of machine-building enterprises]. *Izvestija Vuzov i vysshih jenergeticheskikh ob'edinenij SNG. Jenergetika = Izvestiya of Higher Educational Institutions and Higher Energy Associations of the CIS. Power engineering*, 2009, no. 3, pp. 50–59.
2. Wunning J. Rekuperativnye gorelki dlja prjamoego nagreva promyshlennyh pechej [Recuperative burners for direct heating of industrial furnaces]. *Gaswarne International*, 1988, vol. 10, pp. 515–519.