

5. Dunn W.L., Shultis J.K. Exploring Monte Carlo Methods. Elsevier, 2011. – 398 p.
6. Маликов Р.Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 [Текст]: учеб. Пособие / Р. Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296 с.
7. Kroese D.P., Taimre T., Botev Z.I. Handbook of Monte Carlo Methods. Wiley, 2011. – 743 p.
8. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.
9. Сеченов П.А. Имитационная модель разделения составляющих пыли марганцевого производства / П.А. Сеченов, В.П. Цымбал, А.А. Оленников // Кибернетика и программирование. – 2016. – № 2. – С. 34-41.

УДК 662.74

А. И. Смирнов, Т. Ф. Богатова

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

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛА ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В СХЕМАХ С ГАЗОВЫМИ УТИЛИЗАЦИОННЫМИ ТУРБИНАМИ

Аннотация

Реализация потенциала вторичных энергоресурсов, возникающих в различных технологических процессах, является одним из существенных резервов энергосбережения. Потребности предприятий с полным металлургическим циклом в топливе могут в значительной мере покрываться за счет использования вторичных энергетических ресурсов. Наиболее мощным вторичным энергетическим ресурсом является доменный газ. В частности, за счет его сжигания в газовом балансе металлургических предприятий покрывается до 35–45 % потребности в теплоте. Применение схем с установкой газовой утилизационной бескомпрессорной турбины (ГУБТ) является наиболее чистой и энергоэффективной технологией, поскольку она позволяет использовать энергию давления потока отработанного газа без применения дополнительного топлива. Система ГУБТ способствует сокращению в целом выбросов CO₂ и других выбросов пропорционально объему электроэнергии, выработанной без сжигания дополнительного топлива.

Ключевые слова: вторичные энергоресурсы, турбодетандер, газовая утилизационная бескомпрессорная турбина, выбросы CO₂

Abstract

Implementation of the potential of the waste energy resources arising in various technological processes is one of essential reserves of energy saving. Requirements of the enterprises with a full metallurgical cycle in fuel can be covered considerably due to use of waste energy resources. The most powerful waste energy resource is blast-furnace gas. In particular, due to his burning in gas balance of the metallurgical enterprises about 35–45 % of need for warmth become covered..Application of schemes with installation of the gas top pressure recovery turbine (TRT) is the cleanest and energy efficient technology as she allows to use energy of pressure of a exhaust gas stream without use of additional fuel. The TRT system promotes reduction in general of emissions of CO₂ and other emissions are proportional to the volume of the electric power developed without combustion of additional fuel.

Keywords: waste energy resources, turbo-expander, gas top pressure recovery turbine, CO₂ emission

В процессе производства чугуна в доменной печи получают доменный газ с высоким давлением и температурой. Выходящий из доменной печи газ имеет давление от 0,16 МПа до 0,4 МПа и температуру от 180 до 250 °С. В обычной практике энергия доменного газа теряется при уменьшении давления в мембранном клапане.

Одним из способов решения проблемы использования энергии доменного газа является установка газовой утилизационной бескомпрессорной турбины (ГУБТ) или турбодетандерной установки. Блок ГУБТ обычно устанавливается в нижней части газоочистного оборудования для доменной печи.

Газовая утилизационная бескомпрессорная турбина – это базовое энергосберегающее решение для доменной печи. Она использует энергию давления отработанного газа для выработки электроэнергии. Установка газовой утилизационной турбины может производить от 40 до 60 кВтч/т горячего металла (жидкого чугуна). Количество вырабатываемой электроэнергии может составлять около 30% от потребностей в электроэнергии всего оборудования доменных печей (включая воздуходувку доменной печи). Доменный газ, выходящий из ГУБТ, может использоваться в качестве топлива на металлургическом заводе.

Блок ГУБТ представляет собой систему выработки энергии, которая преобразует физическую энергию высокого давления доменной печи в электрическую, используя турбину расширения. Хотя разность давлений низкая, большие объемы газа делают процесс экономически целесообразным. Существует несколько ключевых параметров, которые определяют производительность блока и его выходную мощность [1]:

- объем доменного газа;
- давление доменного газа в верхней части доменной печи;
- перепад давления на установке газоочистки;
- температура доменного газа после газоочистки;
- давление доменного газа на выходе из установки ГУБТ;
- качество доменного газа в верхней части доменной печи;
- эффективность установки ГУБТ.

Доменный газ из доменной печи обычно содержит около 5 г/л примеси пыли и должен быть пропущен через установку газоочистки для уменьшения количества пыли до уровня менее 5 мг/м³. Уменьшение содержания пыли необходимо для надежной работы установки ГУБТ.

Системы очистки газа доменных печей могут быть мокрыми и сухими, в зависимости от метода, который используется для удаления частиц пыли. Сухие системы потребляют меньше воды и электроэнергии. У них меньше перепад давления, а температура газа выше примерно на 50 °С по сравнению с системой мокрого типа. При сухой очистке газа установка ГУБТ может, как правило, вырабатывать на 60% больше энергии. Поэтому считается, что сухие системы более экономичны.

Типичная принципиальная схема для ГУБТ с влажными и сухими системами газоочистки показана на рис. 1 [3].

После того, как пыль удаляется с помощью газоочистного оборудования, очищенный доменный газ направляется в турбину через входной дроссельный клапан и впускной клапан. При аварийной ситуации срабатывают перепускные клапаны и аварийный отсечный клапан. После срабатывания в ГУБТ доменный газ с низким давлением и температурой подается в газопровод через выпускной клапан.

В тех случаях, когда необходимое давление и объем доменного газа не обеспечиваются в технологическом процессе, газы могут обходить установку ГУБТ и поступать по байпасной линии сразу в газопровод. Расход электроэнергии на собственные нужды установок ГУБТ очень мал, они не оказывают влияния на работу доменной печи. Поскольку доменный газ является горючим газом (теплота сгорания около 4,5 МДж/м³), его обычно используют в других элементах технологической схемы для выработки теплоты или энергии. При установленной системе ГУБТ доменный газ эффективно генерирует энергию дважды – при расширении в турбодетандере и при дальнейшем сжигании по традиционной схеме.

Турбодетандерные установки имеют высокий потенциал энергосбережения – ГУБТ с сухой газоочисткой установленной мощностью 1 МВт могут произвести 55,4 ГВт·ч электро-

энергии в год. Применение системы ГУБТ позволяет также обеспечить хорошие экологические показатели. Так, если бы ГУБТ были установлены во всем мире для печей, работающих при повышенном давлении, то выбросы CO₂ сократились бы на 10 млн. т/год.

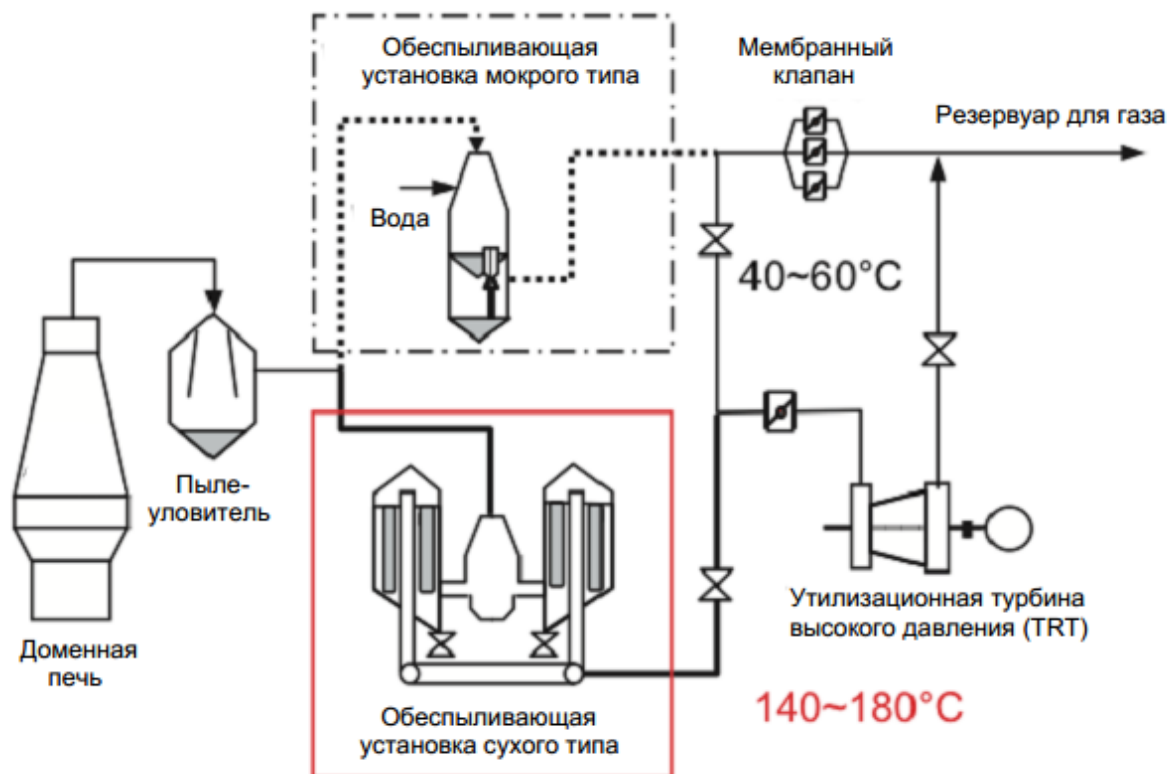


Рис. 1. Типовая блок-схема ГУБТ с системами влажной и сухой газоочистки

Таким образом, система ГУБТ имеет следующие особенности:

- это энергосберегающая технология, используемая в доменном производстве металлургического завода и имеющая высокий потенциал;
- мощность вырабатывается путем привода турбины с использованием доменного газа, генерируемого в доменной печи.
- для выработки дополнительной электроэнергии топливо не требуется;
- поскольку топливо не сжигается, следовательно, не образуется CO₂ или другие парниковые газы;
- система ГУБТ способствует сокращению в целом выбросов CO₂ и других выбросов в соответствии с объемом производства электроэнергии, что снижает уровень выбросов на единицу произведенной продукции;
- система ГУБТ производит меньше шума по сравнению с обычным мембранным клапаном, что способствует улучшению состояния рабочей зоны вокруг доменной печи;
- для эксплуатации и технического обслуживания системы ГУБТ не требуются сложные технологии, и поэтому ее легко отслеживать сотрудникам по эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования.

Список использованных источников

1. Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from the Iron and Steel Industry. United States Environmental Protection Agency. 2012. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/iron-steel-ghg-bact-2012.pdf>
2. The State-of-the-Art Clean Technologies (SOACT) for Steelmaking Handbook. American Iron and Steel Institute. Washington, DC. 2010.

[http://asiapacificpartnership.org/pdf/Projects/Steel/SOACT-Handbook-2nd-Edition...\(link is external\)](http://asiapacificpartnership.org/pdf/Projects/Steel/SOACT-Handbook-2nd-Edition...(link is external))

3. Global Warming Countermeasures: Japanese Technologies for Energy Savings. New Energy and Industrial Technology Development Organization. 2008. <http://ietd.iipnetwork.org/sites/ietp/files/Japanese%20Technologies%20for%20Ener...>

УДК 669.187.242

Е. Д. Солнцева, А. Н. Лошкарев

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ГОРЕЛКЕ ГРС-150

Аннотация

В работе представлены характеристики, конструкция и принцип работы рекуперативной скоростной горелки ГРС-150, а также компьютерное моделирование процесса горения с использованием программного комплекса ANSYS. Моделирование проводилось поэтапно с помощью модуля ANSYS CFX. Результаты работы представлены в виде изображений температурных полей и полей распределения концентраций компонентов горения.

Ключевые слова: рекуперативная горелка, горение, топливо, компьютерное моделирование, температурные поля, поля распределения концентраций.

Abstract

The paper presents the characteristics, design and operation principle of the recuperative high-speed burner GRS-150, as well as computer simulation of the combustion process using the ANSYS software. Simulation was carried out in stages using the ANSYS CFX module. The results of the work are presented in the form of images of temperature fields and fields of distribution of concentrations of combustion components.

Keywords: recuperative burner, combustion, fuel, computer simulation, temperature fields, concentration distribution fields.

При анализе тепловой работы различных печей выявлено, что наибольшей статьей расходной части теплового баланса являются потери теплоты с уходящими газами.

Теплопотери в некоторых случаях составляют до 70 %, и лишь сравнительно небольшая часть тепла может быть полезно использована.

Для того, чтобы максимально эффективно использовать тепло уходящих газов, применяют теплообменные аппараты: рекуператоры и регенераторы. Эти устройства подогревают воздух, идущий на горение, за счет тепла, уходящего из печи, благодаря чему происходит экономия топлива.

В рекуператорах передача тепла осуществляется от одного теплоносителя к другому через стенку, в регенераторах специальная огнеупорная насадка сначала аккумулирует тепло от одного теплоносителя, а затем передает его второму теплоносителю.

Однако, более выгодным считается использование рекуперативных горелок, во-первых, потому что они находятся вблизи агрегата и не происходит потерь тепла при транспортировке горячих газов по трубопроводу, а во-вторых это позволяет: снизить удельный расход топлива до 60 %; обеспечить глубокую утилизацию теплоты; подогревать воздух до высоких температур порядка 700–800 °С; уменьшить текущие затраты при эксплуатации печи; сократить затраты на строительство печи, что обусловлено отсутствием необходимости рекуператора.