РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА

Р. Р. ГИЛЯЗЕТДИНОВ, заместитель главного инженера КХП по производству, Rashit.Gilyazetdinov@evraz.com; К. В. СУВОРОВ, начальник производственного участка; И. Ю. СУХОВ, начальник конструкторского бюро ПТО КХП; К. В. СЛЕПОВ, старший мастер по ремонту оборудования; О. Е. МИХЕЕВА, начальник уголкоксной лаборатории ЦЛ КХП; С. И. МАЛАНИЧЕВА, начальник участка технического контроля КХП (АО ЕВРАЗ НТМК, Россия, г. Нижний Тагил)

Аннотация. Внедрение технологии сухого тушения кокса обеспечивает экономию энергетических ресурсов, уменьшение загрязнения окружающей среды и повышение качества металлургического кокса. Несмотря на достоинства установок сухого тушения кокса (УСТК), ввиду особенностей технологии тушения образуется дополнительное количество циркуляционного газа, которое необходимо сбрасывать из контура охлаждающего агента, что приводит к загрязнению окружающей среды. Рассмотрены предлагаемые и существующие способы снижения выбросов в атмосферу избыточного циркуляционного газа УСТК. Показано, что наиболее эффективным решением рассматриваемой проблемы является утилизация избыточного циркуляционного газа в качестве топлива. Оно предполагает стабилизацию и поддержку состава горючих компонентов в циркуляционном газе на уровне разрешенных показателей, объединение потоков избыточного газа от камер УСТК, обогащение его небольшим количеством высококалорийного газа (коксового или природного) и передачу потребителям топлива. Данное техническое решение было впервые реализовано компанией ArcelorMittal на коксовом производстве металлургического завода им. Е. Зендимира в г. Краков, Польша. В 2017 г. на коксохимическом производстве ЕВРАЗ НТМК реализован проект технического перевооружения УСТК с утилизацией избыточного циркуляционного газа, он имел существенные технические отличия от проекта, реализованного компанией ArcelorMittal. По технологической схеме избыточный циркуляционный газ собирается от работающих камер в коллектор, очищается от пыли в рукавном фильтре, охлаждается, обогащается высококалорийным газом и передается в газопровод доменного газа для дальнейшего применения в качестве топлива. Для повышения эффективности реализуемой технологии и снижения расхода природного газа для стабилизации калорийности обогащенного газа УСТК и передачи его в газопровод доменного газа содержание CO и H₂ в составе циркуляционного газа УСТК поддерживается на уровне 12–15 и 4–5 % соответственно. Реализация проекта технического перевооружения УСТК с ликвидацией выбросов вредных веществ с избыточным циркуляционным газом обеспечивает снижение выбросов вредных веществ АО ЕВРАЗ НТМК — 4 кг/т стали.

Ключевые слова: сухое тушение кокса, содержание горючих компонентов, утилизация циркуляционного газа, снижение выбросов вредных веществ, показатели прочности кокса, наилучшая доступная технология.

Ссылка для цитирования. Гилязетдинов Р.Р., Суворов К.В., Сухов И.Ю., Слепов К.В., Михеева О.Е., Маланичева С.И. Развитие энергосберегающей технологии сухого тушения кокса // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 1. С. 21–25.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-1-21-25

DEVELOPMENT OF ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF COKE DRY QUENCHING

R. R. GILYAZETDINOV, deputy Chief on production of Coke plant, Rashit.Gilyazetdinov@evraz.com; K. V. SUVOROV, manager of production Dpt; I. YU. SUKHOV, Head of Designing Bureau, Production and Technology Dpt of Coke plant, K. V. SLEPOV, Senior Master on equipment repair, O. E. MIKHEEVA, Head of coal-coke Lab., Central Lab. Of Coke plant; S. I. MALANICHEVA, Head of technical control Dpt, Coke plant (JSC EVRAZ NTMK, Russia, Nizhny Tagil)

Abstract. Application of coke dry quenching technology provides saving of energy resources, decreasing of environment pollution and increase of metallurgical coke quality. Despite of advantages of coke dry quenching facilities, an additional quantity of circulating gas is generated because of quenching technology peculiarities. This additional circulating gas must be released out of the cooling agent circuit resulting in environment pollution. Existing and proposed methods of reduction of emissions into atmosphere of excess circulating gas considered. It was shown, that utilization of the excess circulating gas as a fuel is the most effective solution of the considered problem. The solution comprise stabilization and support of combustible components composition in the circulating gas at the level of approved indices, joining of excess gas flows out of the dry quenching facility chambers, its enrichment by some amount of high calorie gas (coke or natural) and supply to gas uses. This technical solution was first realized by ArcelorMittal at the coke plant of the steel-works after E. Zendimir in Krakow, Poland. In 2017 at the EVRAZ NTMK coke plant a project of the dry coke quenching facility modification was realized, comprising utilization of excess circulating gas, which has a considerable technical difference comparing with ArcelorMittal project. According to technology flowsheet, the excess circulating gas is collected

out of operating chambers into a collector, cleaned of dust in a bag filter, chilled, enriched by a high calorie gas and delivered into the gas pipe of BF gas for further utilization as a fuel. To increase efficiency of the technology and to reduce the natural gas consumption for calorie content of enriched gas stabilization and supply it into the BF gas pipe line, the CO and H₂ content in the circulating gas of the coke dry quenching facility is kept at the level of 12–15 % and 4–5 % correspondently. Implementation of the technical modification of the coke dry quenching facility with elimination of harmful substances emissions within the excess circulating gas provided decrease of harmful substances emissions at JSC EVRAZ NTMK – 4 kg per ton of steel.

Key words: coke dry quenching, combustible components content, utilization of circulating gas, decrease of harmful substances emissions, coke strength indices, best available technology.

For citation. Gilyazetdinov R.R., Suvorov K.V., Sukhov I.Yu., Slepov K.V., Mikheeva O.E., Malanicheva S.I. Development of energy saving technology of coke dry quenching. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii* = *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 1, pp. 21–25. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-1-21-25

Внедрение технологии сухого тушения кокса обеспечивает экономию энергетических ресурсов и качественных коксовых углей для коксования, уменьшение загрязнения окружающей среды и повышение качества металлургического кокса для доменного производства.

При сухом тушении кокса утилизируется около 80 % физического тепла кокса. При тушении 1 т кокса вырабатывается 0,45–0,58 т пара со средними параметрами давления и температуры 3,9 МПа и 450 °С соответственно. Его использование для производства электроэнергии дает возможность выработать около 95–105 кВт·ч/т потушенного кокса. На установках с более высокими параметрами вырабатываемого пара (9,5 МПа, 540 °С) показатель по выработке электроэнергии выше на 8–15 % [1, 2].

Технология сухого тушения кокса уменьшает загрязнение окружающей среды, устраняя выбросы водяных паров (до 0,45 т/т потушенного кокса), образующихся при мокром тушении кокса, содержащих фенолы, цианиды, сульфиды, коксовую пыль и другие вредные вещества.

Коксовое производство мощностью 1 млн т/год за счет применения сухого тушения кокса позволяет сэкономить около 80–100 тыс. т энергетического угля для производства пара и уменьшить выбросы в атмосферу в объеме 144–180 тыс. т, в том числе 100–175 тыс. т СО₂, 1280–1600 т SO₂. Это способствует ослаблению парникового эффекта и улучшению состояния окружающей среды [3].

Несмотря на технологические, энергетические и экологические преимущества, установки сухого тушения кокса (УСТК) являются одним из источников вредных выбросов, образующихся при производстве кокса. Ввиду особенностей технологии сухого тушения и операций по загрузке в УСТК раскаленного кокса и выгрузке протушенного образуется дополнительное количество циркуляционного газа, которое необходимо сбрасывать из контура охлаждающего агента.

В процессе тушения кокса в УСТК при многократной циркуляции газа через раскаленный кокс происходит его качественное и количественное изменение. Это связано с взаимодействием углерода кокса с циркуляционным газом. В УСТК реализуются следующие химические реакции: $C + O_2 = CO_2$, $2C + O_2 = 2CO$, $C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$, $C + H_2O = CO + H_2$, $C + CO_2 = 2CO$ [4].

Особенно необходимо выделить последнюю реакцию. Если первые четыре реакции являются кратковременными и протекают при определенных условиях, то реакция восстановления двуокиси углерода до окиси углерода в зоне высоких температур кокса и в отсутствии кислорода происходит в течение всей работы УСТК, что ведет к увеличению содержания СО в циркулирующем газе [5]. В случае невыполнения технологической операции по снижению содержания СО в тракте циркуляционного газа содержание его увеличивается до 20–25 %, содержание Н₂ — до 20 %. При этом в выбросах избыточного циркуляционного газа содержание СО также максимальное.

До недавнего времени в технологиях УСТК отечественного и зарубежного производства, например, в установках проекта “Ниппон Стил”, “Штиль Отто” [6], в циркулирующем газе содержание СО поддерживалось на уровне 12–21 %, Н₂ — 15–20 %. Однако необходимость снижать негативное воздействие на окружающую атмосферу при использовании технологии УСТК заставляет проектные компании и действующие производства выполнять технические решения, обеспечивающие уменьшение или устранение выбросов СО с избыточным циркуляционным газом.

Одним из способов обезвреживания сбрасываемого избыточного газа является осуществление более полного дожигания горючих компонентов (СО и Н₂) циркулирующего газа в кольцевом газоходе тракта УСТК. В отечественной практике данные технологические решения прописаны в инструкции по пуску и эксплуатации УСТК проекта “Гипрококса” и “Правилах технической эксплуатации коксохимических предприятий и про-

изводств”, принятых в 2016 г. Эти технологические решения применяются на большинстве коксовых производств России, стран СНГ и Европы.

Другим способом снижения выбросов СО в атмосферу от УСТК может быть утилизация избыточного циркуляционного газа. Среди вариантов решения данной проблемы — утилизация избыточного циркуляционного газа путем сжигания его в смеси с высококалорийным газом в котле-утилизаторе с получением пара. Такая технология реализована и находится в эксплуатации на одном из коксовых производств компании JSW, Польша.

ГП “Гипрококк”, Украина, предлагает производить обезвреживание СО в установках термокаталитического окисления, где СО окисляется до СО₂. Данный проект и технические решения пока не реализованы.

Наиболее эффективным решением развития технологии сухого тушения кокса, обеспечивающим не только утилизацию избыточного циркуляционного газа с дальнейшим его применением, но и снижение потерь (угара) кокса, и способом повышения его качественных характеристик является утилизация избыточного циркуляционного газа в качестве топлива. Предлагается стабилизировать и поддерживать состав циркуляционного газа, обеспечив содержание горючих компонентов в газе на уровне разрешенных показателей, объединить потоки избыточного газа от камер УСТК, обогатить его небольшим количеством высококалорийного газа (коксового или природного) и передать на обогрев коксовых печей или другим потребителям топлива.

Данное техническое решение было впервые реализовано в компании ArcelorMittal на коксовом производстве металлургического завода им. Е. Зендимира в г. Краков, Польша, в 1999 г. при проведении реконструкции коксового производства. В настоящее время установка не эксплуатируется по причине остановки производства, применяющего газ УСТК.

В 2017 г. на коксохимическом производстве ЕВРАЗ НТМК реализован проект технического перевооружения УСТК с утилизацией избыточного циркуляционного газа, он имел существенные технические отличия от проекта, реализованного компанией ArcelorMittal.

По технологической схеме избыточный циркуляционный газ собирается от работающих камер в коллектор, очищается от пыли в рукавном фильтре, охлаждается, обогащается высококалорийным газом и передается в газопровод доменного газа для дальнейшего применения в качестве топлива. В проекте были реализованы мероприятия, обеспечивающие повышение технической оснащенности УСТК.

УСТК коксохимического производства ЕВРАЗ НТМК была построена в 1986 г. в комплексе коксовых батарей № 9–10 и состоит из 7 блоков камера–котел. В настоящее время при плановом производстве 1,53 млн т/год кокса тушение кокса осуществляется четырьмя камерами УСТК. До реализации проекта валовые выбросы СО с избыточным газом УСТК составляли 17178,5 т/год.

В рамках проекта по техническому перевооружению УСТК были реализованы следующие мероприятия:

- проведена реконструкция аспирационной системы узла разгрузки кокса с заменой мокрых пылеуловителей на рукавный фильтр;

- смонтирована система измерения состава и количества избыточного циркуляционного газа, сбрасываемого через холодные свечи, сборный коллектор и разгрузочные устройства для выгрузки кокса;

- для обеспечения контроля количества поступающего сырья — угольной шихты на коксование и кокса, выгружаемого с УСТК, смонтированы ленточные весы на транспортерах подачи угля в угольную башню для коксовых батарей № 9–10 и транспортерах кокса, передаваемого от УСТК на коксортировку. Система обеспечивает контроль удельного расхода углей на коксование;

- смонтированы система сбора избыточного газа УСТК, рукавный фильтр для очистки газа от пыли, котел-утилизатор для охлаждения газа и две ступени вентиляторов для обеспечения безопасного гидравлического режима сборного коллектора для избыточного циркуляционного газа и передачи его в систему газопровода доменного газа;

- выполнена система управления технологией утилизации избыточного циркуляционного газа и обеспечения безопасности технологического процесса.

Принципиальная схема утилизации избыточного циркуляционного газа, реализованная при осуществлении технического перевооружения УСТК на коксохимическом производстве ЕВРАЗ НТМК, представлена на рисунке.

В данном проекте реализована система непрерывного измерения потерь (угара) кокса путем определения состава, количества газа, отводимого от УСТК через холодные свечи и разгрузочные устройства камер УСТК. Для повышения эффективности реализуемой технологии и снижения расхода природного газа для стабилизации калорийности обогащенного газа УСТК и передачи его в газопровод доменного газа содержание СО и Н₂ в составе циркуляционного газа УСТК поддерживается на уровне 12–15 и 4–5 % соответственно.

Технологическая схема УСТК АО ЕВРАЗ НТМК с утилизацией избыточного циркуляционного газа

Technology flowsheet of JSC EVRAZ NTMK coke dry quenching facility with utilization of excess circulating gas

В ходе реализации проекта проводились исследования и испытания по определению влияния состава циркуляционного газа на качество металлургического кокса. Был определен оптимальный состав циркуляционного газа для обеспечения лучших показателей прочности кокса по CSR и CRI. Результаты испытаний на ЕВРАЗ НТМК по влиянию состава циркуляционного газа на качество кокса подтвердились при проведении исследовательских работ на родственном предприятии с использованием однотипного УСТК и коксовых батарей.

Потери (угар) кокса в технологии сухого тушения с применением циркуляционного газа УСТК с оптимальным содержанием горючих компонентов обеспечили возможность снизить данный показатель до 0,6–0,5 %, что подтверждается изменением объема и состава отводимых избыточных газов от работающих камер УСТК.

Измеренный средний расход газа на свечу при одинаковой производительности камер УСТК 44–47 т/ч кокса (сух.) снизился с 4–4,5 до 3 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ на одну камеру.

Реализация проекта “Техническое перевооружение установки сухого тушения кокса КЦ № 3” обеспечивает:

Снижение выбросов вредных веществ, в том числе СО от УСТК, т/год	17178,5
Снижение выбросов парниковых газов, тыс. т/год	42
Снижение выбросов коксовой пыли, т/год	143
Снижение потерь кокса (угара) — расхода угля на коксование, тыс. т/год	7
Снижение расхода топлива, тыс. т у.т./год	7

В целом реализация проекта технического перевооружения УСТК с ликвидацией выбросов вредных веществ с избыточным циркуляционным газом обеспечивает снижение выбросов

вредных веществ при осуществлении производственной деятельности АО ЕВРАЗ НТМК — 4 кг/т стали.

Поддержание оптимальных параметров состава циркуляционного газа при условии ликвидации выбросов избыточного охлаждающего агента обеспечивает возможность получения кокса от УСТК с повышенными показателями механической прочности CSR и CRI относительно заявляемых компаниями, обладающими передовыми технологиями сухого тушения кокса. По данным зарубежных компаний, опыту работы

многочисленных коксохимических производств в Китае, УСТК увеличивает показатель CSR на 2,5 % относительно мокрого тушения при прочих равных условиях. В данном случае по результатам испытаний данный показатель составил $\geq 4,5\%$ [7].

Проект технического перевооружения УСТК, реализованный на коксохимическом производстве АО ЕВРАЗ НТМК, определен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации в 2017 г. как наилучшая доступная технология.

Выводы

1. Исследования, проводимые при реализации проекта технического перевооружения УСТК, подтвердили зависимость и влияние состава циркулирующего газа на показатели металлургического кокса CSR и CRI.

2. При реализации проекта по техническому перевооружению УСТК обеспечена локализация

вредных выбросов с избыточным циркуляционным газом УСТК.

3. Оптимальные технологические параметры циркуляционного газа обеспечивают снижение потерь (угара) кокса при применении технологии сухого тушения и улучшают прочностные и физико-химические показатели кокса, повышают эффективность доменного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Новости черной металлургии за рубежом. 2010. № 5. С. 11.*
2. *Новости черной металлургии за рубежом. 2010. № 4. С. 11.*
3. *Новости черной металлургии за рубежом. 2010. № 5. С. 13.*
4. Сытенко И.В., Лобов А.А., Шрейдер С.А., Назаров В.В. Влияние гидравлического режима работы форкамеры УСТК на качество кокса // *Кокс и химия*. 1982. № 9. С. 19, 20.
5. Теплицкий М.Г., Гордон И.З., Кудрявая Н.А. Сухое тушение кокса. — М.: Металлургия, 1971. С. 124–126.
6. *Новости черной металлургии за рубежом. 1996. № 2. С. 115–125.*
7. Гилязетдинов Р.Р., Суворов К.В., Соколов Д.А. и др. Способ повышения качества кокса сухого тушения // *Кокс и химия*. 2015. № 6. С. 16, 17.

Поступила 18 октября 2018 г.

REFERENCES

1. *Novosti chernoi metallurgii za rubezhom*, 2010, no. 5, pp. 11. (In Russ.).
2. *Novosti chernoi metallurgii za rubezhom*, 2010, no. 4, pp. 11. (In Russ.).
3. *Novosti chernoi metallurgii za rubezhom*, 2010, no. 5, pp. 13. (In Russ.).
4. Sytenko I.V., Lobov A.A., Shreider S.A., Nazarov V.V. Influence of hydraulic operating regime of pre-chamber of coke dry quenching facility on the coke quality. *Koks i khimiya*, 1982, no. 9, pp. 19, 20. (In Russ.).
5. Teplitskii M.G., Gordon I.Z., Kudryavaya N.A. *Sukhoe tushenie koksa* [Coke dry quenching]. Moscow: Metallurgiya, 1971, pp. 124–126. (In Russ.).
6. *Novosti chernoi metallurgii za rubezhom*, 1996, no. 2, pp. 115–125. (In Russ.).
7. Gilyazetdinov R.R., Suvorov K.V., Sokolov D.A., Popova I.K., Malanicheva S.I., Zhuravleva E.R. A method of increasing quality of the dry quenched coke. *Koks i khimiya*, 2015, no. 6, pp. 16, 17. (In Russ.).

Received October 18, 2018