

УДК 662.612.31.669.173.22

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВНОГО ГАЗА В РИФОРМЕРЕ УСТАНОВКИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Г. М. Дружинин<sup>1</sup>, Д. В. Мехряков<sup>1</sup>, С. В. Петров<sup>2</sup>, А. В. Карпешин<sup>2</sup>,  
П. В. Маслов<sup>1</sup>, А. А. Ашихмин<sup>1</sup>, Н. Б. Лошкарев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ОАО «ВНИИМТ» (г. Екатеринбург, Россия),

<sup>2</sup> АО ОЭМК (г. Старый Оскол, Россия),

<sup>3</sup> ФГАОУ ВО УрФУ (г. Екатеринбург, Россия)

Опыт модернизации горелочных устройств с увеличенным диаметром сопел на установке металлизации № 4 фабрики окомкования и металлизации АО ОЭМК показал эффективность принятых решений. Производительность установки металлизации увеличена на 2 т/ч. Сокращен удельный расход природного газа на 7–8 м<sup>3</sup>/т, увеличен эффективный срок службы горелок и устранены негативные факторы, влияющие на эксплуатацию.

**Ключевые слова:** горелка, топливный газ, установка металлизации, процесс «Мидрекс», риформер, повышенное давление, карбонатные отложения.

В отделе металлизации фабрики окомкования и металлизации (ФОиМ) АО ОЭМК эксплуатируются установки металлизации (УМ) типа «модуль 400». Процесс осуществляется по технологии «Мидрекс» — металлизация окисленных железорудных окатышей в шахтных печах путем их восстановления до металлического состояния восстановительным газом. Восстановительный газ с повышенным содержанием водорода и оксида углерода производится в риформере — реакторе для переработки природных углеводородов. Выходящий из печи колошниковый газ направляется в скруббер для очистки от пыли и охлаждения водой. Часть газового потока (топливный газ) осушается, обогащается природным газом и подается на горелки риформера.

Эксплуатация УМ выявила следующую проблему: в результате образования карбонатных отложений в эксплуатационный период происходит уменьшение диаметра сопел главных горелок (межремонтный период составляет 11,5 мес.). Заращение сопел главных горелок обусловлено отложениями остаточной пыли, содержащейся в конденсате топливного (колошникового) газа. Толщина отложений достигает 5 мм, что приводит к уменьшению диаметра сопла на 10 мм. Вследствие этого растет давление топливного газа со 160–170 до 210–220 мбар, что влечет за собой ряд негативных факторов:

увеличение длины пламени и вынос пыли из остаточного конденсата топливного газа на поверхность мягкой футеровки свода риформера, что приводит к разрушению футеровки;

отсутствует возможность эксплуатации установок металлизации с давлением колошникового газа в интервале 0,18–0,30 бар согласно технологической инструкции из-за невозможности поддержания давления в установке менее 0,21 бар;

отсутствие технической возможности стопроцентной очистки сопел главных горелок в период капитального ремонта на разогретом риформере — полное

охлаждение риформера ведет к преждевременному износу реакционных труб риформера.

Для решения комплекса отмеченных проблем использовали опыт эффективной совместной работы специалистов АО ОЭМК и ОАО «ВНИИМТ». Перед учеными и проектировщиками стояла задача реализации комплекса работ:

обоснование продления срока службы основных сопел главных горелок типа А и Б УМ № 4 путем увеличения диаметра газовых сопел горелок;

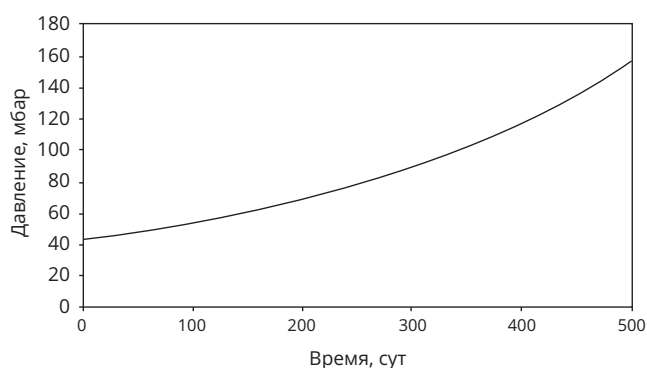
разработка рабочей документации по модернизации главных горелок;

рассмотрение возможностей повышения производительности и оптимизации процесса металлизации.

Основанием для положительного решения последней задачи послужил следующий факт: увеличение диаметра сопел подачи топливного газа в УМ № 4 при неизменной величине расхода топливного газа приводит к снижению скорости истечения топливного газа и, как следствие, более равномерному нагреву труб риформера и снижению вероятности перегрева его свода. В конечном итоге это дает увеличение скорости риформинга и, соответственно, производительности печи.

Данное решение позволило максимально использовать возможности жаропрочных реакционных труб нового поколения, установленных на агрегате в ходе его последнего планового капремонта. Модернизированные горелочные устройства с увеличенным диаметром сопел позволяют с максимальной эффективностью использовать технические преимущества новых реакционных труб.

Для обоснования положительного влияния увеличения диаметра сопла горелки на продление срока службы разработали физическую и математическую модели процесса заращения сопел главных горелок в процессе эксплуатации. Математическая модель позволяет рассчитать изменение давления газа в процессе налипания на стенки сопла карбонатных отложений.



Изменение давления для увеличенного сопла горелки

Отложения состоят из карбонатов, температура плавления которых 800-850 °С. Это означает, что при работе газовое сопло нагревается до более высоких температур, поэтому попавшие на него частицы карбонатов плавятся и, имея низкую скорость в пограничном слое, прилипают к поверхности металла. Поэтому увеличение диаметра сопла не предотвращает налипания пыли на внутреннюю поверхность сопел, а лишь снижает давление и увеличивает время зарастания сопла. Радикально решить проблему зарастания сопел можно их охлаждением ниже температуры плавления пыли (до 500-600 °С), например водяным охлаждением, что потребует достаточно больших капитальных затрат.

Собранные исходные данные позволили предположить, что скорость зарастания трубы равномерна и может быть описана линейным уравнением. В основу математической модели положена зависимость расхода среды (газа) в трубе от давления.

Для обеспечения работы риформера необходимо сохранить постоянный расход газа при изменении проходного сечения сопла, что можно сделать, повышая давление газа. Из опыта эксплуатации известны время образования и толщина налипшего на сопло слоя карбонатов, а также диапазон изменения давления газа перед горелкой. Для расчетов принято, что нарастание толщины отложений идет с постоянной скоростью.

В результате расчетных работ построили графические зависимости, описывающие изменение диаметра сопла со временем для главных горелок УМ № 4. Используя известные данные по расходу газа для всех типов горелок риформера, определили расчетные зависимости изменения скорости газа при изменении

диаметра сопла. Для построения графической зависимости, описывающей изменение давления газа перед горелкой в зависимости от изменения скорости газа на выходе из сопла во времени, использован тот факт, что коэффициент гидравлического сопротивления сопла горелки и свойства среды не меняются, т. е. остаются постоянными.

Анализ вышеуказанных графических зависимостей показал, что давление газа перед горелками, полученное расчетным путем, практически совпадает с реальными давлениями. Таким образом, можно считать, что математическая модель правильно отражает изменения перед горелками в процессе их эксплуатации и может быть применена для расчета времени, при котором давление перед горелками, имеющими больший диаметр, не будет превышать требуемых значений. Такие расчеты были проведены, их результаты сведены в графическую форму (рисунок).

Из графика видно, что при увеличении диаметров сопла время его зарастания до момента превышения давления перед горелкой допустимых пределов увеличивается примерно в 1,5 раза. Таким образом, горелки с увеличенными диаметрами сопел прослужат не 345, а как минимум 500 дней.

Модернизация горелочных устройств с увеличением диаметра сопел согласно выводам научной работы и разработанной рабочей документации была проведена в сентябре 2015 года. Данное мероприятие позволило увеличить производительность на 2 т/ч. Кроме того, удалось сократить удельный расход природного газа на 7-8 м<sup>3</sup>/т, а также уменьшить динамическую нагрузку на футеровку свода риформера. Мощность горелок увеличилась на 23-24 %.

Опыт эксплуатации с конца 2015 г. подтвердил правильность расчетов по обоснованию увеличения срока службы горелок и устранению негативных факторов, влияющих на эффективное использование.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мехряков Д. В., Грезнев В. Г., Малей И. В. и др. Опыт проведения модернизации установок металлизации по технологии «Мидрекс» на Оскольском электрометаллургическом комбинате // Сталь. 2015. № 3. С. 25 – 27.
2. Дружинин Г. М., Лошкарев Н. Б. Отчетная записка. Риформер установки металлизации № 4. Инжиниринговые услуги. ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» — Екатеринбург: ОАО «ВНИИМТ», 2015 – 28 с.

Статья поступила 16.03.2020

## Контактная информация

Данная статья опубликована в журнале Сталь № 5, 2020 г., посвященном 90 летнему юбилею научно-исследовательского института металлургической теплотехники ОАО «ВНИИМТ». Институт ВНИИМТ предлагает эффективные технологии переработки металлургического сырья и энергоэффективные печные агрегаты, горелочные устройства для металлургии и машиностроения.

Если Вас заинтересовала информация, представленная в данной статье, Вы можете обратиться по следующим координатам.

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»  
(ОАО «ВНИИМТ»).

620137, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Факс.: +7 (343) 374-29-23

Email: [aup@vniimt.ru](mailto:aup@vniimt.ru)

[www.vniimt.ru](http://www.vniimt.ru)