

УДК 622.788.008

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ВНИИМТ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СХЕМ ОБЖИГОВЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ МАШИН С РАБОЧИМИ ПЛОЩАДЯМИ 278, 306 и 552 м<sup>2</sup>

А. А. Буткарев<sup>1</sup>, С. Н. Вербыло<sup>2</sup>, Е. А. Бессмертный<sup>2</sup>, Е. А. Буткарева<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ЧАО «СевГОК» (г. Кривой Рог, Украина)

Выполнено теплотехническое обследование работы обжиговых машин с разной рабочей площадью Lurgi-278A, ОК-306, Lurgi-552A, Lurgi-552B ЧАО «СевГОК». Проведено промышленное исследование работы разных элементов обжиговой машины, технологических зон сушки, подогрева, обжига, рекуперации, охлаждения. По методике ОАО «ВНИИМТ» проведен анализ структур теплотехнических схем обжиговых машин и режимных параметров их работы, выполнены теплотехнические расчеты теплообмена и газодинамики в слое, параметров газозвушных потоков обжиговой машины, оптимизирующие расчеты с целью увеличения удельной производительности. В результате разработаны технические решения по увеличению удельной часовой производительности обжиговых машин до 1 т/м<sup>2</sup> с сохранением и повышением качественных характеристик готовых окатышей.

**Ключевые слова:** обжиговая конвейерная машина, железорудные окатыши, теплотехническая схема, промышленное обследование, оптимизация.

ОАО «ВНИИМТ» совместно с «МетинвестИнжиниринг» и ЧАО «СевГОК» выполнили теплотехническое обследование обжиговых конвейерных машин ЧАО «СевГОК» с разной рабочей площадью Lurgi-278A, ОК-306, Lurgi-552A, Lurgi-552B, разработали технические решения по увеличению удельной часовой производительности до 1 т/м<sup>2</sup> с сохранением и повышением качественных характеристик готовых окатышей на основе методологии ОАО «ВНИИМТ» комплексного исследования и оптимизации теплотехнических схем обжиговых конвейерных машин [1 – 4], включающей:

декомпозицию глобального критерия оптимизации (экономический эффект) на составляющие с учетом расхода топлива, электроэнергии и производительности обжиговой машины;

разделение обжиговой машины на отдельные элементы, их исследование и анализ влияния на составляющие компоненты глобального критерия;

поэтапное решение задачи оптимизации.

При решении задачи на первом этапе исследуют и оптимизируют основные конструктивные элементы теплотехнической схемы (технические решения, определяющие структуру агрегата), включая схемы организации газопотоков в технологических зонах, построение системы отопления горна обжиговой машины и возврата теплоты газов, отходящих из зоны охлаждения в зоны нагрева. При этом технические решения и основные конструктивные элементы с учетом результатов проведенных исследований классифицируются по их эффективности следующим образом.

Технические решения, обоснованные теоретически, которые необходимо применять на практике:

реверсивная сушка (продув/просасывание);

однопоточная система прямого перетока;

инжекционные горелки;

безреверсивная схема охлаждения холодным (атмосферным) воздухом.

Целесообразность их применения практически не зависит от требований к качеству окатышей (для доменного производства или для металлизации), особенностей обрабатываемого сырья (магнетитовые или гематитовые концентраты, добавки твердого топлива в шихту, наличие серы в шихте, основность и др.).

Технические решения, применение которых в каждом случае необходимо обосновывать с использованием предложенных методик:

двух- и более поточная система прямого перетока газообразного теплоносителя;

охлаждение окатышей на первой стадии нагретым воздухом.

Технические решения, не рекомендуемые к использованию:

сушка слоя окатышей на начальной стадии с просасыванием теплоносителя;

послойная загрузка окатышей с промежуточной сушкой и просасыванием теплоносителя;

вентиляторная система перетока с разбавлением теплоносителя;

двухпроводные горелки;

реверсирование теплоносителя при охлаждении или охлаждение в выносном охладителе.

Как показали расчеты, охлаждение на первой стадии нагретым воздухом в текущей рыночной ситуации не рекомендуется, так как это снижает производительность зоны охлаждения и обжиговой машины в целом.

На втором этапе оптимизируют конструктивные и режимные параметры термообработки слоя окатышей по технологическим зонам, включая давление (разрежение) в газозвушных камерах (ГВК), температуру теплоносителя (охлаждающего агента) на входе в слой, температуру воздуха горения и разбавления и

Таблица 1. Характеристики обжиговых машин и резервы повышения их эффективности\*

Параметр	ОК-306	Lurgi-278A	Lurgi-552A, Lurgi-552B	ОАО ОЭМК Lurgi-480 [7]
Площадь технологических зон, м <sup>2</sup>	310,5	278	552	480
Длина рабочей поверхности, м	103,5	79,5	138	120
Ширина тележки, м	3	3,5	4	4
Длина ГВК, м	3	3	6	6
Площадь одной ГВК, м <sup>2</sup>	9	10,5	24	24
Количество ГВК, шт.	34,5	26,5	23	20
Количество тягодутьевых установок (ТДУ), шт.	6	6	5	5
Инжекционные горелки	+	+	+ (над ГВК № 6, 7)	—
Наличие коллектора прямого перетока	—	—	—	—
Охлаждение атмосферным воздухом вместо нагретого	+	—	—	—
Исключение реверсирования в охлаждении	—	—	—	—
Исключать подачу/отсос газопотоков с помощью одной ТДУ одновременно в/из горна и в/из ГВК	+	+	+	+
Исключение газоочисток на внутренних газопотоках	+	—	—	—
Замена циклонов на электрофильтры	+	+	—	—
Реализация зоны сушки 1 с продувом теплоносителя с подачей теплоносителя из горна зоны охлаждения 2	+	—	—	—
Максимизировать количество газообразного теплоносителя, передаваемого из одной зоны низкого давления в другую (например, горн) прямым перетоком (без использования дополнительных ТДУ)	+	—	—	—
Оптимизация соотношения площадей технологических зон	+	+	+	+
Оптимизация давлений (разрежений) в ГВК	+	+	+	+
Оптимизация режима термообработки	+	+	+	+

\* «+» — резерв по улучшению показателей за счет реализации указанного технического решения есть; «—» — резерва по улучшению показателей нет.

коэффициенты их расхода, распределение полезной площади обжиговой машины по технологическим зонам, а также высоту слоя сырых окатышей, донной и бортовой постели, диаметр окатышей и порозность слоя окатышей и постели. Постановка задач второго этапа, методические подходы, а также результаты исследования и оптимизации подробно изложены в [4].

На третьем этапе оптимизируют исполнение элементов теплотехнической схемы на основе дополненных, обобщенных и систематизированных принципов конструирования в части снижения удельного расхода электроэнергии, топлива, увеличения производительности и улучшения экологии [2, 3].

На четвертом этапе предусматривают оптимизацию режимных параметров термообработки железорудных окатышей, что обеспечивается реализуемая в составе АСУТП подсистема оптимального управления, построенная по детерминированным математическим моделям.

Теплотехнические схемы обследуемых обжиговых конвейерных машин представлены на рисунке, а — в. Основные параметры работы обжиговых машин и резервы улучшения показателей, разработанные на основе анализа теплотехнических схем, представлены в табл. 1.

Обжиговая машина ОК-306 (см. рисунок, а) имеет рабочую площадь 310,5 м<sup>2</sup> (34,5 ГВК), машина обслуживается шестью технологическими ТДУ различного назначения, снабжена переточным коллектором.

Ширина обжиговой тележки и длина ГВК — по 3 м. Обжиговая машина оборудована девятью парами горелочных устройств, чем обеспечивается необходимое распределение температуры в технологических зонах подгрева и обжига.

Особенности теплотехнической схемы обжиговой машины:

подача в зону сушки 1 (на продув) газов из ГВК зон обжига и рекуперации, а не из зоны охлаждения. Дроссель Др1, предназначенный для подачи воздуха из горна зоны охлаждения 2, закрыт;

охлаждение окатышей на первой стадии запыленным нагретым воздухом, подаваемым под давлением из горна зоны охлаждения 2;

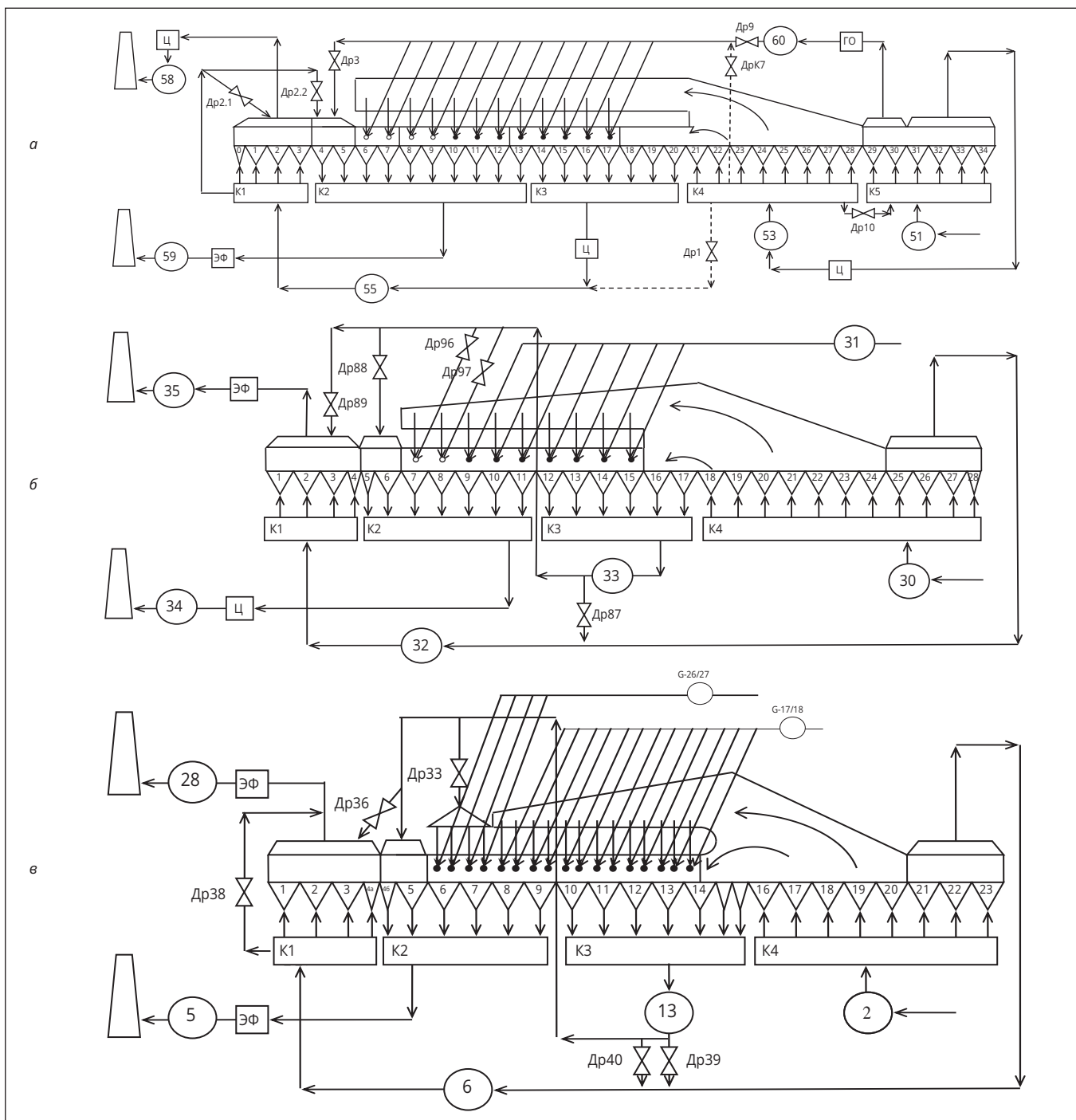
подача ТДУ 60 из горна зоны охлаждения в зону сушки 2 нагретых газов с температурой 350 °С и в качестве воздуха на горение (при неработающей ТДУ 60 возможна подача воздуха дымососом 53 через дроссель ДрК7);

использование турбулентных двухпроводных горелок;

переточная система с одним переточным коллектором круглого сечения;

наличие газоочисток на внутренних газопотоках; использование в качестве газоочисток циклонов и электрофильтров.

Теплотехническая схема обжиговой машины Lurgi-278A представлена на рисунке, б. Рабочая площадь



Теплотехнические схемы обжиговых машин ЧАО «СевГОК»: а — ОК-306; б — Lurgi-278А; в — Lurgi-552А, Lurgi-552Б (числа — номера ТДУ, ЭФ — электрофильтр, Ц — циклоны)

обжиговой машины 278,25 м<sup>2</sup> (28 ГВК), она обслуживается шестью технологическими ТДУ разного назначения, снабжена переточным коллектором переменного сечения. Ширина обжиговой тележки — 3,5 м, длина ГВК — 3 м. Обжиговая машина оборудована восемью парами горелочных устройств, чем обеспечивается необходимое распределение температуры в технологических зонах подогрева и обжига. Особенности теплотехнической схемы обжиговой машины:

подача в зону сушки 1 (на продув) газов из горна зоны охлаждения 2 и, частично, через дроссель Др87 из ГВК зон обжига и рекуперации;

- охлаждение окатышей атмосферным воздухом по всей длине зоны охлаждения;
- использование турбулентных двухпроводных горелок;
- подача в качестве воздуха на горение холодного атмосферного воздуха;
- переточная система с одним переточным коллектором переменного сечения;
- газоочисток на внутренних газопотоках нет;
- в качестве газоочисток используются циклоны и электрофильтры.

Теплотехническая схема обжиговых машин Lurgi 552-А и Lurgi 552-Б представлена на рисунке, в. Ра-

бочая площадь обжиговой машины 552 м<sup>2</sup> (23 ГВК) и обслуживается пятью технологическими ТДУ разного назначения, снабжена переточным коллектором переменного сечения. Ширина обжиговой тележки — 4 м, длина ГВК — 6 м. Обжиговая машина оборудована 17-ю парами горелочных устройств, чем обеспечивается необходимое распределение температуры в технологических зонах подогрева и обжига.

Особенности теплотехнической схемы обжиговой машины:

подача в зону сушки 1 (на продув) газов из горна зоны охлаждения 2 и, частично, через дроссели Др39, Др40 из ГВК зон обжига и рекуперации;

охлаждение окатышей атмосферным воздухом по всей длине зоны охлаждения;

использование двухпроводных (над ГВК № 6, 7) и инжекционных горелочных устройств;

подача в качестве воздуха на горение холодного атмосферного воздуха;

в зоне подогрева (над ГВК № 6, 7) в качестве воздуха разбавления используются газы, отходящие из ГВК зон обжига и рекуперации с температурой не выше 300 °С, а не из переточного коллектора с температурой 900 – 1000 °С;

переточная система с одним переточным коллектором переменного сечения;

отсутствие газоочисток на внутренних газопотоках;

использование в качестве газоочисток электрофильтров.

Все обжиговые машины содержат эффективные технические решения, которые необходимо применять в любом случае — реверсивная сушка, безреверсивное охлаждение, однопоточная система прямого перетока.

На обжиговой машине ОК-306 реализована неэффективная схема охлаждения окатышей нагретым воздухом. В [5, 6] уже было показано, что подача нагретого до 150 – 200 °С запыленного воздуха из горна зоны охлаждения 2 под давлением в ГВК зоны охлаждения 1 с помощью ТДУ 53 обуславливает ряд недостатков:

снижение удельной производительности зоны охлаждения и обжиговой машины в целом (на 8 – 11 %) по сравнению с охлаждением только атмосферным воздухом по всей площади зоны охлаждения;

увеличенный удельный расход электроэнергии на 2 – 3 кВт · ч/т в сравнении с охлаждением атмосферным воздухом при экономии природного газа не более 1 м<sup>3</sup> (как показывают расчеты, отмеченные недостатки значительно перекрывают эффект от ожидаемой экономии топлива);

значительное ухудшение экологической обстановки: повышенная температура, запыленность вблизи обжиговой машины в районе зоны охлаждения из-за вредных продувов (до 25 – 30 %) нагретого запыленного воздуха через продольные уплотнения ГВК и уплотнения горна первой секции охлаждения на рабочей площадке;

снижение ресурса работы подшипников обжиговых тележек, пластин продольных уплотнений ГВК и

бортовых уплотнений вследствие их перегрева и выгорания смазки;

повышение средней температуры обжиговой тележки с последующей деформацией подколосниковых балок;

перегрев кожуха и металлоконструкций обжиговой машины в зоне охлаждения.

Переход на охлаждение атмосферным воздухом по всей площади зоны охлаждения позволит увеличить производительность обжиговой машины ОК-306. На обжиговых машинах Lurgi-278А и Lurgi-552А, Lurgi-552Б уже применяется схема охлаждения атмосферным воздухом по всей площади.

Подача в зону сушки 1 газов на ГВК зоны обжига и рекуперации на обжиговой машине ОК-306 ухудшает процесс сушки в зоне сушки 1, так как в отходящих газах из-за сжигания топлива дополнительно появляются водяные пары, приводящие к переувлажнению и усадке слоя. Кроме того, в этой схеме существует обратная связь, ухудшающая работу обжиговой машины. Когда идет слой с плохой газопроницаемостью, то в ГВК зон рекуперации и обжига снижается температура и уменьшается количество теплоносителя, подача которого в зону сушки 1 дополнительно ухудшает сушку, слой еще больше «запирается» и, подходя к зоне обжига и рекуперации, еще больше ухудшает процесс (снижает количество и температуру теплоносителя). подача нагретых до 300 °С запыленных сернистых и содержащих оксиды азота газов из ГВК зон обжига и рекуперации ухудшает экологию на рабочих площадках вблизи зоны сушки 1 вследствие выбивания вредных газов через уплотнения. Таким образом, схема с подачей теплоносителя в зону сушки 1 из зоны охлаждения более предпочтительна и реализована на обжиговых машинах Lurgi-278А и 552А, 552 Б, где основной поток теплоносителя идет из горна зоны охлаждения 2.

Резервом снижения расхода природного газа на всех исследуемых обжиговых машинах является переход на использование инжекционных горелочных устройств, например, конструкции ОАО «ВНИИМТ» вместо используемых турбулентных двухпроводных горелок (на обжиговых машинах Lurgi-552А и Lurgi-552Б — только над ГВК № 6, 7, остальные горелки — инжекционные). При этом на обжиговой машине ОК-306 в качестве первичного воздуха используется нагретый воздух до 300 – 350 °С, подаваемый вентилятором 60 из горна зоны охлаждения 2, а на обжиговой машине Lurgi-278А в качестве воздуха горения используется атмосферный воздух. Поэтому эффективность перехода на инжекционные горелки на обжиговой машине ОК-306 будет ниже, чем на Lurgi-278А.

На существующих двухпроводных горелках для эффективного сжигания топлива поддерживается соотношение первичный воздух/природный газ в диапазоне 10 – 12/1. В качестве вторичного воздуха разбавления используют высокотемпературный воздух, отходящий из секции охлаждения 1 (с температурой 850 – 950 °С), поступающий в форкамеры через



**Таблица 2.** Распределение рабочей площади (числитель — количество ГВК, знаменатель — %) между технологическими зонами

Зона	Lurgi -552	Lurgi -278A	ОК-306	Lurgi-480 [7] ОАО ОЭМК
Сушка 1	3,5/15,2	3,5/13,2	3,5/10,1	2/10
Сушка 2	1,5/6,5	1,5/5,7	2/5,8	1/5
Сушка 3, подогрев	5/21,7	4/15,1	7/20,3	4,5/22,5
Обжиг	3,5/15,2	5/18,9	5/14,5	4/20
Рекуперация	1,5/6,5	2/7,5	3/8,7	1,5/7,5
Охлаждение 1	5/21,7	7/26,4	5/14,5	5/25
Охлаждение 2	3/13	3,5/13,2	9/26,1	2/10
Итого	23/100	26,5/100	34,5/100	20/100

опускные патрубки из переточного коллектора. В этом случае образование теплоносителя с температурой 1000 – 1300 °С происходит с использованием большого количества низкотемпературного (атмосферного воздуха с температурой 0 – 30 °С), что приводит к необходимости использования теплоты природного газа для увеличения температуры теплоносителя с 0 – 30 до 1000 – 1300 °С.

При применении инжекционных горелок в качестве первичного можно использовать атмосферный воздух с температурой ~ 20 °С, соотношение первичный воздух/природный газ поддерживать в диапазоне 1,5 – 2/1 и расходовать большее количество вторичного высокотемпературного воздуха. Это позволяет также экономить электроэнергию за счет снижения расхода воздуха горения, перемещаемого ТДУ.

На обжиговых машинах Lurgi-552A, 552B в зоне подогрева над ГВК № 6, 7 используются двухпроводные горелочные устройства с подачей атмосферного воздуха в соотношении газ/воздух 1/10 – 12 и газов, отходящих из ГВК зон обжига и рекуперации с температурой не более 300 °С, что не оптимально и повышает расход природного газа на термообработку.

Ширина обжиговых тележек на исследуемых обжиговых машинах 3; 3,5 и 4 м. Поэтому при одном и том же качестве продольных уплотнений обжиговая машина с шириной тележки 3,5 м (Lurgi-278A) будет с большей долей подсосов, проигрывая по ТЭП обжиговым машинам с шириной тележки 4 м (Lurgi-552A, 552B), но с лучшими показателями по сравнению с обжиговыми машинами с шириной тележки 3 м (ОК-306).

Подача высокотемпературного 350 °С из горна зоны охлаждения в горн зоны сушки 2 и воздуха на горение с помощью вентилятора 60 на обжиговой машине ОК-306 характеризуется повышенными затратами электроэнергии, так как не соответствует максимизации количества газа-теплоносителя, передаваемого из одной зоны низкого давления в другую (например, горн) прямым перетоком (без использования дополнительных ТДУ). Однако вентилятор 60 подает нагретый воздух на горение, что позволяет экономить топливо.

Отметим, что на обжиговых машинах Lurgi-552A, Lurgi-552B, Lurgi-278A, в отличие от обжиговой машины ОК-306, сборные коллекторы, включая пере-

точный коллектор, выполнены коническими для оптимизации потоков в каждом сечении трубопровода.

Для очистки сбрасываемых газов на тракте дымососа 34 обжиговой машины Lurgi-278A и тракте дымососа 58 обжиговой машины ОК-306 используются циклоны, которые целесообразно заменить на электрофильтры, обладающие минимальными аэродинамическим сопротивлением и потерями напора, а также высоким КПД очистки, низкими затратами электроэнергии. На обжиговых машинах Lurgi-552A, Lurgi-552B на сбросных потоках уже используются электрофильтры.

Исключение газоочисток на внутренних газопотоках, применение ТДУ, стойких к абразивному износу (с защитой ротора) трактов дымососов 55, 53 позволяют улучшить показатели работы обжиговой машины ОК-306. На обжиговых машинах Lurgi-278A, Lurgi-552A, Lurgi-552B газоочистки на внутренних газопотоках не используются.

Резервы, связанные с исключением подачи/отсоса газопотоков с помощью одной ТДУ одновременно в/из горна и в/из ГВК, могут быть использованы на следующих участках: обжиговая машина ОК-306 — сброс теплоносителя через Др2.1, Др2.2 в горн с нагнетающего тракта дымососа 55, подсос теплоносителя во всасывающий тракт дымососа 55 со стороны нагнетающего тракта дымососа 53 через дроссель Др1; подача с тракта дымососа 53 через ДрК7 в горн сушки 2 и воздуха на горение (при неисправности вентилятора 60); обжиговые машины Lurgi-552A, Lurgi-552B — сброс теплоносителя через Др38 с нагнетающего тракта дымососа 6. Следует избегать подключения к высоконапорным ТДУ, отсасывающим газы из ГВК, газопотоков из горна и аспирационных сбросов (на схемах не показаны). Реализация выявленных резервов позволит увеличить производительность обжиговых машин и экономить энергоресурсы.

Анализ распределения рабочей площади обжиговых машин между технологическими зонами представлен в табл. 2. Показано наличие избыточной площади зоны сушки 1 на Lurgi-552 (15,2 %) и 278A (13,2 %) против 10,1 % на ОК-306 и 10 % на Lurgi-480 ОАО ОЭМК, а также избыточной площади зоны охлаждения ОК-306 (40,6 %) и Lurgi-278A (39,6 %) против 34,8 % и 35 % на Lurgi-552 и 480 ОАО ОЭМК. Обследование работы обжиговых машин и технологии

производства окатышей проводили с декабря 2018 г. по февраль 2019 г. Выполнили инструментальные замеры с использованием переносных приборов, использовали показания стационарных КИП, собрана информация по фактическим режимам работы обжиговой машины. Были отмечены:

пониженная температура в ГVK зоны сушки 1 на машинах Lurgi-278A (180 °C) и ОК-306 (135 °C) против 230 – 280 °C на других обжиговых машинах;

пониженная температура на всех обжиговых машинах в горне зоны сушки 2 130 – 200 °C против 300 °C на машине ОАО ОЭМК [7] и 450 °C на обжиговых машинах АО ССГПО;

пониженные разрежения в ГVK зоны сушки 2 и подогрева на машинах Lurgi-552A и ОК-306 (50 даПа) из-за высоких подсосов в тракт и электрофильтр;

пониженные температуры в ГVK зоны обжига и рекуперации всех обжиговых машин (максимальная 200 – 330 °C) из-за больших подсосов в ГVK через продольные, поперечные уплотнения и другие неплотности;

повышенные расходы теплоносителя перед ТДУ с перегрузкой электродвигателей.

С использованием собранных исходных данных по фактическим режимам работы обжиговых машин выполнили многовариантные расчеты с целью определения оптимального распределения площадей технологических зон с тем, чтобы ни одна из них не лимитировала оптимальный теплотехнический режим, включая температуры газов в технологических зонах, давления (разрежения) в ГVK.

Расчет вели, используя адаптированную к реальному процессу математическую модель, включающую дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие баланс теплоты газа и материала обрабатываемого слоя, и уравнение газодинамики [4]. Модель позволяет определить температуры газа и материала слоя по всей его длине и высоте, температуру газов на выходе из слоя и скорости фильтрации газов через слой при заданных начальных и граничных условиях. В результате выполнения многовариантных расчетов предложили ряд технических решений, обеспечивающих увеличение удельной часовой производительности обжиговых машин до 1 т/м<sup>2</sup>.

Основные технические решения для увеличения производительности обжиговой машины ОК-306 до 310,5 т/ч:

уменьшенная на одну ГVK площадь зоны охлаждения и, соответственно, увеличенная на одну ГVK площадь зон нагрева. Это станет возможным за счет реализации технологии охлаждения атмосферным воздухом по всей длине зоны охлаждения;

сокращение на одну ГVK коллектора К4 и включение в него ГVK № 22-28;

исключение из схемы вентилятора 51 типа ВДН-52Б и использование его как резервного;

использование дымососа 53 для подачи охлаждающего воздуха в ГVK первой и второй секций зоны охлаждения. Для этого к нему подводится всасывающий

(атмосферный) трубопровод, а существующий трубопровод подачи из второй секции зоны охлаждения горячего воздуха через систему очистки заглушается. Для повышения экономичности дымососа 53 диаметр его ротора должен быть уменьшен на 15 %;

коллекторы К4 и К5 объединены через дроссель Др10, позволяющий регулировать окончание процесса охлаждения;

дымосос 59 заменен на более производительный и высоконапорный Д-15000, аналогичный используемым на обжиговой машине ОК-306;

коллектор К2 тракта дымососа 59 увеличен на три ГVK и включает ГVK № 4 – 16;

тракт дымососа 55 усилен последовательным включением дымососа 55а типа Д-15000 (возвращен в проектную схему);

коллектор К3 сокращен на две ГVK и включает ГVK № 17 – 21 (пять ГVK), что позволит увеличить температуру теплоносителя на сушку 1;

горячий воздух, необходимый для сжигания топлива, поступает в зоны нагрева прямым перетоком из горна увеличенной до 9,33 камер (ГVK № 22 – 36) первой секции охлаждения (воздух разбавления), а также с помощью дымососа 60 (воздух горения) из уменьшенной с 6 до 3,67 камер (ГVK 31 – 34) второй секции охлаждения;

установлена дополнительная пара горелочных устройств над ГVK № 18, аналогичная действующим, с внесением соответствующих изменений в систему автоматизации;

предусмотрен газоход сброса теплоносителя из тракта дымососа 60 в тракты дымососов 58 и 55.

Основные технические решения для увеличения производительности обжиговой машины Lurgi-278A до 278 т/ч:

для повышения эффективности охлаждения коллектор вентилятора 30 (ГVK № 18 – 28) разделен на два коллектора К4 и К5. Существующий вентилятор 30 работает на коллектор К4 (ГVK № 18 – 23), а вновь устанавливаемый вентилятор 30а типа ВДН-32Б — на коллектор К5 (ГVK № 24 – 28). Между коллекторами К4 и К5 установлен регулирующий дроссель;

дымосос 34 заменен на более производительный и высоконапорный типа Д-15000, аналогичный используемым на обжиговой машине ОК-306;

на тракте дымососа 34 установлен электрофильтр вместо циклонов;

коллектор К2 тракта дымососа 34 увеличен на одну ГVK и включает ГVK № 5 – 12;

коллектор К3 сокращен на одну ГVK и включает ГVK № 13 – 17 (пять ГVK);

переточный коллектор продлен до ГVK № 5 – 6. Теплоноситель в горне над ГVK № 5 – 6 формируется путем разбавления высокотемпературного воздуха, поступающего через переточный коллектор, воздухом, поступающим с тракта дымососа 33 через дроссель Др88. Данное техническое решение позволит более гибко регулировать температурный режим в горне зоны сушки 2;

горячий воздух, необходимый для сжигания топлива, поступает в зоны нагрева прямым перетоком из горна увеличенной до 7,5 камер (ГВК № 18 – 25) первой секции охлаждения (воздух разбавления);

двухпроводные горелочные устройства (14 шт.) заменены инжекционными, обеспечивающими сжигание природного газа в соотношении газ/воздух горения 1/2. При этом оставшаяся часть воздуха, необходимая для полного сжигания природного газа, подается через передаточный коллектор;

вентилятор 31 заменен на вентилятор, подающий воздух на горение в количестве 15 тыс. м<sup>3</sup>/ч при давлении 500 даПа.

Основные технические решения для увеличения производительности обжиговых машин Lurgi-552A, Lurgi-552Б до 552 т/ч:

для повышения эффективности охлаждения коллектор вентилятора 2 (ГВК № 16 – 23) разделен на два коллектора К4 и К5. Существующий вентилятор 2 работает на коллектор К4 (ГВК № 16 – 21), а вновь устанавливаемый вентилятор 2а типа ВДН-32Б — на коллектор К5 (ГВК № 22 – 23). Между коллекторами К4 и К5 установлен дроссель;

электродвигатель дымососа 5 мощностью 3 мВт с частотой вращения 595 мин<sup>-1</sup> заменен более мощным 4,5-мВт двигателем с частотой вращения 750 мин<sup>-1</sup>, аналогичным двигателям дымососа 6 и 13, что обеспечивает увеличенный напор и производительность дымососа 5;

электродвигатель дымососа 5 оснащен частотно-регулируемым приводом;

коллектор К2 тракта дымососа 5 увеличен на 1,5 ГВК и включает ГВК № 4а – 10;

коллектор К3 сокращен на одну ГВК и включает ГВК № 11 – 156 (пять ГВК);

коллектор К1 дымососа 6 сокращен на 0,5 ГВК (ГВК № 4а) и включает ГВК № 1 – 3;

переточный коллектор с опускными патрубками продлен до ГВК № 5 – 7. Теплоноситель в горне над ГВК № 5 – 7 формируется путем разбавления высокотемпературного воздуха, поступающего через переточный коллектор, воздухом, поступающим с тракта дымососа 13;

горячий воздух, необходимый для сжигания топлива, поступает в зоны нагрева прямым перетоком из горна увеличенной до 5,5 камер (ГВК № 16 – 21) первой секции охлаждения (воздух разбавления).

Для всех обжиговых машин необходимо выполнить следующие мероприятия:

установка двухдечных трехпродуктовых роликовых грохотов (укладчиков) на сырых окатышах с соответствующими конвейерными трактами;

капитальный ремонт металлоконструкций и оборудования обжиговых машин с целью снижения подсосов/утечек;

теплоизоляция газоходов;

восстановление работоспособности вентиляторов уплотняющего воздуха в зоне охлаждения;

снижение перепада тележек по высоте путем их замены и ремонта;

модернизация АСУТП и перевод поточно-транспортной системы на управление от контроллера.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено теплотехническое обследование работы обжиговых машин разной рабочей площади Lurgi-278А, ОК-306, Lurgi-552А, Lurgi-552Б ЧАО «СевГОК». Проведено промышленное исследование работы различных элементов обжиговой машины, технологических зон сушки, подогрева, обжига, рекуперации, охлаждения. В соответствии с методологией ОАО «ВНИИМТ» проанализированы структуры теплотехнических схем обжиговых машин, собраны режимные параметры их работы, выполнены теплотехнические расчеты теплообмена и газодинамики в слое, параметров газоздушных потоков обжиговых машин, оптимизирующие расчеты, с целью увеличения удельной производительности.

Разработаны технические решения по увеличению удельной часовой производительности обжиговых машин до 1 т/м<sup>2</sup> с сохранением и повышением качественных характеристик готовых окатышей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буткарев А. А. Особенности практического использования методологии ВНИИМТ для оптимизации теплотехнических схем обжиговых конвейерных машин // Металлург. 2011. № 4. С. 38 – 43.
2. Буткарев А. А. Методология комплексного исследования и оптимизации теплотехнических схем обжиговых конвейерных машин // Сталь. 2008. № 4. С. 2 – 9.
3. Буткарев А. А. Принципы построения оптимальных теплотехнических схем обжиговых машин по критерию минимума расхода электроэнергии // Сталь. 2007. № 9. С. 8 – 14.
4. Буткарев А. А., Буткарев А. П. Оптимизация параметров процесса термообработки окатышей на конвейерных машинах // Сталь. 2000. № 4. С. 10 – 15.
5. Буткарев А. П., Буткарев А. А., Бородин А. А. и др. Опыт эксплуатации модернизированных обжиговых машин ОК-306 Лебединского ГОКа и пути их совершенствования с целью повышения эффективности производства // Сталь. 2005. № 3. С. 7 – 10.
6. Буткарев А. А., Буткарев А. П., Жилин С. Н. Пути увеличения производительности обжиговой машины № 1 ОК-306 Лебединского ГОКа, производящей окатыши для металлизации // Сталь. 2007. № 11. С. 58 – 62.
7. Буткарев А. А., Буткарев А. П., Зинчук Б. А. и др. Разработка технических решений по увеличению производительности обжиговой машины фирмы Лурги // Сталь. 2007. № 6. С. 3 – 7.

Статья поступила 23.03.2020

## **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)