ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСПИРАЦИИ ЛИТЕЙНЫХ ДВОРОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

В. Т. СТЕФАНЕНКО¹, заведующий лабораторией;

А. В. СТЕФАНЕНКО², руководитель группы “Пылегазоочистного оборудования”;

Н. П. ПОПОВА³, канд. техн. наук, профессор кафедры “Техносферная безопасность”

(¹ ЗАО НПО ВУХИН, Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург;

² ООО “ПрогрессУралИнжиниринг”, Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург;

³ Уральский государственный университет путей сообщения,
Россия, Свердловская обл., г. Екатеринбург)

Аннотация. Среди крупных источников загрязнения атмосферного воздуха на предприятиях черной металлургии литейные дворы доменных печей являются самыми мощными из неорганизованных источников. Проблемы создания эффективных систем аспирации этих источников являются весьма актуальными.

Приведен анализ известных технических решений по аспирации литейных дворов доменных печей. Определены положительные и негативные стороны этих проектов. Сделан вывод о том, что эффективность аспирационных систем определяется конструкциями местных отсосов и укрытий для локализации выделяющихся пылегазовых конвективных потоков. Сформулированы основные направления создания эффективной системы аспирации. На примере ДП № 9 и 10 ОАО ММК приведены четыре варианта технических решений общей системы аспирации для литейных дворов с расчетами конвективных потоков и объемов выбросов, максимальной необходимой производительности аспирационной установки и аэродинамическим расчетом аспирационной системы. Проработана схема и алгоритмы работы клапанов системы. Эффективность локализации (степень захвата) неорганизованных выбросов составит около 90 %.

Ключевые слова: доменная печь; литейный двор; неорганизованные источники выбросов; аспирационная система.

Ссылка для цитирования. Стефаненко В.Т., Стефаненко А.В., Попова Н.П. Технические решения по повышению эффективности аспирации литейных дворов доменных печей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 10. С. 82–87.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-10-82-87

Среди крупных источников загрязнения атмосферного воздуха на предприятиях черной металлургии литейные дворы доменных печей являются самыми мощными из неорганизованных источников. Все источники выделения загрязнений имеют высокую (более 1400 °С) температуру, поэтому над источниками тепла образуются мощные конвективные потоки воздуха (газа), которые поднимаются в верхнюю зону литейного двора и представляют собой бурый дым (окислы железа), образующийся при контакте кислорода воздуха с расплавом. Общие рекомендации по устройству систем аспирации литейных дворов доменных печей приведены в работе [1]. Однако до настоящего времени проблемы создания эффективных систем аспирации этих источников остаются актуальными.

Проведен анализ ряда существующих систем аспирации (ДП № 1 и 2 ПрАО “Донецксталь – металлургический завод”, ДП № 1 ОАО “Северсталь”, ДП № 5 ОАО ЕВРАЗ НТМК, ДП № 6 ОАО ММК и др.), а также систем по проектам фирмы Mi-Fi-Bu SKELETING.

Основные решения существующих систем аспирации следующие. Воздуховоды (газоходы) системы расположены в основном под площадкой литейного двора. Все оборудование закрыто емкими укрытиями — арочными крышками, из-под которых производится отсос воздуха (газов). Укрытия массивные, футерованные огнеупорами и устанавливаются с помощью специального манипулятора. Отсосами снабжены главный желоб (расположен отсос вблизи летки), скиммер, качающиеся желоба. На каждом газоходе, идущем от отсосов, установлены отключающие клапаны, которые позволяют системе работать в необходимом режиме, удалять пыль и газы только от того конца качающегося желоба, где идет слив металла и шлака в ковши.

Определены положительные и негативные эффекты этих проектов. Например, применяемые боковые отсосы от места выпуска металла из летки не справляются с удалением пыли и газов. Мощная конвективная струя бурого дыма поднимается над тепловым источником по всей длине неукрытой части главного желоба в верх-

нюю часть литейного двора, откуда через аэрационные проемы фонаря без очистки поступает в атмосферу.

Боковой отсос в данном случае в принципе не может обеспечить эффективную аспирацию нагретых пылегазовыделений, поскольку направление отсоса не совпадает с направлением движения конвективной струи. Картина всасывания характеризуется всасывающим факелом — течением, которое возникает около вытяжного отверстия, расположенного в стенке, или около патрубка отсоса, расположенного в пространстве, когда воздух подтекает к всасывающему отверстию со всех сторон. Подтекание воздуха (газа) к вытяжному отверстию происходит по радиусам, которые являются линиями тока, а одинаковые скорости находятся на поверхности сфер, если воздух (газ) подтекает из всего окружающего пространства, или на поверхности полусфер, если всасывающее отверстие заделано заподлицо со стенкой. Соответственно, скорости движения воздуха (газа) очень быстро уменьшаются с удалением от всасывающего отверстия, т. е. факел всасывания короткий (рис. 1).

Рис. 1. Распределение скоростей в зоне действия всасывающих отверстий:

а — спектр всасывания отверстия с острыми кромками (без фланца); б — спектр всасывания отверстия, выполненного заподлицо со стенкой (в процентах указана скорость движения воздуха относительно скорости во всасывающем отверстии в зависимости от расстояния до этого отверстия)

Fig. 1. Air velocity distribution in the suction outlets zone: *а — outlet with sharp edges (without flange) suction spectrum; б — wall flushed outlet suction spectrum (air velocity relatively velocity in the suction outlet, %, depending on distance till the outlet)*

При удалении запыленного воздуха (газа) из полости укрытия в последнем поддерживается некоторое разрежение. За счет разрежения происходит подсос воздуха внутрь укрытия, что препятствует выбиванию загрязнений за пределы укрытий. Так организован отсос газов и пыли на многих доменных печах: укрыты качающиеся

желоба, скиммер, главный и транспортные желоба. Однако в период открывания летки укрытие с главного желоба снимается, при выпуске металла образуется мощный запыленный конвективный (тепловой) поток над поверхностью раскаленного металла и шлака. Для уменьшения пылевывделений через цеховые фонари путем частичного захвата конвективного потока вблизи летки устанавливают боковой отсос, размещенный в вертикальной стенке для увеличения скорости в факеле всасывания. Через этот боковой отсос производится удаление загрязненного воздуха только в районе летки, причем захватывается небольшая часть выделений. Остальная часть уходит в верхнюю зону здания. Кроме того, весь неукрытый главный желоб является крупным источником загрязнения воздуха литейного двора и атмосферного воздуха.

Следует отметить, что на внутреннюю поверхность и без того тяжелых укрытий (крышек) налипают брызги металла и шлака, при этом образуется прочный и толстый слой. Удаление этого слоя представляет собой непростую задачу.

Одним из факторов низкой эффективности аспирации является неудачная трассировка воздухопроводов с наличием протяженных горизонтальных участков, что приводит к осаждению в них пыли и постепенному росту скорости и потере напора, а также к их абразивному износу. Кроме того, размещение воздухопроводов под рабочей площадкой литейного двора не обеспечивает свободного доступа к ним для обслуживания и прочистки.

Еще одной проблемой является необходимость визуального контроля за свободным течением металла и шлака в желобах. Для этого персонал часто снимает отдельные укрытия и работает без них.

По ходу выпуска продуктов плавки количество выбросов загрязненного газа непостоянно. Наибольшее количество газа выделяется в виде бурого дыма во время открытия чугунной летки, ее продувки, при закрытии или закрытой чугунной летке выбросы минимальные или их совсем нет.

Для снижения нагрузки на аспирационную систему возможно применение технологического приема — подачи азота в зону дымообразования на поверхность расплава. Азот служит своеобразным «укрытием», отделяющим расплав от кислорода воздуха и предотвращающим окисление металла. Это технологическое решение снижает пылевую нагрузку на установку пылеулавливания и уменьшает абразивный износ воздухопроводов (газоходов). При этом используется отбросной азот — побочный продукт получения кислорода в кислородных цехах металлургических заводов, который «отсекает» поверхность расплава от контакта с кислородом воздуха. Такое реше-

ние разработано В.А. Кравцом (Украина, г. Донецк, www.vasya-kravets.com) и успешно реализовано на ДП № 3 меткомбината "Азовсталь". При расходе азота около 6000 м³/ч достигнуто подавление бурого дыма на 90 %. На российских предприятиях этот метод пока не применялся.

Очистка аспирационных выбросов от пыли производится, как правило, в горизонтальных пластинчатых электрофильтрах. На НТМК для улавливания пыли из аспирационных систем литейных дворов доменных печей применяются электрофильтры ЭГА1-48-9-6-3 на ДП № 6 и ЭГБ1М1-30-12-6-3 на ДП № 5. Степень очистки этих аппаратов составляет 99,5–99,7 %. На ДП № 6 ММК применяется электрофильтр ЭГБ1М1-30-12-6-3, по данным предприятия, степень очистки составляет 99,8 %.

Сделаны следующие выводы:

1. Существующие технические решения по аспирации литейных дворов доменных печей не отвечают требованиям предотвращения загрязнения атмосферного воздуха и оздоровления условий труда персонала.

2. Действующие аспирационные укрытия, отсосы и газоходы не соответствуют основным правилам их устройства и трассировки.

3. Эксплуатация систем аспирации не соответствует требованиям ГОСТ 12.4.021–75 "Система стандартов безопасности труда. "Системы вентиляционные. Общие требования".

4. Известный эффективный метод подавления бурого дыма азотом не нашел широкого применения на отечественных предприятиях.

5. Электрофильтры, применяемые для очистки аспирационного воздуха от пыли, в принципе обеспечивают эффективное улавливание.

Таким образом, при создании новой аспирационной системы литейного двора следует обратить особое внимание на разработку эффективно работающих местных отсосов и укрытий для локализации выделяющихся пылегазовых конвективных потоков.

Для разработки системы аспирации исследованы физико-химические свойства пыли литейных дворов доменных печей. Истинная плотность частиц пробы, отобранной из пыли, уловленной в первом поле электрофильтра ДП № 6, составила 2707 кг/м³. Данные, полученные в результате дисперсного анализа частиц непосредственно в пылегазовых потоках от источников пылевыведения литейного двора ДП № 9 ОАО ММК, показывают, что частицы достаточно мелкие ($d_m = 5,5$ мкм) и полидисперсные ($\sigma = 18$), это может вызвать проблемы с их улавливанием.

Запыленность пылегазовых потоков, по данным измерений, не превышает 1 г/м³.

Для проектирования укрытий необходимо знать объемы и динамику развития конвективных (тепловых) струй. Проанализированы ра-

боты В.М. Эльтермана [2], Г.М. Абрамовича [3], И.А. Шепелева [4], в результате чего рассчитаны эти объемы, которые для печей объемом 2000–2500 м³ составляют около 800 тыс. м³/ч.

Фактические объемы запыленного аспирационного воздуха от источников пылегазовыведения литейных дворов весьма велики (от 600 до 1600 тыс. м³/ч). Из известных типовых аппаратов сухого пылеулавливания (мокрые методы исключены по экологическим соображениям) для эффективной очистки от пыли таких объемов применяются электрофильтры и рукавные фильтры.

При разработке аспирационных отсосов для литейного двора следует учитывать мощность конвективных потоков и недостаточную эффективность боковых отсосов для локализации конвективных струй.

Эффективность систем аспирации зависит от принятых технических решений, а также от уровня (культуры, качества) их эксплуатации.

Сформулированы основные направления создания эффективной системы аспирации:

1. При разработке аспирационной системы литейного двора следует учитывать наличие конвективных потоков. Наиболее мощный конвективный поток создается в период выпуска расплава над леткой и главным желобом, которые следует укрыть.

2. Все места возможного пылевыведения должны быть укрыты и снабжены аспирационными отсосами для поддержания в полости укрытий разрежения, препятствующего выходу пыли за пределы укрытия.

3. Для уменьшения налипания загрязнений на стенки с внутренней стороны укрытия следует предусмотреть больших размеров, чем существующие, а также выполнять их из тонкого листового металла, закрепленного в легких металлоконструкциях. Это позволит снизить грузоподъемность манипулятора и ремонтпригодность укрытий.

4. По возможности для снижения образования окислов железа целесообразно использовать технологическое решение — подачу азота на поверхность расплава.

5. В воздуховодах (газоходах) следует обеспечивать прохождение газов со скоростью 20–22 м/с для предотвращения отложения пыли на внутренних стенках. Конструкции коллекторов должны быть безосадительными.

6. Трассировку воздуховодов (газоходов) следует выполнять с наименьшими горизонтальными участками.

В качестве примера приведем четыре варианта технических решений общей системы аспирации для литейных дворов ДП № 9 и 10 ОАО ММК.

Первый вариант предусматривает использование известных технических решений по укрытию всех источников образования конвективных (тепловых) потоков с внесением изменений в конструкции укрытий:

а) для уменьшения налипания брызг расплава на внутреннюю часть укрытий последние выполняются большего поперечного сечения с увеличением расстояния от металла до стенки укрытия (рис. 2). Укрытие изготавливается из листового металла в форме арки, закрепленной на каркасе из углового профиля, предусматривается легкая замена листа;

б) минимизируются размеры смотровых проемов (глядделок) и они снабжаются поворотными заслонками;

в) предусматриваются укрытия скиммера и качающихся желобов по существующей схеме, производится отсос воздуха (газа) от этих укрытий.

Рис. 2. Укрытие арочного типа для желоба

Fig. 2. Arc type cover for a channel

Дополнительно необходимо установить зонт-отсос над леткой для удаления основного конвективного потока, образующегося при разливе металла. Для удобства обслуживания летки зонт можно выполнить поворотным с опорой на специальную колонну, схема зонта приведена на рис. 3. Низ зонта следует расположить на уровне низа площадки для обслуживания фурм вплотную к площадке, при этом саму площадку в районе зонта выполнить сплошной из листового просечного металла, а не из прутка. При достаточном расстоянии от летки до низа площадки для обслуживания фурм (размер K) зонт можно разместить за счет поворотного фланца под площадкой для обслуживания фурм. При невозможности размещения колонны с поворотным зонтом он может быть изготовлен в виде съемной конструкции, которую при необходимости снимают имеющимся мостовым краном.

Рис. 3. Схема зонта для удаления газов от летки

Fig. 3. A hood diagram for gases removal from the tap hole

Конструкцию зонта можно выполнить в двух вариантах: одинарный или щелевой. Скорость всасывания в нижней плоскости одинарного зонта будет значительно ниже, чем скорость всасывания в щель между внутренними и внешними стенками щелевого зонта. Применение щелевого зонта позволяет повысить эффективность локализации пылегазовых потоков [5].

Газоходы от всех аспирационных отсосов объединяются в сборный безосадительный коллектор, который направляется к пылеуловителю.

Второй вариант:

а) вытяжной зонт устанавливается в "фонарной" части литейного двора выше верхней отметки мостового крана. Этот зонт должен быть размещен над леткой и "открываемой" частью главного желоба;

б) все желоба снабжаются укрытиями с минимальными размерами смотровых проемов; от укрытий скиммера, качающихся желобов производится отсос воздуха (газа) для поддержания внутри полостей укрытий небольшого разрежения.

Третий вариант:

а) герметичное укрытие транспортных желобов выполняют по схеме, приведенной на рис. 4;

б) для удаления загрязненных газов предусматривается установка зонтов над леткой и укрытий главного желоба;

в) от укрытий скиммера, качающихся желобов производится отсос воздуха (газа) для поддержания внутри полостей укрытий небольшого разрежения.

Рис. 4. Схема герметичного укрытия желоба

Fig. 4. A hermetic channel cover diagram

Главным элементом системы аспирации литейного двора является укрытие летки. Рекомендуется выполнить это укрытие в виде зонта, размещенного над леткой и прилегающим к ней участком главного желоба. Размеры зонта определяются сечением раскрытия конвективной газовой струи в месте его установки.

Для главного желоба и скиммера рекомендуется применять облегченные укрытия, конструкция которых показана выше на рис. 2. Присоединение этих укрытий к газоходам и легкое соединение укрытий между собой рекомендуется производить с помощью направляющих элементов. Установка и снятие укрытий могут производиться манипуляторами по типу известных, но с меньшей грузоподъемностью.

Четвертый вариант:

а) устройство центрального зонта для отсоса пылегазовых потоков от главного желоба и летки, которые “налипают” на стенки доменной печи и поднимаются вверх. Для этого в качестве центрального зонта используется часть кровли и аэрационного фонаря. Целесообразно установить в этом “зонте” поперек цеха перегородки, расстояние между которыми примерно соответствует размеру доменной печи с главными желобами. Аэрационные проемы фонаря и неплотности в кровле следует закрыть, из образовавшегося зонта за счет искусственной тяги удалять пылегазовую смесь. Вдоль фонаря с наружной стороны размещается сборный коллектор аспирационной системы, к которому присоединяются

отсосы от стенок фонаря и коллекторы “нижнего” уровня (от скиммера и качающихся желобов чугуна и шлака);

б) от укрытий скиммера, качающихся желобов производится отсос воздуха (газа) для поддержания внутри полостей укрытий небольшого разрежения.

Проанализированы достоинства и недостатки каждого из предложенных вариантов.

Выполнены расчеты конвективных потоков и объемов выбросов [6, 7] от источников литейных дворов при максимальной температуре расплава 1500 °С и расчет максимально необходимой производительности аспирационной установки при условии одновременной работы литейных дворов двух доменных печей, которая составила 804 тыс. м³/ч. Выполнен аэродинамический расчет аспирационной системы. Проработаны схема и алгоритмы работы клапанов системы.

Предварительные оценки показывают, что при указанных объемах аспирации эффективность локализации (степень захвата) неорганизованных выбросов составит около 90 %.

Выполнен расчет и обоснование выбора газоочистного оборудования, позволяющего обеспечить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с концентрацией не более 50 мг/м³ при минимальных капитальных затратах. Исходя из имеющегося опыта и объемов очищаемых газов в качестве пылеулавливающего аппарата рекомендован горизонтальный пластинчатый электрофильтр. В зависимости от варианта технических решений применимы аппараты, рассчитанные при условной средней скорости газа 0,9 м/с. Такая скорость, уменьшенная против обычно принимаемой (1 м³/с), должна быть принята с учетом дисперсного состава пыли, характеризующегося повышенным содержанием мелких фракций. Для очистки 800 тыс. м³/ч рекомендованы два электрофильтра ЭГБМ1-30-12-6-3, установленные параллельно.

Следует подчеркнуть, что разработанные технические решения направлены прежде всего на повышение степени локализации пылегазовыделений, что обеспечивает высокую эффективность работы систем аспирации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по аспирации трактов шихтоподачи и литейных дворов доменных печей. Бункерные эстакады, литейные двory / В.Д. Олифер, В.Б. Рабинович, И.М. Халецкий и др. — Свердловск: ВНИИОТ; М.: Гипромез, 1980. С. 42–48.
2. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. — М.: Химия, 1980. — 288 с.
3. Абрамович Г.М. Теория турбулентных струй. — М.: Физматгиз, 1960. — 715 с.
4. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. — М.: Стройиздат, 1978. — 144 с.

5. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / В.Н. Богословский, И.А. Шепелев, В.Э. Эльтерман и др.; под ред. И.Г. Староверова. — М.: Стройиздат, 1977. С. 102–104.
6. Шапотайло В.И., Килин П.И. Устройство местной промышленной вентиляции. — Красноярск: Стройиздат, Красноярское отд., 1991. — 128 с.
7. Халецкий И.М. Вентиляция и отопление заводов черной металлургии: справочник. — М.: Металлургия, 1981. — 240 с.

TECHNICAL SOLUTIONS FOR EFFICIENCY INCREASING OF BLAST FURNACES CASTING YARDS ASPIRATION

V. T. STEFANENKO¹, Head of Lab.;

A. V. STEFANENKO², Head of Group "Powder-gas cleaning equipment";

N. P. POPOVA³, PhD (Tech), Professor, Dpt "Techno sphere safety"

(¹ ZAO NPO VUKHIN, Russia, Sverdlovsk rgn., Ekaterinburg;

² OJSC "ProgressUralEngineering", Russia, Sverdlovsk rgn., Ekaterinburg;

³ Ural State University of communication means, Russia, Sverdlovsk rgn., Ekaterinburg)

Abstract. Casting yards of blast furnaces are most powerful sources of atmospheric air pollution among big non-organized pollution sources of steel industry. The task to create effective systems of those sources aspiration is rather actual.

Analysis of known technical solutions on blast furnace casting yards aspiration presented. Positive and negative sides of the projects determined. A conclusion made that aspiration systems effectiveness is determined by designs of local suction facilities and covers for localization of emitted dust and gas convection flows. Main directions of effective aspiration system creation formulated. At the example of JSC MMK BF's No. 9 and No. 10, four variants of technical solutions of general aspiration system for casting yards quoted, accompanied by calculation of convection flows and emissions volumes, maximum necessary productivity of aspiration facility and aero dynamical calculation of an aspiration system. Plan and algorithms of the system valves operation studied. Effectiveness of localization (capture degree) of non-organized emissions estimated as about 90%.

Key words: blast furnace; casting yard; non-organized emission sources; aspiration system.

For citation: Stefanenko V.T., Stefanenko A.V., Popova N.P. Technical solutions for efficiency increasing of blast furnace casting yards aspiration. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, No. 10, pp. 82–87. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-10-82-87

REFERENCES

1. Olfier V.D., Rabinovich V.B., Khaletskii I.M. etc. *Metodicheskie rekomendatsii po aspiratsii traktov shikhtopodachi i liteinykh dvorov domennykh pechei. Bunkernye estakady, liteinye dvory* [Methodic recommendations on aspiration of burden supply and BF cast houses routes]. Sverdlovsk: VNIOT, Moscow: Gipromet, 1980, pp. 42–48. (In Russ.).
2. El'terman V.M. *Ventilyatsiya khimicheskikh proizvodstv* [Ventilation of chemical plants]. Moscow: Khimiya, 1980, 288 p. (In Russ.).
3. Abramovich G.M. *Teoriya turbulentnykh strui* [Theory of turbulent streams]. Moscow: Fizmatgiz, 1960, 715 p. (In Russ.).
4. Shepelev I.A. *Aerodinamika vozdukhnykh potokov v pomeshchenii* [Aerodynamics of air flows indoors]. Moscow: Stroiizdat, 1978, 144 p. (In Russ.).
5. Bogoslovskii V.N., Shepelev I.A., El'terman V.E. etc. *Spravochnik projektirovshchika. Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroistva. Ch. 2. Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh* [A reference book of designing engineer. Indoor sanitary and technical facilities. P. 2. Ventilation and conditioning]. Staroverov I.G. ed. Moscow: Stroiizdat, 1977, pp. 102–104. (In Russ.).
6. Shapotailo V.I., Kilin P.I. *Ustroistvo mestnoi promyshlennoi ventilyatsii* [Arrangement of local industrial ventilation]. Krasnoyarsk: Stroiizdat, Krasnoyarskoe otd., 1991, 128 p. (In Russ.).
7. Khaletskii I.M. *Ventilyatsiya i otopenie zavodov chernoi metallurgii* [Ventilation and heating of steel industry plants]. Moscow: Metallurgiya, 1981, 240 p. (In Russ.).