

К определению дисперсного состава частиц твердых ингредиентов в воздушной среде и оценке величины концентрации пыли на неорганизованных источниках выбросов в атмосферу электросталеплавильного цеха

К.С Кошкарев¹, С.А Кошкарев², Д.К.-С. Батаев³, А.Н. Курасов⁴, Р.А Лясин⁵

^{1,2,4,5} Волгоградский государственный технический университет,
³ Комплексный научно-исследовательский институт им Х.И. Ибрагимова
Российской академии наук

Аннотация: Предприятия черной металлургии ежегодно выбрасывают в атмосферу значительное количество высокодисперсной пыли с размером частиц 10 мкм и менее. В статье представлены результаты выполненного исследования по определению дисперсного состава аэрозолей в пылегазовоздушных потоках, поступающих от источников выделений к неорганизованным источникам выбросов в атмосферу. На основании результатов микроскопического анализа с определением фракционного состава пыли получены интегральные зависимости плотности распределения по эквивалентным размерам (диаметрам) D для принятых к исследованию ингредиентов. Это позволило определить среднемедианные значения эквивалентных размеров частиц пыли вредных веществ. Проведена оценка мощности выбросов пыли неорганизованных источников сталеплавильных предприятий в атмосферу городов. С целью повышения экологической безопасности сталеплавильного цеха сделан вывод о целесообразности реконструкции действующих систем аспирации с применением высокоэффективных аппаратов на встречно закрученных потоках типа ВЗП, пылеуловителей мокрой очистки.

Ключевые слова: металлургия, аэрозоль, электросталеплавильный цех, пылегазовоздушная смесь, дисперсный анализ, среднемедианный диаметр, d_{450}

Введение

Металлургические заводы являются одной из важнейших частей промышленности РФ. Влияние выбросов в атмосферу от заводов этой отрасли промышленности очень высоко – согласно статистике, на металлургию приходится около 40 процентов от всех валовых выбросов вредных веществ РФ [1,2].

В стратегии развития промышленности Российской Федерации, которая утверждена в 2014 г, запланирован рост экономики до 2030 года. В части развития промышленности черной металлургии предполагается увеличение производства стали в частности, в электропечах, на 42% к 2030 г. (Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2022 N 4260-р «О Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации на

период до 2030 года»). Стратегия предполагает модернизацию и техническое перевооружение газоочистных систем предприятий.

В связи с увеличением темпов объемов выплавки стали, возрастает техногенная нагрузка на окружающую среду. Значительное количество металлургических предприятий находятся в непосредственной близости от селитебных зон городской застройки. Согласно данным, приведенным в [3], объем выбросов черной металлургии составляет до 6 процентов от величины валовых выбросов в РФ.

При плавке в стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП), выделяется значительное количество пыли ингредиентов различного дисперсного и химического состава. Печь ДСП производительностью по загрузке компонентов шихты 100 т выделяет на всех стадиях процесса плавки около 6,6 кг/т твердых дисперсных частиц вредных веществ пыли, которые поступают в атмосферу как источниках выбросов [3].

Продуктом производства электродуговых печей являются сплавы различных сортов стали, включая легированные, и ферромарганец (FeMn). В качестве сырья для ДСП используют шихту, которая содержит смесь чушек передельного чугуна и стали, металлического лома, и необходимых по рецептуре ряд легирующих добавок черных металлов, например, ванадий, хром, никель, марганец. В незначительном количестве в шихту добавляют некоторые цветные металлы, например, алюминий и других соединений.

Для выпуска продукции при помощи ДСП применяются различные технологии плавки, имеющие характерные специфические особенности. Химизм процессов – окислительно – восстановительные реакции при выплавке стали в ДСП достаточны сложны и разнообразны, и их детальное рассмотрение выходит за рамки ограниченного объема статьи. Однако общими для всех технологических процессов являются в первом приближении стадия нагрева и плавление шихты, и последующая стадия

окисления (когда увеличивается подача кислорода для уменьшения содержания углерода, серы, фосфора). На заключительной стадии преобладают реакции восстановления металлов из оксидов. в тех местах, где поверхность жидкого расплава металла химически взаимодействует с кислородом воздуха с образованием и выделением в воздух рабочей зоны цеха пылегазовоздушной смеси. Основным источником пылегазовыделения является сама печь.

В статье [4] рассматриваются основные свойства пыли, выделяющейся в производстве на выборке принятых к исследованию сталелитейных предприятий, а также способы удаления пыли из пылегазовоздушных потоков. На основании результатов проведенного исследования предлагается использовать вместо рукавных фильтров и электрофильтров систем обеспыливания аспирации устройства, в которых осуществляется коагуляция и агломерация частиц пыли с последующей их сепарацией [4]. В работе [5] была исследована пыль размером менее 50 мкм, образующаяся при производстве нержавеющей стали. В результате проведенных исследований было предложено улавливать мелкодисперсную пыль в устройствах магнитной сепарации, чтобы далее было возможно вернуть ее в производственный цикл. В исследовании [6] были изучены физико-химические свойства пыли сталелитейного производства для оценки подбора пылеулавливающих аппаратов.

В [7] были представлены результаты исследования характеристик дисперсного и химического состава возгонов и аэрозолей мелкодисперсной пыли в выбросах металлургических предприятий. В исследовании применялись также оптические методы для определения концентрации пыли на неорганизованных источниках выбросов загрязняющих веществ в производстве стали [8].

В исследовании [8] описан метод и приведены результаты эксперимента по определению дисперсного состава аэрозолей оптико-электронным методом.

Химический состав аэрозолей, которые выделяются во время технологических циклов выпуска продукции ДСП варьируется в значительных диапазонах в зависимости от конкретно выплавляемого металла. Средние значения массовой концентрации при плавке на стадии окисления металла (в процентах) составляют для следующих соединений: оксид железа III Fe_2O_3 - 66%, оксид алюминия Al_2O_3 - 0,17%, оксид марганца MnO - 5,81%, SiO_2 -0,76%, оксид кальция CaO -6,3 %, оксид хрома III Cr_2O_3 - 1,32%, сернистый ангидрид SO_3 -2,08%, оксид фосфора III P_2O_3 -0,6%, оксид магния MgO -0,67%. Значения массовой концентрации при плавке на стадии восстановления металла (в процентах) составляют: Fe_2O_3 -26,6 %, Al_2O_3 - 0,45%, MnO -0,7%, CaO -35,22%, Cr_2O_3 -0,53%, SO_3 -7,55%, P_2O_3 -0,55%, MgO -2,72% [9].

Ограниченный объем статьи не позволяет провести более широкий обзор литературы, посвященный данному вопросу. Таким образом, дальнейшие исследования дисперсного и химического состава пыли, выделяющейся от ДСП, и поступающей в атмосферу с выбросами металлургических предприятий являются актуальными [10-13].

Цель и постановка задачи исследования

В сталеплавильном цехе производства стали на ДСП, принятой к исследованию выборки металлургических предприятий, имеются значительные пылевыведения мелкодисперсных частиц в воздух рабочей зоны цехов. При этом в некоторых сталеплавильных цехах отсутствовали, или работали в недостаточной степени эффективно, системы аспирации ДСП. Одной из целей работы было определение областей, в которых наиболее предпочтительно устанавливать местные отсосы системы

аспирации. Кроме того, необходимо оценить и обосновать возможность применения высокоэффективных инерционных пылеуловителей для очистки аспирационных выбросов в системах обеспыливания. На основании результатов дисперсного состава аэрозолей мелкодисперсной пыли, выделяющейся в рабочую зону и производственного объема цеха, предпринята попытка в первом приближении выполнить оценку величины концентрации пыли на неорганизованных источниках выбросов в атмосферу электросталеплавильного цеха.

Основной раздел

Было проведено исследование качественного и количественного состава пылегазовоздушной смеси, выделяющейся в процессе производства стали на ДСП, в сталеплавильном цехе предприятия. Отборы проб были произведены в соответствии с ГОСТ Р 70230-2022 Качество воздуха. Методика определения массовой концентрации взвешенных частиц PM_{2.5}, PM₁₀ в воздухе рабочей зоны на основе анализа фракционного состава пыли. М. Стандартиформ, 2022.

Пыль из пылегазовоздушного потока отбиралась в соответствии с методикой. Дисперсный состав пыли, отобранной из пылегазовоздушной смеси, определялся в соответствии с методикой ГОСТ Р 70230-2022 Качество воздуха. Методика определения массовой концентрации взвешенных частиц PM_{2.5}, PM₁₀ в воздухе рабочей зоны на основе анализа фракционного состава пыли. М. Стандартиформ, 2022.

Подготовленные и отобранные образцы пыли фотографировались электронным микроскопом МБС-10 Микромед. Методикой предполагается проводить исследования с количеством частиц в пробе от 300 до 500 ед.

Обработка полученных изображений проводилась с использованием пакета графического редактора Adobe Photoshop. Определение количества

частиц различного диаметра, а также сканирование изображения производится в программном обеспечении SPOTEXPLORER 2018.

Проведено определение областей с наиболее интенсивным выделением пылегазовоздушной смеси при плавке стали в ДСП, в которых наиболее предпочтительно устанавливать отсосы системы аспирации. В приведенном на рис.1 изображении видно, что в воздух рабочей зоны наиболее значительные концентрации пыли и объемы пылегазовоздушной смеси поступают через межэлектродные отверстия ДСП.



Рис.1. Выделение пылегазовоздушной смеси через межэлектродные отверстия ДСП

После обработки полученных данных микроскопического анализа фракционного состава пыли, были построены интегральные кривые распределения массы частиц по эквивалентным размерам (диаметрам) D для

соответствующих ингредиентов в вероятностно-логарифмической сетке координат d_{450} , которые приведены на рис 2.

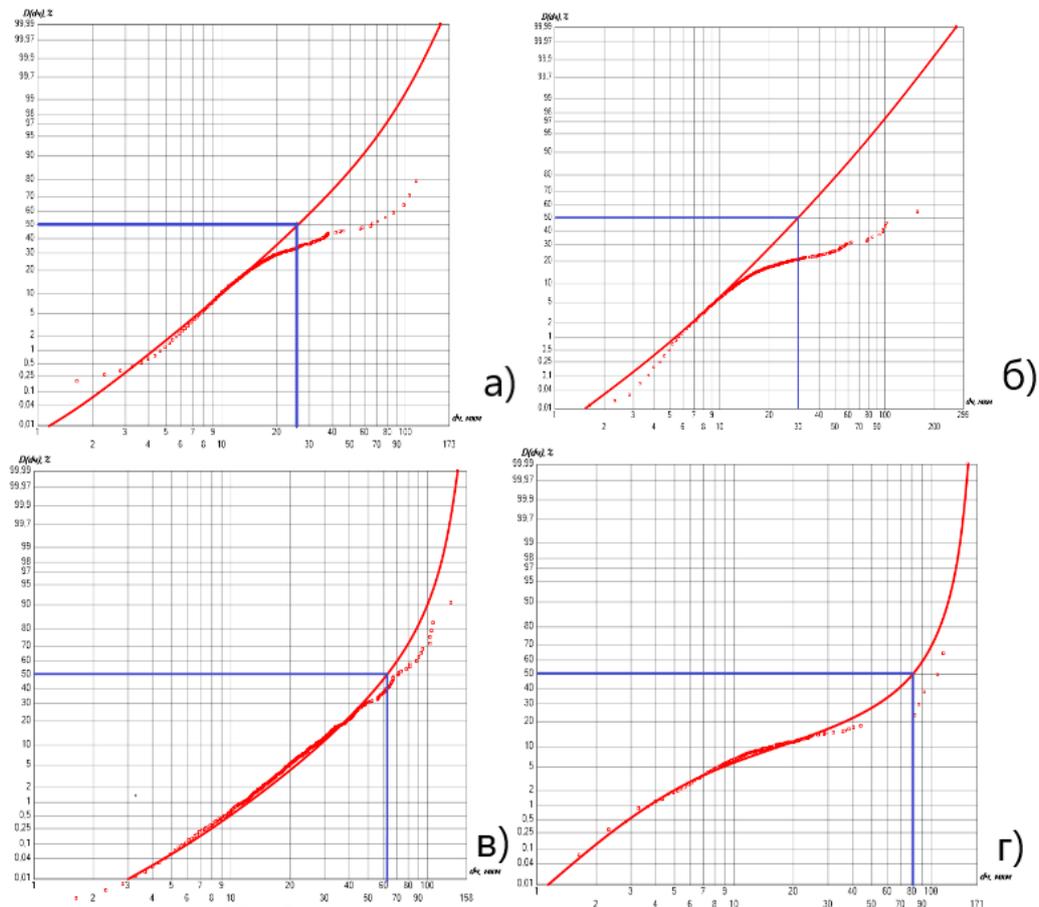


Рис.2. Зависимость плотности распределения частиц пыли D : а) оксиды железа со среднемедианным размером частиц $d_{450} = 100 \mu\text{m}$, б) оксиды алюминия- среднемедианный размер $d_{450} = 25 \mu\text{m}$, в) оксиды магния - среднемедианный размер $d_{450} = 80 \mu\text{m}$, г) оксиды марганца- среднемедианный размер $d_{450} = 30 \mu\text{m}$.

Анализ результатов исследования показал, что среднемедианный диаметр составляет для пыли оксида алюминия в расчете на алюминий Al $d_{450} = 25 \mu\text{m}$, для пыли оксида кальция в расчете на CaO $d_{450} = 100 \mu\text{m}$, для

пыли оксида железа III Fe_2O_3 в расчете на Fe $d_{\text{ч50}}=100$ мкм, для пыли хлоридов Mg Ca содержащей $[Mg$ $Ca]Cl$ $d_{\text{ч50}}=80$ мкм, для пыли оксида магния MgO $d_{\text{ч50}}=80$ мкм, для пыли оксид марганца в расчете на марганец Mn $d_{\text{ч50}}=30$ мкм.

Следует отметить, что пыледисперсный состав, аэродинамические характеристики частиц твердых ингредиентов, выделяющихся в воздушную среду, являются результатом целого ряда факторов. Наиболее существенные из них – собственно, особенности технологического процесса производства стали: выделение пыли при загрузке компонентов шихты в печь, испарение и возгонка жидкого металла с частично закрытой поверхности ДСП при выплавке и розливе стали из ДСП в ковш. Дисперсный состав определяет плотность распределения по эквивалентным размерам, и аэродинамические характеристики частиц твердых ингредиентов (значения среднемедианных эквивалентных диаметров, скорости витания частиц пыли). Данные параметры влияют на сложный и взаимосвязанный процесс седиментации и потенциальный квазидиффузионный (диффузионный и конвективный) перенос пыли от источников выделения, как правило, нагретыми восходящими пылегазовоздушными потоками, например, к неорганизованным источникам выбросов в атмосферу в цехе (проемы в строительных конструкциях).

Интенсивность пылевыведения в цехе в значительной мере определяет концентрацию пыли на неорганизованных источниках выбросов в атмосферу. По данным литературы, при загрузке шихты 100 т выделяется на всех стадиях процесса плавки около 6,6 кг/т твердых дисперсных частиц вредных веществ пыли, или в валовом количестве до 660 кг [3-4]. При среднестатистическом времени плавки в ДСП 3 ч выделение пыли составляет 220 кг/ч. Определение концентрации пыли на неорганизованных источниках выбросов в атмосферу с получением адекватных результатов не

представляется возможным ввиду отсутствия методологического обоснования в «Методическом пособии по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух». С.-Петербург: НИИ «Атмосфера». 2012. В соответствии с рекомендациями данного пособия, коэффициент поступления пыли от источников выделения к неорганизованным источникам выбросов в атмосферу в цехе для высокодисперсных пылевых аэрозолей может составлять в пределах до 1,0 (100%). Нормативное значение коэффициента поступления пыли многокомпонентного состава от источников выделения к неорганизованным источникам выбросов, составляет 0,4 (или 40%). Выброс пыли в этом случае составляет около 88 кг/ч, или 24,444 г/с. Валовый выброс частиц пыли твердых ингредиентов сложного морфологического состава с различными значениями предельно допустимых концентраций $C_{пдк}$ при фонде рабочего времени 900 ч будет составлять около 79-80 т/г в расчете на 1 ДСП электросталеплавильного цеха.

Выводы

В результате проведенного обследования в сталеплавильном цехе производства стали на ДСП, и принятой к исследованию выборки металлургических предприятий были определены области, в которых в плане наиболее предпочтительно устанавливать местные отсосы систем аспирации. Установка местных отсосов в области с максимальными концентрациями пыли над источниками наиболее интенсивного пылегазовыделения позволяют сделать более эффективной работу систем аспирации в целом.

В результате выполненных экспериментов микроскопического анализа фракционного состава пыли и последующей их статистической обработки, мы смогли получить интегральные зависимости плотности распределения по

эквивалентным размерам (диаметрам) D и определить значения среднемедианных эквивалентных размеров (диаметров) частиц пыли для принятых к исследованию ингредиентов. Это позволило сделать вывод о возможности применения инерционных пылеуловителей в системах обеспыливания аспирационных выбросов, например, разработанных в ВолгГТУ аппаратов на встречно закрученных потоках типа ВЗП, пылеуловителей мокрой очистки, способных эффективно улавливать пыль от печей ДСП определенного в результате исследований дисперсного состава со среднемедианными значениями эквивалентных размеров.

Для обеспечения экологической безопасности окружающей среды целесообразно реконструировать системы аспирации, существующие на исследованной выборке металлургических предприятий. Актуальной задачей является дальнейшее повышение экологической безопасности предприятий черной металлургии путём снижения объемов пылевых выбросов.

Литература

1. Груздев, В. С. Влияние черной металлургии на состояние окружающей среды // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2008. – № 4(40). – С. 47-51.
2. Терехов, Е. А. Гигиеническая характеристика аэрозолей доменных и сталеплавильных шлаков: специальность 14.00.07: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Терехов Евгений Александрович. – Санкт-Петербург, 1997. – 19 с.



3. Петров, Б. А., Петров С.Б., Цапок П.И. Медико-экологические значение производственных аэрозолей. – Киров: Кировская государственная медицинская академия, 2011. – 225 с.

4. Li, H.; Xue, H.; Zhang, J.; Zhang, G. Study on Efficient Removal Method of Fine Particulate Dust in Green Metallurgy Process. Processes 2023, 11, 2573. doi.org/10.3390/pr11092573.

5. She, Xue-feng & Wang, Jingsong & Xue, Qingguo & Ding, Yin-gui & Zhang, Sheng-sheng & Dong, Jie-ji & Zeng, Hui. (2011). Basic properties of steel plant dust and technological properties of direct reduction. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials.

6. Wang, Ziyang & Li, Qiuju & Yang, Fanxi & Zhang, Jixin & Lu, Xionggang. (2020). Experimental Study on Stainless Steel Dust by Reduction and Enrichment for Preparation Raw Material of Powder Metallurgy. Transactions of the Indian Institute of Metals.

7. Kero, Ida & Grådahl, Svend & Fardal, H & Wittgens, Bernd. (2015). Fugitive Dust Measurements in the Metallurgical Industry.

8. Семенов, В. В. Определение параметров взвешенных частиц произвольной формы опико-электронным методом // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2022. – Т. 88, № 12. – С. 36-43.

9. Блинов К.А., Ровенский А.И., Славин В. И. Экологические проблемы сталеплавильного производства // Сталь. 1983. №1. - С. 21-22.

10. Азаров В.Н., Ребров В.А., Козловцева Е.Ю. [и др.] О совершенствовании алгоритма компьютерной программы анализа дисперсного состава пыли в воздушной среде // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976

11. Калюжина Е.А., Сахарова А.А., Козловцева Е.Ю. [и др.] Анализ неорганизованных пылевых выбросов в атмосфере города от

электросталеплавильного цеха // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4975

12. Азаров, В.Н., Есина Е.Ю., Азарова Н.В. Анализ дисперсного состава пыли в техносфере: учебное пособие. Федеральное агентство по образованию РФ, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2008. – 44 с.

13. Стефаненко, В.Т. Об измерениях дисперсного состава промышленных пылей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2012. – № 3(1347). С. 33-38.

References

1. Gruzdev, B.C. Zemleustroistvo, kadastr i monitoring zemel', 2008, № 4(40). pp 47-51.

2. Terekhov, E.A. Gigienicheskaya kharakteristika aerazolei domennykh i staleplavil'nykh shlakov [Hygienic characteristics of aerosols of blast furnace and steelmaking slags]: spetsial'nost' 14.00.07: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata meditsinskikh nauk, Terekhov Evgenii Aleksandrovich. Sankt-Peterburg, 1997. 19 p.

3. Petrov, B. A., Petrov S.B., Capok P.I. Mediko-ekologicheskie znachenie proizvodstvennykh aerazolei [The medical and environmental significance of industrial aerosols]. Kirov: Kirovskaya gosudarstvennaya meditsinskaya akademiya, 2011, 225 p.

4. Li, H.; Xue, H.; Zhang, J.; Zhang, G. Study on Efficient Removal Method of Fine Particulate Dust in Green Metallurgy Process. Processes 2023, 11, 2573. doi.org/10.3390/pr11092573.

5. She, Xue-feng & Wang, Jingsong & Xue, Qingguo & Ding, Yin-gui & Zhang, Sheng-sheng & Dong, Jie-ji & Zeng, Hui. (2011). Basic properties of

steel plant dust and technological properties of direct reduction. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials.

6. Wang, Ziyang & Li, Qiuju & Yang, Fanxi & Zhang, Jixin & Lu, Xionggang. 2020. Experimental Study on Stainless Steel Dust by Reduction and Enrichment for Preparation Raw Material of Powder Metallurgy. Transactions of the Indian Institute of Metals.

7. Kero, Ida & Grådahl, Svend & Fardal, H & Wittgens, Bernd. 2015. Fugitive Dust Measurements in the Metallurgical Industry.

8. Semenov, V.V. Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2022. V. 88, № 12. pp. 36-43.

9. Blinov K.A., Rovenskii A.I., Slavin V.I. Ekologicheskie problemy staleplavil'nogo proizvodstva Stal'. 1983. №1. pp. 21-22.

10. Azarov V.N., Rebrov V.A., Kozlovceva E.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976

11. Kalyuzhina E.A., Sakharova A.A., Kozlovceva E.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4975

12. Azarov, V.N., Esina E.YU., Azarova N.V. Analiz dispersnogo sostava pyli v tekhnosfere [Analysis of the dispersed composition of dust in the technosphere]: uchebnoe posobie. Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu RF, Volgogradskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, Volgograd: Volgogradskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2008. 44 p.

13. Stefanenko, V.T. Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii. 2012. № 3(1347). pp.33-38.

Дата поступления: 26.10.2023

Дата публикации: 12.12.2023