

Сравнительный анализ конструкций пылеосадительных камер систем очистки выбросов сталеплавильной печи

О.М. Билан¹, Н.В. Мензелинцева,² В.Н.Азаров¹, М.Д. Азарова¹

¹Волгоградский государственный технический университет

²Волгоградский государственный университет

Аннотация: Рассмотрены основные конструкции пылеосадительных камер металлургических предприятий, дан анализ с позиции типа металлургических печей, их мощности, схем отвода газов от них до газоочистного оборудования. Исследовано движение потока газа в камерах различных конструкций с помощью программного продукта SolidWorks с приложением FlowSimulation, что позволило установить особенности поведения газоздушного потока в зависимости от конструкции пылеосадительной камеры.

Ключевые слова: пылеосадительные камеры, сталеплавильная печь, твердые частицы, моделирование, газоздушный поток, рукавный фильтр, газоотводящий тракт.

Стратегия развития черной металлургии России на 2014–2020 гг. и на перспективу до 2030 г. (утверждена приказом Минпромторга России от 05.05.2014 №839) предусматривает увеличение доли производства стали в электропечах на 42,1 % к 2030 г [1]. Растущее производство электростали с использованием новых интенсивных технологий неизбежно приводит к увеличенному образованию запыленных технологических газов с высоким содержанием СО, что требует разработки эффективных систем отвода, охлаждения и очистки отходящих газов электросталеплавильных печей [2,3].

На долю предприятий черной металлургии приходится 15-20% общих загрязнений атмосферы промышленностью [1,2]. В среднем на 1млн.т готовой продукции заводов черной металлургии выделение составляет, т/сутки: пыли-350, сернистого ангидрида–200, оксида углерода–400, оксидов азота–42 [1].

Основную часть выбросов от сталеплавильной печи составляют твердые частицы [1,2]. По данным ряда авторов, при производительности печи 20 т удельные пылевыведения составляют 8,1 кг/т, удельные суммарные газывыделения – 1,79 кг/т ; при производительности печи 100 т удельные выде-

ления пыли равны 6,6 кг/т, удельные суммарные выделения оксида углерода и оксидов азота – 1,79 кг/т [1].

На многих электросталеплавильных предприятиях России и ряда зарубежных компаний применяется схема отвода газов от сталеплавильной печи при помощи газоотводящего тракта, включающего камеру дожигания оксида углерода, пылеосадительную камеру и рукавные фильтры.

Пылеосадительная камера, в классическом понимании, это аппарат гравитационного типа для улавливания крупнодисперсной пыли. Эффективность улавливания крупных частиц не превышает 40-50%. К достоинствам этих аппаратов относят стабильность в работе, экономичность в изготовлении, в том числе за счет применяемых материалов [4,5]. Очень часто они изготавливаются в водоохлаждаемом исполнении, что позволяет значительно охлаждать отходящие газы [6, 7].

Конструкции пылеосадительных камер, применяемых на металлургических предприятиях, различны в зависимости от производителя и емкости дуговой сталеплавильной печи.

Выбор конструкции пылеосадительной камеры в значительной степени определяется общей планировкой цеха и требованиями оптимального использования рабочего пространства [8]. Конструкции пылеосадительных камер различаются по направлению потока воздуха.

Анализ основных вариантов конструкций пылеосадительных камер, применяемых отечественными металлургическими предприятиями, в зависимости от типов металлургических печей, их мощности, схем отвода газов от них до газоочистного оборудования, позволил выявить наиболее часто встречающиеся конструкции (таблица 1).

Проведен анализ движения потока газа в камерах указанных конструкций.

Моделирование движения потока воздуха внутри камер выполнено в при помощи программного продукта SolidWorks с приложением FlowSimulation [9,10]. Программа предназначена для моделирования движения потоков жидкости и газа, как в реальных условиях, так и при прогнозировании, и для вычисления рабочих характеристик.

Таблица № 1

Основные конструкции пылеосадительных камер

№	Описание процесса	Схема потока
1	2	3
1	Вход потока - горизонтально, Выход потока - горизонтально	
2	Вход потока - вертикально сверху, Выход потока - горизонтально	
3	Вход потока- горизонтально, Выход потока – вертикально вверх	
4	Вход потока- горизонтально, Выход потока – горизонтально, Камера разделена перегородкой	
5	Вход потока - горизонтально, Выход потока – горизонтально, Камера разделена двумя перегородками	
6	Вход потока - горизонтально, Выход потока – горизонтально, Камера разделена двумя горизонтальными перегородками	
7	Вход потока- вертикально сверху, Выход потока – горизонтально, Камера разделена двумя перегородками	

1	2	3
8	Вход потока- горизонтально, Выход потока – вертикально вверх, Камера разделена перегородкой	
9	Вход потока- вертикально сверху, На входном патрубке расширение для направление потока, Выход потока - горизонтально	
10	Вход потока - под углом сверху, Выход потока - горизонтально	
11	Вход потока- вертикально сверху, Выход потока – вертикально вверх	
12	Вход потока- вертикально сверху, на входном патрубке расширение для направления потока Выход потока – вертикально вверх	

При исследовании были заданы следующие параметры: скорость газовой смеси на входе в камеру – 5 м/с; температура ГВС – 20 °С; давление на входе в камеру – нормальное. Геометрические размеры камеры: длина $L=15$ м, ширина $H=8.0$ м, высота $V=5,5$ м.

Результаты моделирования потоков для некоторых конструкций камер представлены на рис.1-12. Пылеосадительные камеры даны в разрезе, поток воздуха показан стрелками, характеризующими его направление в данной точке. Цвета стрелок соответствуют диаграмме скорости и давления отображаемые справа от чертежа камеры.

Результаты моделирования позволили установить особенности поведения газовой смеси в зависимости от конструкции пылеосадительной камеры. При горизонтальном движении газовой смеси (ГВС) (схема 1,3) осаждение частиц пыли происходит под действием силы тяжести,

эффективность улавливания будет определяться длиной камеры. При вертикальном выходе очищенная ГВС за счет контакта со стенкой камеры делится на два потока, один из которых поднимается вверх и выходит из аппарата, а второй, наоборот, направлен ко дну камеры, что создает условия для дополнительного осаждения твердых частиц.

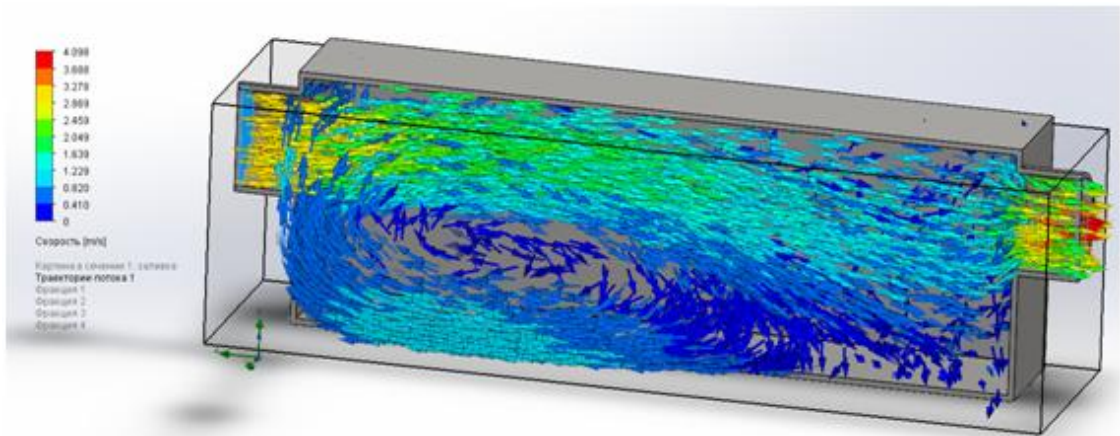


Рис. 1. - Изменение скорости потока воздуха, схема 1.

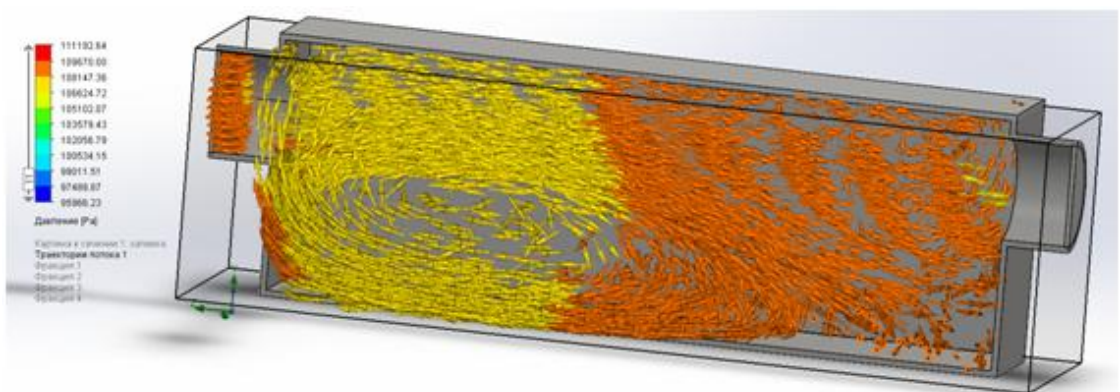


Рис. 2. - Изменение давления внутри аппарата, схема 1.

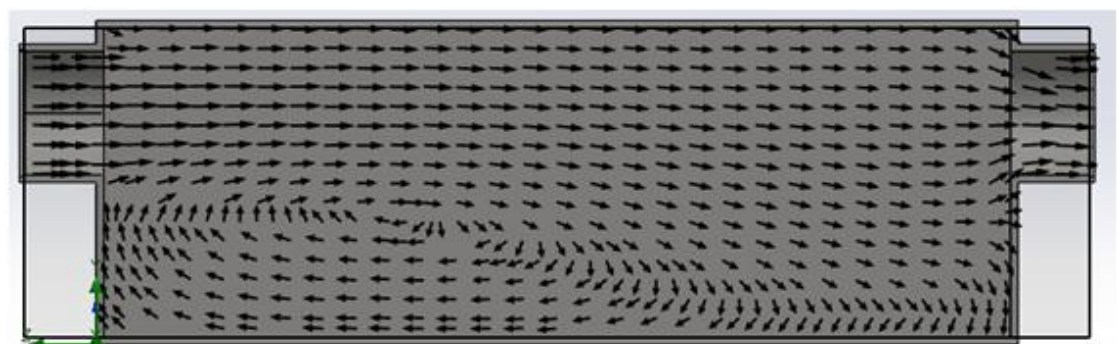


Рис. 3. - Движение потока, схема 1.

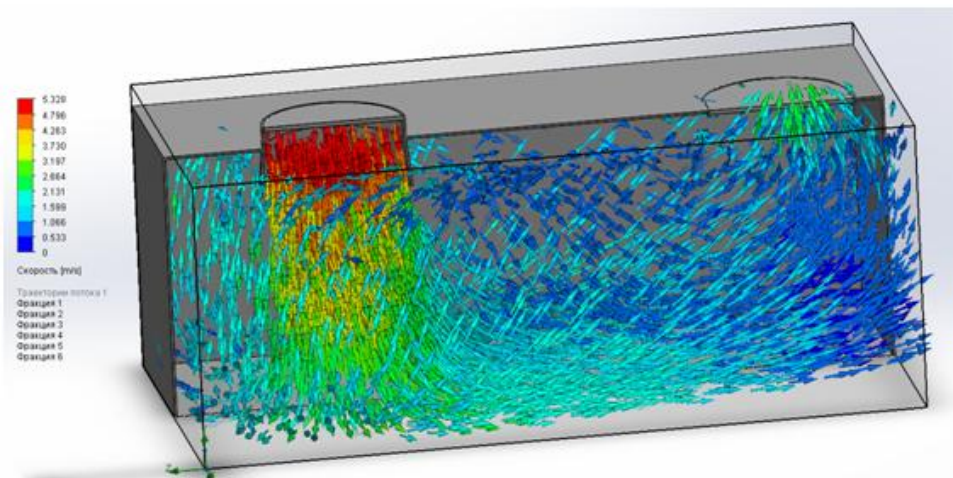


Рис.7. - Изменение скорости потока, схема 12.

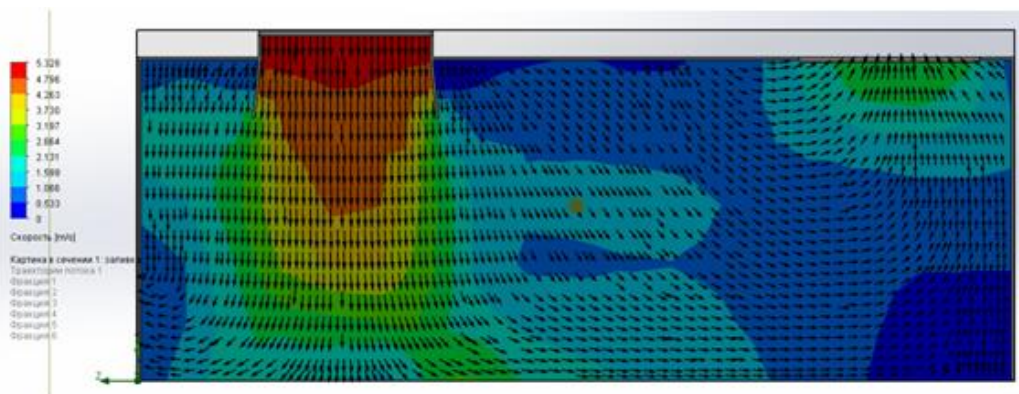


Рис.8. - Движение потока и изменение скорости, схема 12.

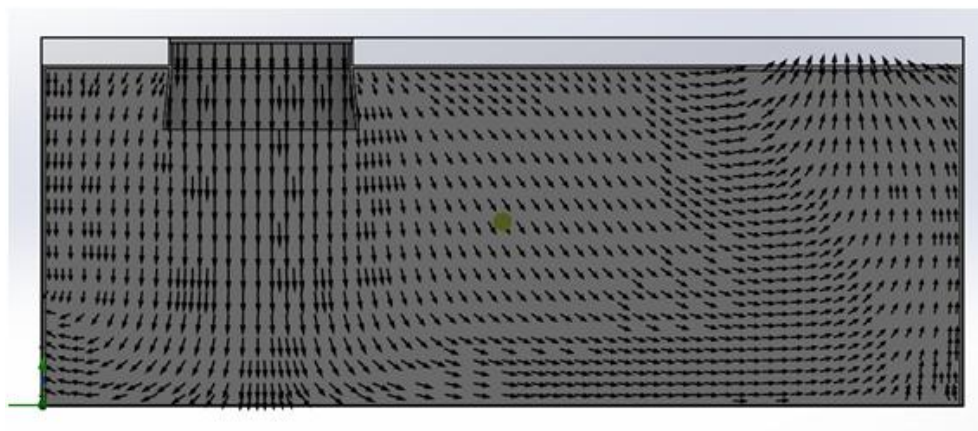


Рис. 9. - Движение потока, схема 12.

При вертикальном входе в камеру (схемы 2,9) поток делится на две части, из которых одна проходит через всю камеру до выхода, при этом твердые частицы опускаются на дно, а второй поток движется вертикально до контакта с полом камеры, у передней стенки камеры создается завихрение.

Для пылеосадительных камер с установленными горизонтальными полками поток движется в полостях полок практически горизонтально до выхода из камеры, и только незначительная часть потока поступает в пространство между стенкой камеры и полкой, тем самым формируя обратный поток. Частицы пыли могут оседать на полках, или же на пол камеры из обратного потока. Необходимо отметить, что в этом случае основной поток теряет скорость незначительно, так как он мало расширяется в полостях полок, но наличие полок способствует охлаждению из-за большой площади контакта.

Вертикальные полки делят камеру на отдельные полости (Схемы 4,5,7,8) За счет удара входящего потока воздуха о полку в этих полостях создаются завихрения, при этом скорость потока уменьшается, увеличивается время нахождения в камере, что способствует как повышению эффективности оседания твердых частиц, так и охлаждению.

Для камер с верхним входом через конический патрубок, расширяющийся к полу камеры, (схема 9), характерно разделение входного потока на два. Один движется вдоль камеры на выход. Второй создает завихрение у передней стенки. Изменяя длину входного патрубка, можно регулировать структуру входящего потока.

При верхнем входе в камеру и верхнем выходе из-за изменения траектории возникают завихрения у передней стенки камеры и на выходе. Могут наблюдаться завихрения по ходу движения потока (схема 11). Постоянное перемешивание потока увеличивает время пребывания в камере, за счет чего уменьшается температура ГВС.

Установленные закономерности могут быть использованы для оптимизации процессов, происходящих в пылесадительных камерах, а также при разработке оптимальной конструкции камеры.

Выводы

1. Проведен анализ основных конструкций пылесадительных камер, применяемых отечественными металлургическими предприятиями, в зависимости от типа металлургических печей, их мощности, схем отвода газов от них до газоочистного оборудования.

2. С помощью программного продукта SolidWorks с приложением FlowSimulation проанализировано движение потока газа в камерах различных конструкций. Результаты моделирования позволили установить особенности поведения газоздушного потока в зависимости от конструкции пылесадительной камеры.

Литература

1. Сергина Н.М., Гвоздков И.А., Сидякин П.П., Павлюк Е.Г. О результатах обследования системы удаления и очистки пылевых выбросов в атмосфере при плавке стали в электродуговой печи ДСП-150. Современная наука и инновации. Ставрополь-Пятигорск, 2015, с.76-81.

2. Тулуевский Ю.Н., Зинуров И.Ю. Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора: монография - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010, 347 с.

3. Миличева Н.Н., Саблина А.Н. Наилучшие доступные технологии снижения выбросов в атмосферный воздух, применимые в различных отраслях промышленности, Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5300

4. Сергина Н.М., Шуршиков С.В., Илатовский А.С., Лыга Д.В., Статюха И.М. О повышении эффективности систем пылеулавливания в производстве



строительных материалов. - Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5445.

5. Власова О.С., Машенцева И.А. Анализ негативного влияния на окружающую среду предприятий по производству алюминия, Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4031

6. Азаров В.Н., Кошкарев С.А., Николенко М.А. Снижение выбросов систем обеспыливания с использованием дисперсионного анализа пыли в стройиндустрии. - Инженерный вестник Дона, 2018, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2838.

7. D. Marchand, Possible Improvement to Dust Collection in Electric Steel Plants and Summary of all Planned and Existing Systems in the Federal Republic of Germany, Ironmaking and Steelmaking 3 (4), 221 p. 230

8. Зинуров И.Ю., Киселев А.Д. Гудим Ю.А. Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технологии, материалы: монография, Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010.-547с.

9. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцова Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. SolidWorks. Компьютерное моделирование в современной практике, СПб. БХЛ-Петербург, 2005. -800с.

10. Rizzi A.W, Inouye M. Time split finite volume method for three dimensional blunt-body flows. AIAA Journal, v.11, 1973, pp. 1478-1485

References

1. Sergina N.M., Gvozdkov I.A., Sidyakin P.P., Pavlyuk E.G. O rezul'tatah obsledovaniya sistemy udaleniya i ochestki pylevyh vybrosov v atmosferu pri plavke stali v elektrodugovoj pechi DSP-150. Sovremennaya nauka i innovacii, Stavropol', Pyatigorsk, 2015. pp.76-81.



2. Tuluevskij YU. N., Zinurov I. YU. Innovacii dlya dugovyh staleplavil'nyh pechej [Innovations for arc furnaces] Nauchnye osnovy vybora: monografiya, Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2010. p.347.
3. Milicheva N.N., Sablina A.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5300.
4. Sergina N.M., SHurshikov S.V., Ilatovskij A.S., Lyga D.V., Statyuha I.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5445.
5. Vlasova O.S., Mashenceva I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4031.
6. Azarov V.N., Koshkarev S.A., Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2838.
7. D. Marchand, Possible Improvement to Dust Collection in Electric Steel Plants and Summary of all Planned and Existing Systems in the Federal Republic of Germany, Ironmaking and Steelmaking 3 (4), 221. p. 230.
8. Zinurov I.YU., Kiselev A.D. Gudim YU.A. Proizvodstvo stali v dugovyh pechah [Steel production in arc furnaces] Konstrukcii, tekhnologii, materialy: monografiya. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2010. p.547.
9. Alyamovskij A.A., Sobachkin A.A., Odincova E.V., YU Haritonovich A.I., Ponomarev N.B. SolidWorks. Komp'yuternoe modelirovanie v sovremennoj praktike [SolidWorks. Computer modeling in modern practice] SPb: BHL-Peterburg, 2005. p. 800.
10. Rizzi A.W, Inouye M. AIAAJournal, v.11, 1973, pp. 1478-1485.

Дата поступления: 25.10.2023

Дата публикации: 8.12.2023