

## Моделирование аэродинамических процессов в пылеосадительной камере

О.М. Билан<sup>1</sup>, Н.В. Мензелинцева<sup>2</sup>, В.Н. Азаров<sup>1</sup>, М.Д. Азарова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

<sup>2</sup>Волгоградский государственный университет, г. Волгоград

**Аннотация** С целью оптимизации работы пылеосадительных камер систем очистки выбросов сталеплавильных печей и повышения общей эффективности работы системы очистки исследовано движение газоздушных потоков и частиц пыли разного диаметра внутри пылеулавливающих камер с помощью программного продукта SolidWorks с приложением FlowSimulation, что позволило исследовать влияние целого ряда факторов, например, фракционного состава, состояния рабочих поверхностей камер, на движение газоздушного потока.

**Ключевые слова:** сталеплавильная печь, газоздушный поток, пылеосадительная камера, эффективность очистки, пыль, дисперсный состав, моделирование.

Все известные технологические процессы производства чугуна, стали, проката сопровождаются образованием больших количеств вредных газов и пыли (таблица №1).

Таблица №1

Состав выбросов металлургических производств [1]

Составляющие выбросов	Агломерационное произв-во, кг/т агломерата	Доменное произв-во, кг/т чугуна	Сталеплавильное произв-во, кг/т стали	Прокатное произв-во, кг/т проката
1	2	3	4	5
Пыль	20-25	100-106	13-32	0,1-0,2 кг/т проката
Оксид углерода	20-50	600-605	0,4 - 0,6	0,7 т/м поверхности металла
Оксиды серы	3-25	0,2-0,3	0,4-35	0,4 т/м поверхности металла
Оксиды азота			0,3-3,0	0,5 т/м поверхности металла
Сероводород		10-60		

В среднем на 1 млн. т годовой продукции заводов черной металлургии выделение составляет, т/сутки: пыли - 350, сернистого ангидрида - 200, оксида углерода - 400, оксидов азота - 42 [2].

В электродуговых печах на каждую тонну жидкой стали образуется 10-20 кг пыли из соединений железа, марганца, алюминия, кремния, магния, хлора, хрома и фосфора [3].

В сталеплавильном производстве основным источником образования пыли является электросталеплавильная печь. При работе сталеплавильной печи выделяют первичные выбросы, к которым относятся газы, образующиеся в рабочем пространстве печи и принудительно отсасываемые из него через отверстие в своде печи, и вторичные выбросы, т.е. запыленные газы, которые улавливают с помощью вытяжных зонтов вне печи. Первичные выбросы составляют 85...90% от общего количества.

На рис.1 показана схема отвода первичных выбросов от сталеплавильной печи. Выделяемые при выплавке стали в рабочем пространстве печи (1) первичные выбросы через сводовый патрубок (2) приемный патрубок (3) и шахту (4) попадают в пылесадительную камеру (5). При попадании газов со сводового патрубка (2) в приемный патрубок (3), газы разбавляются воздухом через регулируемый зазор, что обеспечивает некоторое снижение температуры газов.

Пылесадительные камеры являются неотъемлемой частью систем очистки отходящих газов в металлургической промышленности. Это одни из самых простых аппаратов очистки промышленных выбросов. Осаждение частиц в камерах происходит за счет действия сил гравитации. Их назначение при очистке выбросов от сталеплавильной печи: очистка отходящих газов от крупнодисперсных частиц и охлаждение отходящих газов, поступающих на вторую ступень очистки в рукавные фильтры.

---

Основное достоинство пылесадительных камер - простота конструкции, низкая стоимость, стабильность работы, возможность улавливания абразивной пыли, небольшой расход энергии, возможность очистки ГВС с высокой температурой [4,5]. Но камеры обладают значительными геометрическими размерами, эффективность улавливания невысокая, при наличии полок пространство между ними быстро забивается пылью и трудно очищается.

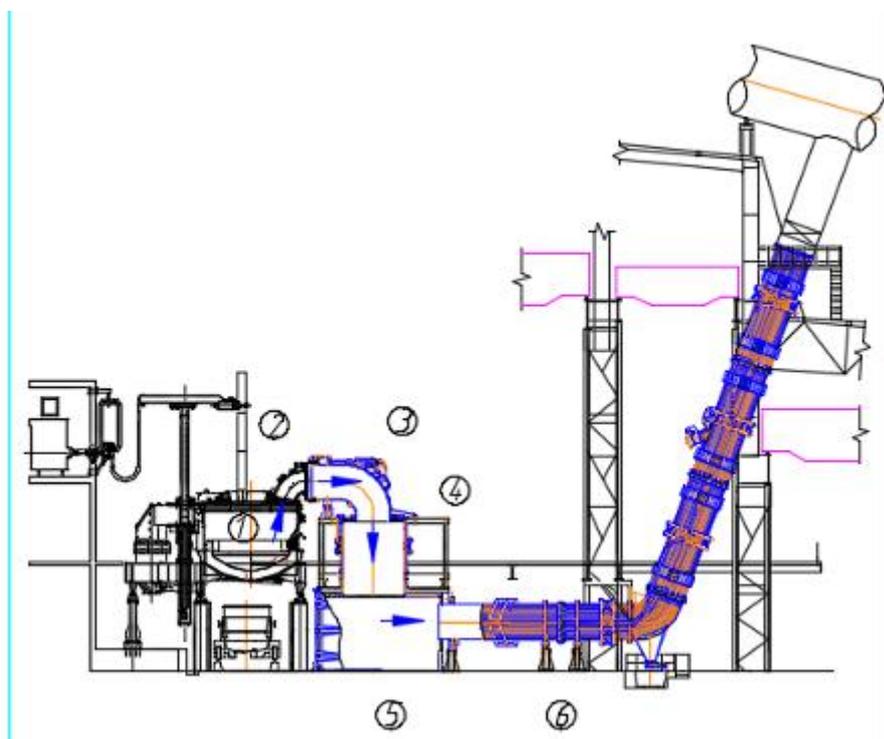


Рис.1. - Схема отвода первичных выбросов сталеплавильной печи. 1 - рабочее пространство печи; 2 - сводовый патрубок; 3 - приемный патрубок; 4 - шахта; 5 - пылесадительная камера; 6 - водоохлаждаемый газоход.

Применение пылевых камер, тем не менее, обеспечивает повышение общей эффективности очистки и увеличивает срок службы пылеуловителей второй ступени очистки (рукавных фильтров) [6]. Камеры могут

изготавливаться в водоохлаждаемом исполнении при высокой температуре отходящих газов.

Практика показывает, что на многих металлургических предприятиях по ходу движения газов от пылесадительной камеры к рукавному фильтру по водоохлаждаемому газоходу отмечается осаждение пыли. Из-за этого приходится в ручном режиме производить очистку газоходов. Заращение пылью газоходов и пылесадительной камеры, особенно при наличии полок, пространство между которыми забивается пылью, очень быстро и трудно очищается, приводит к снижению эффективности всей системы очистки газов. Кроме того, снижается эффективность охлаждения газов. На рукавные фильтры попадает пыль большой дисперсности и с повышенной температурой.

Кроме того, необходимо отметить, что теоретические исследования работы пылесадительных камер не всегда соответствуют практическим результатам.

Поэтому в условиях ужесточающихся требований к качеству атмосферного воздуха, к очистке выбросов особое значение приобретают всесторонний анализ и оптимизация действующих пылеулавливающих аппаратов, в том числе пылесадительных камер [7,8].

Основными факторами, определяющими эффективность их работы, являются: физико-механические свойства осаждаемой пыли (дисперсный состав, плотность, форма частиц); свойства несущего воздушного потока (скорость, температура, влажность, степень турбулизации), геометрические размеры камеры (высота, длина).

Конструкции пылесадительных камер различаются по направлению потока воздуха. Выбор конструкции пылесадительной камеры в значительной степени определяется общей планировкой цеха и оптимальным использованием рабочего пространства.

---

Проведен анализ работы некоторых вариантов конструкций пылеосадительных камер, применяемых отечественными металлургическими предприятиями.

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

При исследовании были заданы следующие параметры: скорость газозадушной смеси на входе в камеру – 5 м/с; температура ГВС – 20 °С; давление на входе в камеру – нормальное. Геометрические размеры камеры: длина L=105 м, ширина Н=8.0 м, высота В=5,5 м.

Результаты моделирования движения потоков ГВС для некоторых конструкций камер представлены на рис.1-9. 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.

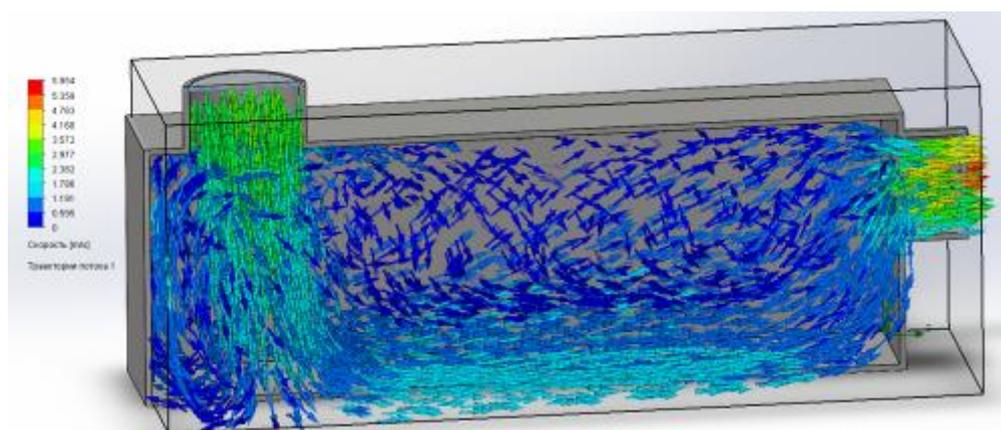


Рис.1 - Изменение скорости потока воздуха ,схема1

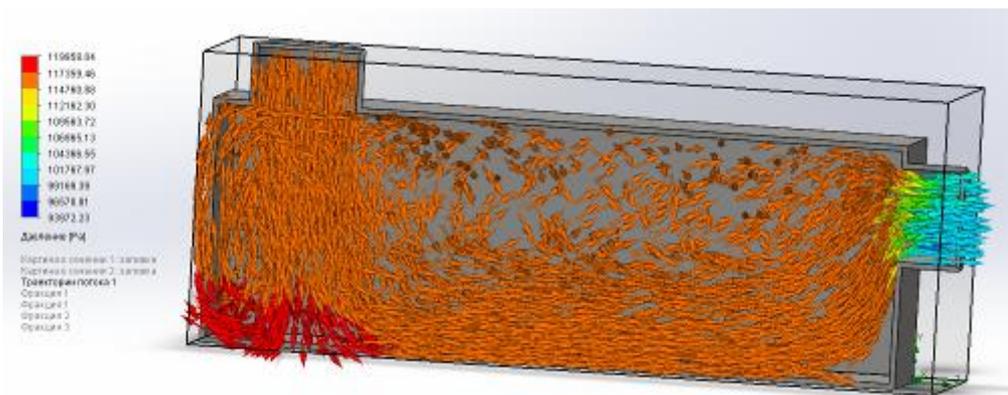


Рис.2. - Изменение давления внутри аппарата, схема 1

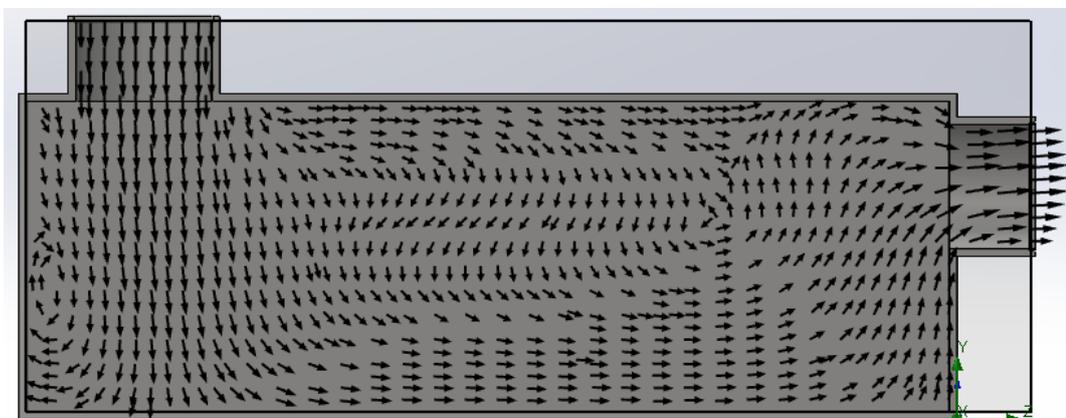


Рис.3. - Схема движения потока воздуха, схема 1

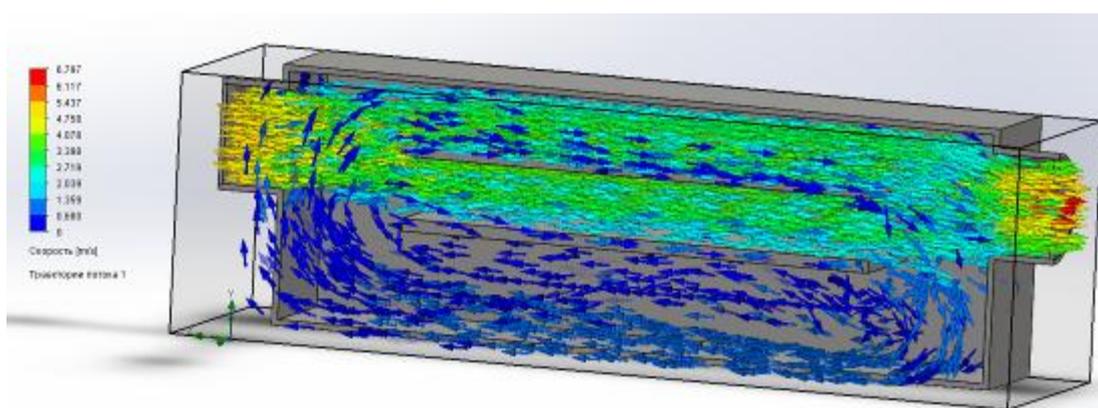


Рис.4. - Изменение скорости потока воздуха ,схема 2

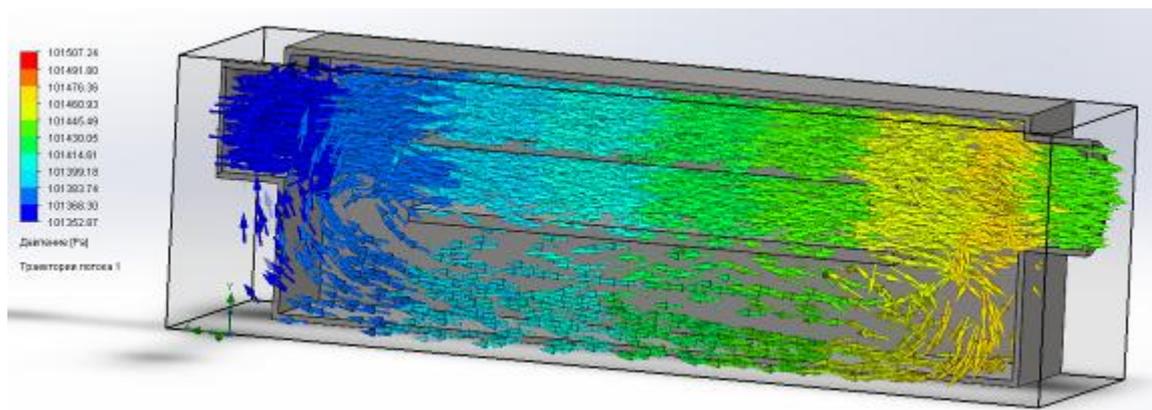


Рис.5. - Изменение давления внутри аппарата, схема 2

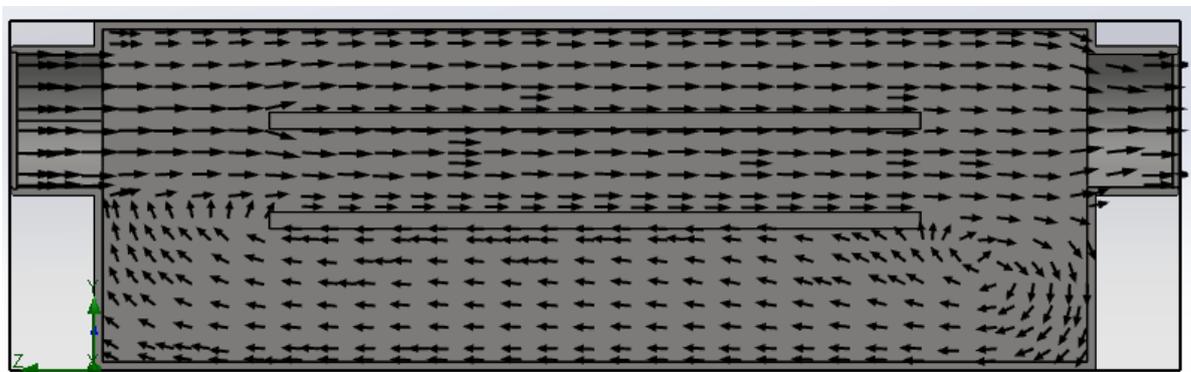


Рис.6. - Схема движения потока воздуха, схема 2

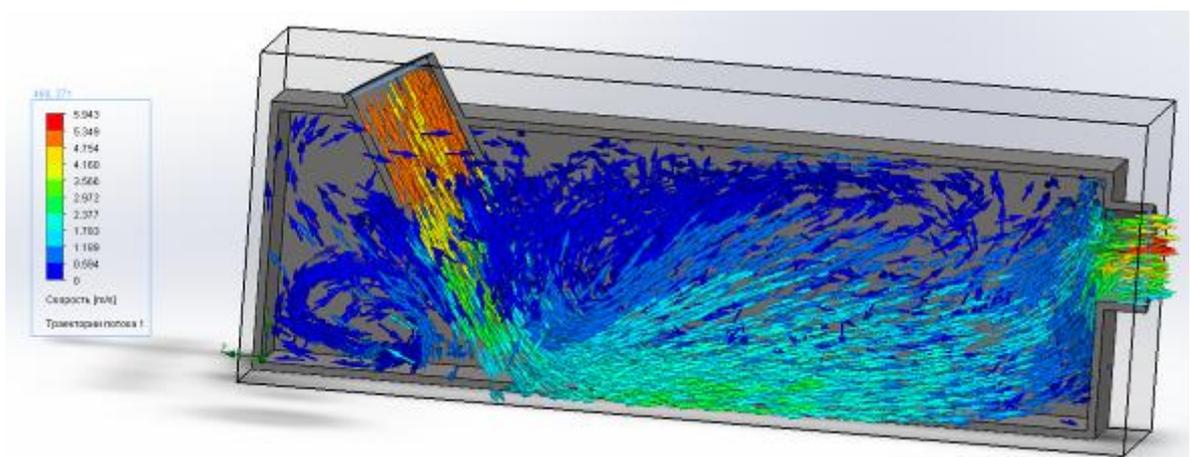


Рис.7. - Изменение скорости потока воздуха, схема3.

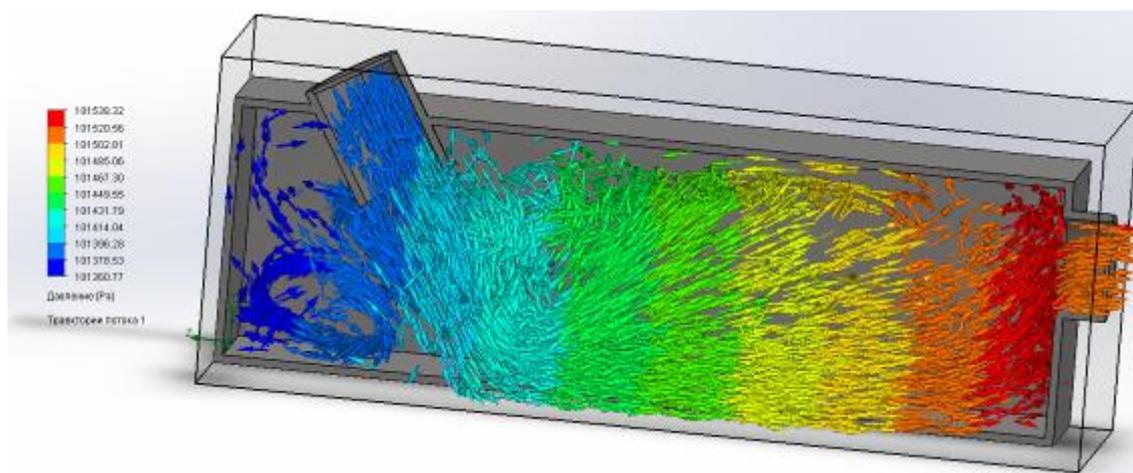


Рис.8. - Изменение давления внутри аппарата, схема 3.

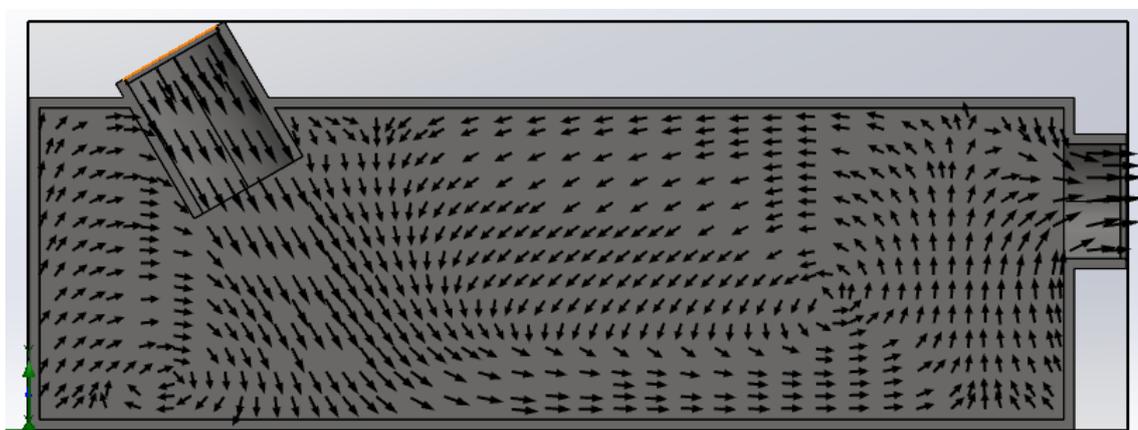


Рис.9. - Схема движения потока воздуха, схема 3.

При моделировании движения частиц внутри камеры рассматривали два предельных варианта в зависимости от состояния стенок камеры: полное отражение от стенок камеры и унос частиц вместе с потоком воздуха и полное осаждение частиц на стенки камеры. При моделировании рассматривали движение частиц следующих фракций: фракция 1 - 100мкм, фракция 2 - 70 мкм, фракция 3 - 50мкм, фракция 4 - 40мкм, фракция 5 - 30 мкм, фракция 6 - 20 мкм, фракция 7 - 10 мкм. Количество частиц каждой фракции на входе - 100. Полученные значения для некоторых схем приведены в таблице № 2.

Таблица №2

Результаты моделирования движения частиц в камере

Размер частиц	Схема1	Схема2	Схема 3
---------------	--------	--------	---------

фракции,	полное отражение	полное осаждение	полное отражение	полное осаждение	полное отражение	полное осаждение
10мкм	100	91	100	96	95	66
20мкм	100	88	100	97	98	60
30мкм	100	87	99	98	98	46
40мкм	100	88	97	96	100	32
50мкм	100	85	97	97	100	20
70мкм	100	78	97	97	100	0
100 мкм	100	76	97	97	100	0
Всего, мкм	700	593	687	680	691	224

Применение программного продукта SolidWorks с приложением FlowSimulation позволяет исследовать движение газоздушных потоков внутри камеры, изменение скорости движения ГВС, а также моделировать движение частиц с учетом ряда особенностей (фракционного состава, состояния рабочих поверхностей стенок и др.), что позволит более эффективно решать практические задачи совершенствования пылеулавливания.

### Выводы

Обоснована необходимость оптимизации работы пылеосадительных камер систем очистки выбросов сталеплавильных печей для повышения общей эффективности работы системы очистки.

Исследовано движение газоздушных потоков и частиц пыли разного диаметра внутри пылеулавливающих камер с помощью программного продукта SolidWorks с приложением FlowSimulation, что позволит более эффективно решать практические задачи совершенствования пылеулавливания.

## Литература

1. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов // Справ.изд. -А. М.:Металлургия,1986.544с.
  2. Гудим Ю.А., Зинуров И.Ю., Киселев А.Д. Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технологии, материалы // монография - Новосибирск: Изд-во НГТ, 2010. -547с.
  3. Тулуевский Ю.Н., Зинуров И.Ю. Инновации для дуговых сталеплавильных печей. Научные основы выбора // монография - Новосибирск: Изд-во НГТУ,2010. -347 с.
  4. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5300)
  5. Marchand D., 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.
  6. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5445).
  7. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4031).
  8. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2838).
-

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

10. Rizzi A.W, InouyeM Time split finite volume method for three-dimensional blunt-body flows // AIAAJournal,v.11,1973,pp.1478-1485.

### References

1. Aliev G.M. Tekhnika pyleulavlivaniia i ochistki promyshlennykh gazov [Dust collection and industrial gas purification technology] Sprav.izd. A. M.:Metallurgiiia,1986.544 p.

2. Gudim Iu.A., Zinurov I.Iu., Kiselev A.D. Proizvodstvo stali v dugovykh pechakh. Konstruktsii, tekhnologii, materialy [Steel production in arc furnaces. Designs, technologies, materials] monografiia Novosibirsk,: Izd-vo NGTU, 2010. 547 p.

3. Tuluevskii Iu.N., Zinurov I.Iu. Innovatsii dlia dugovykh staleplavilnykh pechei. Nauchnye osnovy vybora [Innovations for arc steel furnaces. Scientific basis of choice] monografiia, Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2010. 347 p.

4. Milicheva N.N., Sablina A.N. Inzhenernyi vestnik Dona, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5300](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5300)

5. Marchand D., 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.

6. Sergina N.M., Shurshikov S.V., Ilatovskii A.S., Lyga D.V., Statiukha I.M. Inzhenernyi vestnik Dona, 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5445](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5445).

7 Vlasova O.S., Mashentseva I.A. , Inzhenernyi vestnik Dona, 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4031](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4031)



8. Azarov V.N., Koshkarev S.A., Nikolenko M.A. Inzhenernyi vestnik Dona, 2018, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2838](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2838).

9. Aliamlvskii A.A., Sobachkin A.A., Odintsova E.V., Iu Kharitonovich A.I., Ponomarev N.B. SolidWorks. Kompiuternoe modelirovanie v sovremennoi praktike [SolidWorks. Computer modeling in modern practice], SPb.: BKhL-Peterburg, 2005. 800 p.

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

**Дата поступления: 7.10.2024**

**Дата публикации: 20.11.2024**