

К. ф.-м. н. **М. С. Грицкевич**¹, д. т. н. **К. И. Логачёв**² (✉), д. т. н. **О. А. Аверкова**²,
В. А. Ткаченко²

¹ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия

УДК 533.6:628.5

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕВОЗДУШНОГО ТЕЧЕНИЯ ВБЛИЗИ КРУГЛОГО ОТСОСА, ЭКРАНИРОВАННОГО КОЛЬЦЕВОЙ ЗАКРУЧЕННОЙ СТРУЕЙ. Часть 2. Динамика пылевых частиц*

Рассмотрен метод улавливания загрязняющих веществ с применением местного отсоса. Приведены результаты исследований поведения пылевых частиц в воздушном потоке вблизи местного отсоса, экранированного закрученной кольцевой струей, расположенного над непроницаемой плоскостью и в замкнутом пространстве аспирационного укрытия.

Ключевые слова: местная вытяжная вентиляция, вихревой отсос, распределение скоростей, пылевые частицы, дальность действия отсоса, аспирация.

Наиболее распространенным методом улавливания загрязняющих веществ является применение местной вытяжной вентиляции, элементом которой является местный отсос. Скорость воздуха при удалении от местного отсоса резко падает, что не способствует эффективному улавливанию вредных выбросов. Одним из способов увеличения диапазона захвата местного отсоса открытого типа является применение закрученной кольцевой струи, коаксиально расположенной с отсосом. Для закрытых местных отсосов следует снизить захват пылевых частиц и использовать их как ступень очистки воздуха от пыли. Данная статья является продолжением статьи [1].

Исследование дальнобойности вытяжного устройства при его расположении вблизи бесконечной стенки

Дальнобойность вытяжного устройства при его расположении вблизи бесконечной стенки исследовали с использованием расчетной области и сетки, описанной в части 1 статьи (рис. 1). В дополнение к описанным ранее граничным

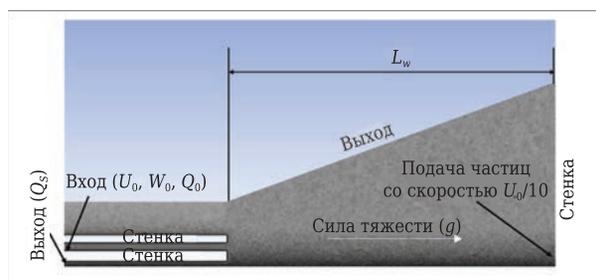


Рис. 1. Постановка задачи для вытяжного устройства вблизи бесконечной стенки

условиям перпендикулярно оси вытяжного устройства располагается стенка на безразмерном расстоянии L_w/R_0 , равном 4, 8 и 16. При этом с поверхности стенки вблизи оси подаются частицы с плотностью ρ_p 2300 кг/м³ и радиусом r_p 10, 40 и 80 мкм со скоростью $U_0/10$. Следует отметить, что для корректности постановки задачи учитывается действие силы тяжести.

Траектории пылевых частиц построены с помощью коммерческого кода ANSYS-CFX, где решаются следующие уравнения переноса частиц в лагранжевом представлении

$$m_p \frac{dU_p}{dt} = F_D + F_B + F_{VM} + F_P,$$

где m_p — масса пылевой частицы; U_p — скорость пылевой частицы; F_D — сила трения, действующая на частицу; F_B — сила плавучести; F_{VM} — сила, связанная с присоединенной массой; F_P — сила, связанная с действием градиента давления.

* Часть 1 опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 8 за 2018 г.



К. И. Логачёв
E-mail: kilogachev@mail.ru

$$F_D = 0,5C_D\rho_F A_F |U_F - U_P|(U_F - U_P),$$

$$C_D = \max(24/\text{Re}(1 + 0,15\text{Re}^{0,687}), 0,44),$$

$$F_B = m_P(1 - \rho_F/\rho_P)g,$$

где ρ_F, ρ_P — плотности воздуха и частицы соответственно; U_F, U_P — скорости воздуха и частицы соответственно; A_F — эффективная площадь сечения частицы.

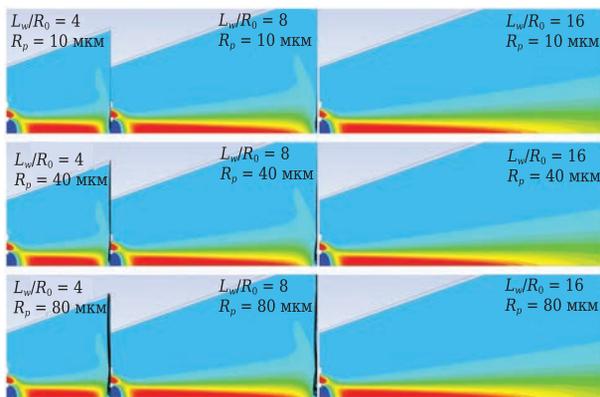


Рис. 2. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_S/Q_0 = 0,5, S_0 = 0$

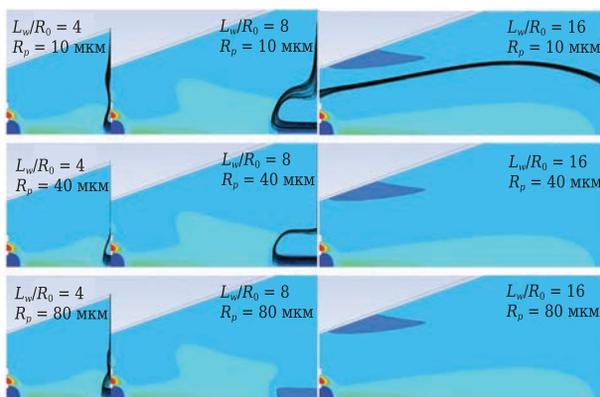


Рис. 3. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_S/Q_0 = 1,0, S_0 = 0$

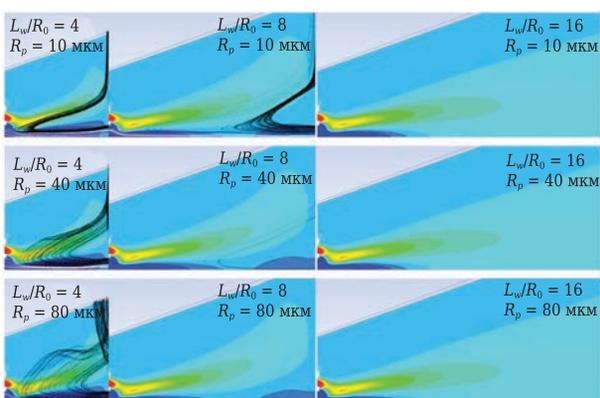


Рис. 4. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_S/Q_0 = 0,5, S_0 = 0,335$

При проведении исследования рассматривали два расхода Q_S/Q_0 0,5 и 1,0. В случае отсутствия закрутки экранирующей струи ($S_0 = 0$) частицы не попадают в вытяжное устройство для всех рассмотренных радиусов r_p , расстояний L_w/R_0 и расходов Q_S/Q_0 (рис. 2, 3). Здесь и далее траектории частиц, пересекающие выходную поверхность вытяжного устройства, отмечены белым, а все остальные — черным.

При наличии закрутки экранирующей струи (рис. 4–11) наибольший диапазон улавливания пылевых частиц достигается для конфигурации с $S_0 = 0,904$, для которой оказывается возможным уловить все частицы при всех расстояниях до стенки для $Q_S/Q_0 = 0,5$ (см. рис. 8) и все частицы, за исключением самых тяжелых, на самом большом расстоянии до стенки для $Q_S/Q_0 = 1,0$ (см. рис. 9). При интенсивности закрутки $S_0 = 0,335$ и $Q_S/Q_0 = 0,5$ (см. рис. 4) улавливание всех рассмотренных размеров частиц наблюдается только для наименьшего расстояния до стенки. Для всех остальных рассмотренных конфигураций экранирующей струи (см. рис. 5–7, 10, 11) улавливание всех рассмотренных размеров частиц наблюдается для расстояний $L_w/R_0 \leq 8$, в

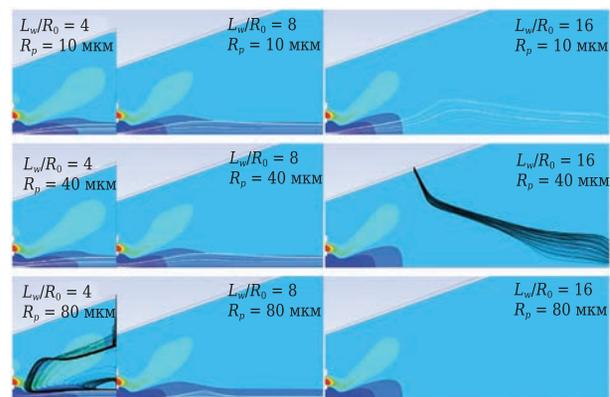


Рис. 5. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_S/Q_0 = 1,0, S_0 = 0,335$

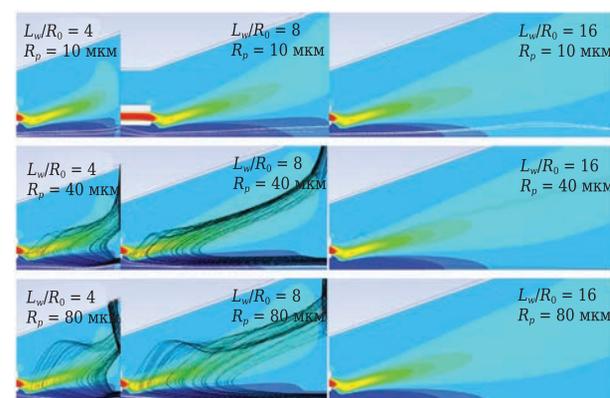


Рис. 6. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_S/Q_0 = 0,5, S_0 = 0,556$

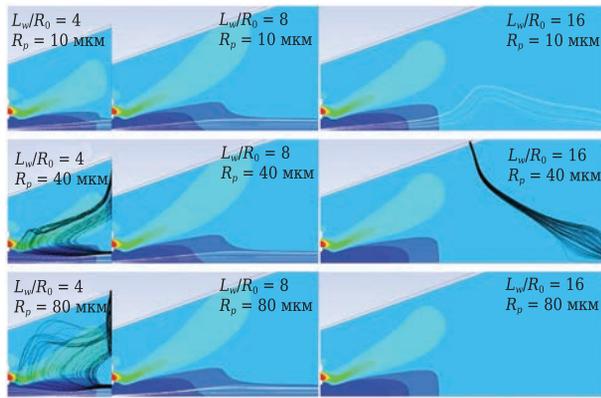


Рис. 7. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_s/Q_0 = 1,0$, $S_0 = 0,556$

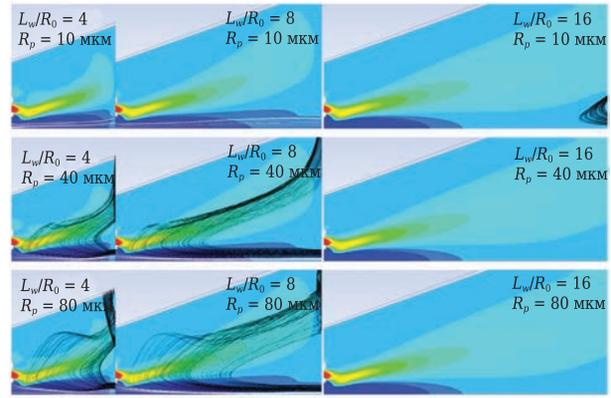


Рис. 10. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_s/Q_0 = 0,5$, $S_0 = 0,5$

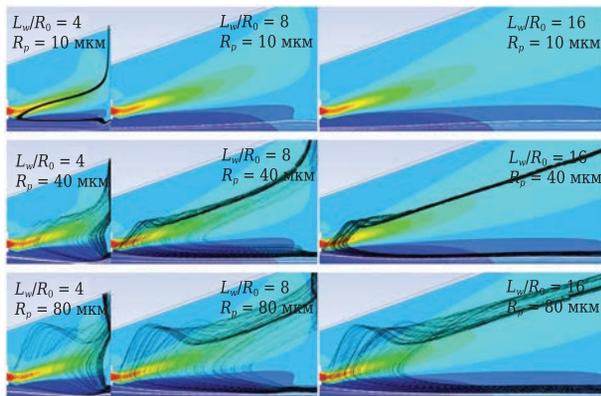


Рис. 8. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_s/Q_0 = 0,5$, $S_0 = 0,904$

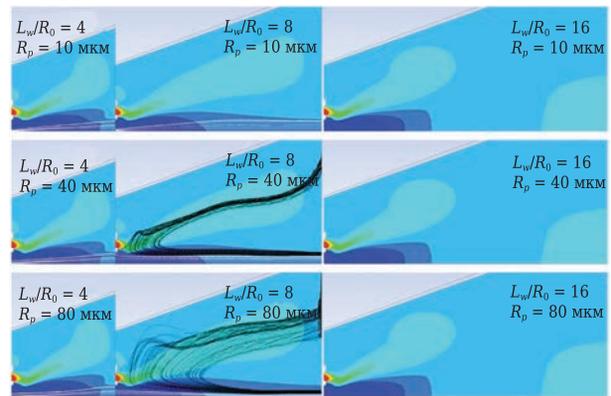


Рис. 11. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_s/Q_0 = 1,0$, $S_0 = 0,5$

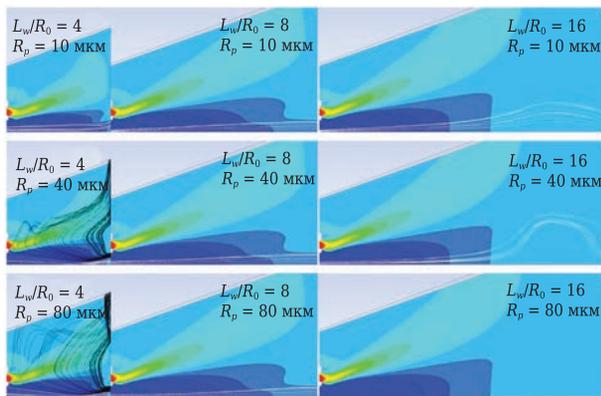


Рис. 9. Сравнение контуров осевой скорости и траектории частиц для различных расстояний до стенки и диаметров частиц: $Q_s/Q_0 = 1,0$, $S_0 = 0,904$

то время как для больших расстояний до стенки ($L_w/R_0 = 16$) оказывается возможным уловить лишь самые маленькие частицы.

Таким образом, проведенное исследование показало, что наилучшей дальностью вытяжного устройства можно достичь в случае ис-

пользования экранирующей струи с закруткой $S_0 = 0,904$, что согласуется с результатами для течения в открытом пространстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено детальное исследование дальности вытяжного устройства при работе с различными диаметрами частиц в открытом пространстве, вблизи бесконечной поверхности и в аспирационном укрытии.

С использованием разработанной модели проведено численное исследование влияния закрученной кольцевой струи на поля скоростей воздушного потока вблизи вытяжного устройства в широком диапазоне эксплуатационных параметров, при этом выявлен ряд закономерностей. Наиболее равномерный забор газа вдали от оси симметрии наблюдается при уменьшении закрутки до $S_0 = 0,5$ (в этом случае обратные токи наблюдаются практически во всей расчетной области). Наиболее интенсивный забор воздуха вблизи оси достигается при сильной закрут-

ке ($S_0 = 0,904$) в случае отношения расходов $Q_s/Q_0 = 0,5$ и соотношений диаметров $D_s/D_0 = 0,46$. Максимальная дальность кольцевой осесимметричной струи при выбранных значениях закрутки составляет более 8 калибров (калибр — внешний диаметр кольцевого отверстия), при этом по сравнению со случаем забора воздуха из рассматриваемой области только из центрального вытяжного канала диапазон захвата увеличивается более чем в 8 раз. В то же время при равенстве расходов приточного и отсасываемого воздуха влияние кольцевой струи оказывается меньшим, при этом также наблюдается увеличение дальности для закрутки кольцевой струи, равной $S_0 = 0,904$. В случае отсутствия закрутки в кольцевой струе обратные токи наблюдаются только в непосредственной близости от вытяжного канала, что приводит к заметно менее эффективному забору воздуха из окружающего пространства.

В случае расположения вытяжного отверстия над непроницаемой плоскостью наибольший диапазон улавливания пылевых частиц достигается для конфигурации с интенсивностью закрутки $S_0 = 0,904$, для которой оказывается возможным

уловить все рассмотренные пылевые частицы при всех расстояниях до стенки для $Q_s/Q_0 = 0,5$. Наименьший диапазон захвата пылевых частиц достигается при $S_0 = 0,335$ и $Q_s/Q_0 = 0,5$. Для всех остальных рассмотренных конфигураций улавливание всех рассмотренных размеров частиц наблюдается для расстояний $L_w/R_0 \leq 8$, в то время как для больших расстояний до стенки ($L_w/R_0 = 16$) оказывается возможным уловить лишь самые маленькие частицы.

Разработанная методика расчета течений с закрученными экранирующими струями может быть использована для проектирования местных вентиляционных отсосов, что прежде всего достигается за счет использования параметрической геометрической модели, разработанной в процессе исследования.

* * *

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-79-10025).

Получено 22.01.18

© М. С. Грицкевич, К. И. Логачёв,
О. А. Аверкова, В. А. Ткаченко, 2018 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

UNITECR 2019

Refractories for the Future:
Collaboration among Customers, Manufacturers and
Academia in Pursuit of Further High-Temperature Technology

Дата 13–16 октября 2019 г.

Место Pacifico Yokohama
г. Йокогама, Япония

Темы:

- Огнеупоры для производства:
 - железа и стали
 - стекла
 - цемента
- Огнеупоры для цветной металлургии
- Огнеупоры для нефтехимических процессов
- Огнеупоры для сжигания отходов
- Сырье
- Экологическая устойчивость и переработка сырья
- Достижения в области производства и оборудования
- Огнеупорные инженерные системы и дизайн
- Новые разработки
- Базовая наука
- Энергосбережение и теплоизоляция
- Тестирование огнеупоров
- Образование
- Промышленные применения огнеупоров
- Высокотемпературная инженерная керамика
- Сотрудничество между клиентами, производствами и научными организациями

Hosted by TARJ. Technical Association of Refractories, Japan

<http://unitecr2019.org/index.html>