

В. В. Кочетов, к. т. н. **А. Б. Гольцов**, д. т. н. **К. И. Логачёв** (✉),
д. т. н. **О. А. Аверкова**, к. т. н. **В. М. Киреев**
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический
университет имени В. Г. Шухова», Белгород, Россия

УДК 621.928.9: 62-784.431

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЫЛИ В РОТАЦИОННОМ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ С РЕГУЛИРУЕМЫМ РАСХОДОМ ВОЗДУХА

Разработан ротационный пылеуловитель, работающий по принципу центробежного сепаратора. Особенностью его конструкции является наличие байпасного рециркуляционного канала очищенного воздуха с регулятором расхода, двух выходных патрубков с раскручивателями потока в виде спиралевидных каналов. Выполнен расчет движения пылевых частиц плотностью 3000 кг/м^3 и диаметром от 1 до 100 мкм. Проведены исследования по повышению эффективности работы аппарата при помощи центрального композиционного плана и установлению рациональных конструктивно-режимных параметров смесителя рециркуляционного и очищаемого воздуха.

Ключевые слова: ротационный пылеуловитель, эффективность очистки, медианный диаметр частиц, регулируемый расход, производительность пылеуловителя, пылевоздушный поток.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспыливания технологических процессов пыльных производств и, соответственно, для снижения вредного воздействия на атмосферу, здоровье людей и работу оборудования необходимы эффективные пылеулавливающие аппараты.

Для установки рациональных конструктивно-режимных параметров смесителя рециркуляционного и очищаемого воздуха представляет интерес исследовать влияние рециркуляционного потока на эффективность пылегазоочистки инерционного аппарата (рис. 1), который относится к пылеулавливающим устройствам [1]. Аппарат работает как центробежный сепаратор и может быть использован для пылеулавливания в разных отраслях промышленности [2], а также при утилизации твердых бытовых отходов. В работах [3, 4] исследован данный аппарат, раскрыты основные теоретические закономерности сепарации твердых частиц, приведены результаты промышленных экспериментов. Однако влияние дополнительного потока и смесителя потоков исследовано не было.

Принцип работы ротационного пылеуловителя (см. рис. 1) заключается в пылесосаждении

частиц за счет центробежной силы. Аппарат содержит корпус со спиральными пылесадительными каналами, ограниченными изогнутыми по цилиндрической поверхности перегородками, которые смещены одна относительно другой с образованием пылеотводящих щелей между смежными краями перегородок; тангенциальный входной патрубок и осевой выходной патрубок на корпусе; пылесборник, присоединенный снизу к боковой поверхности корпуса.

Согласно предлагаемому решению, входной и выходной патрубки объединяются байпасным рециркуляционным каналом очищенного воздуха с регулятором расхода воздуха.

Центробежный пылеуловитель с регулируемым расходом работает следующим образом. Основной поступающий воздух представляет собой запыленный воздушный поток с частицами от 1 до 100 мкм, который по тангенциальному входному патрубку поступает в спиральный канал. За счет движения по криволинейной траектории частицы пыли концентрируются на периферии каждого из каналов и выводятся через зазоры из данного канала в предыдущий по ходу движения потока. Из первого канала по ходу потока под действием центробежной силы пыль вместе с частью воздуха поступает в бункер-пылесборник, где основная масса частиц оседает. Наиболее легкие (мелкие) фракции продолжают летать и возвращаются через соответствующий зазор в зону активной сепарации, где сепарирующий эффект за счет воздействия на них центробежной силы усиливается вследствие уменьшения радиуса закрутки. Очищенный воздушный поток через вен-



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

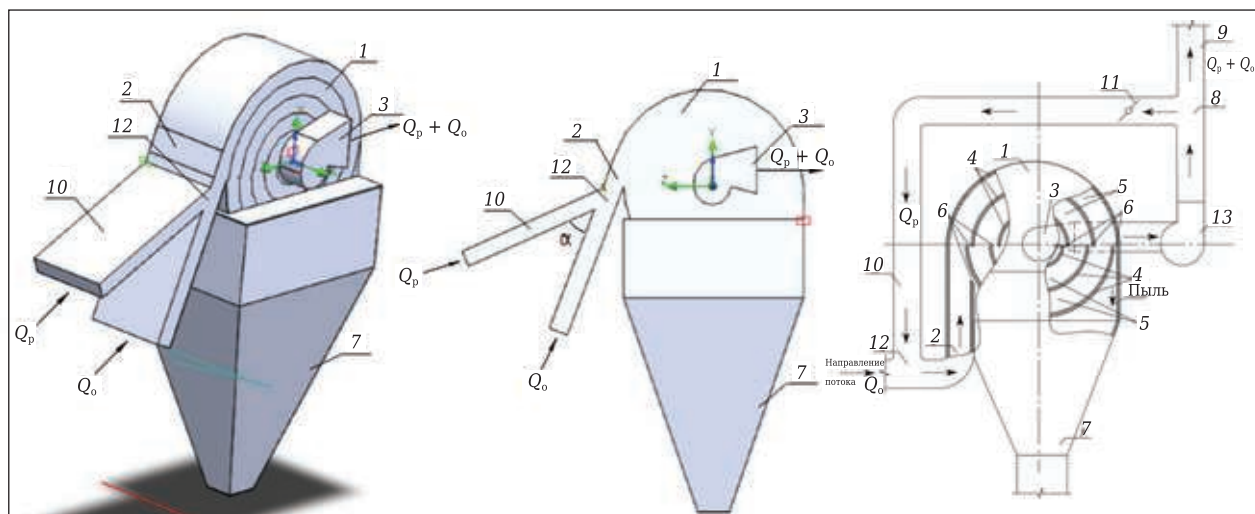


Рис. 1. Расчетная модель исследуемого аппарата очистки пылевоздушного потока с регулируемым расходом воздуха: 1 — сепарационная камера; 2 — тангенциальный входной патрубок; 3 — выходной канал; 4 — верхний и нижний полуцилиндры; 5 — спиральные сепарационные каналы; 6 — зазоры активной сепарации; 7 — бункер-пылесборник; 8 — разделитель потоков; 9 — выходной канал очищенного воздуха; 10 — байпасный рециркуляционный канал; 11 — регулируемая заслонка; 12 — смеситель потоков; 13 — выходной вентилятор

тилятор поступает в выходной канал, затем разделяется в разделителе потока: часть очищенного воздуха выбрасывается в атмосферу через выбросной канал, а другая — поступает в рециркуляционный канал. Расход поступающего воздуха регулируется за счет работы регулятора расхода, например заслонки, для поддержания центробежной силы, действующей на частицы пыли в пылеосадительном канале. Рециркуляционный поток воздуха поступает в смеситель рециркуляционного и очищаемого воздуха.

Отличительной особенностью рассматриваемого пылеуловителя от аналогичного аппарата в патенте [5] является наличие байпасного рециркуляционного канала очищенного воздуха 2 с регулятором расхода 7, разделителя 6 и смесителя потоков 14 (см. рис. 1), двух выходных патрубков с раскрывателями потока. Байпасные рециркуляционные каналы ранее предложено было использовать для повышения эффективности систем аспирации [6, 7] за счет организации принудительной [8, 9] и естественной рециркуляции [10, 11] пылевоздушных потоков.

Цель настоящей статьи — выявление оптимальных значений высоты байпасного рециркуляционного канала очищенного воздуха B/A и угла его входа α по отношению к смесителю потоков пылеуловителя. Реализация поставленной цели исследований осуществлялась при решении следующих задач:

- разработке компьютерной модели ротационного пылеуловителя в среде Solid Works Flow Works со смесителем воздуха для исследования способа подачи рециркуляционного потока, влияющего на эффективность пылеочистки $\eta = (1 - N_{\text{вых}}/N_{\text{вх}}) \cdot 100\%$;

- разработке байпасного рециркуляционного канала очищенного воздуха для возможности регулирования расхода очищаемого воздуха, а также повышения эффективности работы аппарата η ;

- исследовании аппарата при различных конструктивно-режимных параметрах работы;

- выявлении зависимости расхода очищаемого воздуха Q_p/Q_o в рециркуляционном канале для анализа эффективности очистки улавливаемых частиц;

- установке рациональных конструктивно-режимных параметров Q , B/A , α работы смесителя рециркуляционного воздуха;

- анализе полученных результатов, определении эффективности работы аппарата η и формулировке направлений дальнейших исследований.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Построение расчетной области модели и вычислительный эксперимент проводили в программном комплексе Solid Works Flow Simulation, где для численного решения задачи использовали уравнения неразрывности и Навье – Стокса, замкнутые при помощи k - ϵ -модели турбулентности с интенсивностью 0,1 % и масштабом турбулентности 0,002 м. Уравнения решались на неструктурированных адаптированных к телу прямоугольных сетках. В вычислительном эксперименте проведено моделирование движения пылевых частиц плотностью 3000 кг/м³ и диаметрами от 1 до 100 мкм. Для выполнения вычислительного эксперимента в среде Solid Works была построена простран-

ственная твердотельная модель ротационного аппарата и задана расчетная область моделирования двухфазных течений. В ходе расчетов решали внутреннюю газодинамическую задачу движения газодисперсного потока в полости пылеулавливающего аппарата. Воздействие частиц пыли на воздушный поток не учитывали, так же как и в работах [12–14].

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается в ранее опубликованных работах [3–5, 15], в которых были приведены сопоставления с теоретическими, лабораторными и натурными экспериментами. Наблюдалась удовлетворительная качественная и количественная корреляция достоверных и экспериментальных данных. В ходе эксперимента основной целью являлось получение адекватных результатов, коррелирующих с реальными экспериментами, проведенными в работе [15].

В среде Solid Works Flow Works в качестве исходных данных для моделирования были приняты (см. рис. 1): объемный расход воздуха Q на выходе из аппарата $8,33 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q_p + Q_o = Q$), различные расходы рециркуляционного воздуха Q_p , основного воздуха Q_o , температура воздуха на входе в аппарат 443 К , свободный вход с давлением 101325 Па , непроницаемые стенки, угол α от 20 до 90° . Скорость на входе в аппарат при разных режимах работы $1\div 27 \text{ м/с}$, на выходе из аппарата $1\div 22 \text{ м/с}$.

Факторами исследования вычислительной модели являлись разные значения B/A и α по отношению к смесителю потоков. Критериями оценки эффективности работы приняты соотношение уловленных частиц в аппарате и количества поступающих частиц различных диаметров $N_{\text{вых}}/N_{\text{вх}}$.

В построенной модели пылеуловителя был исследован смеситель потоков 12 (см. рис. 1), в котором происходит смешение основного и рециркуляционного потоков воздуха. Необходимо определить рациональное соотношение рециркулируемого и поступающего в аппарат расходов воздуха Q_p/Q_o для повышения эффективности работы аппарата η .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных экспериментов показаны на рис. 2–4. Общее количество поступающих в аппарат частиц составляет 2000 шт. — по 125 частиц каждой исследуемой фракции (1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 100 мкм). В эксперименте использован центральный композиционный план, применение которого сократило количество опытов. Полученные результаты эффективности работы η аппаратов очистки воздуха аналогичны результатам работ [16–18].

Основываясь на полученных значениях количества уносимых частиц $N_{\text{вых}}$ были построены карты линий уровня (рис. 2) для предсказанных значений конструктивно-режимных параметров $N_{\text{вых}}/N_{\text{вх}}$, отношения расходов рециркулируемого и поступающего в аппарат воздуха Q_p/Q_o и отношения высоты к ширине канала B/A .

В сравнении полученных данных эффективности очистки аппарата η численного эксперимента было получено уравнение регрессии (коэффициент детерминации $R^2 = 0,75$)

$$N_{\text{вых}}/N_{\text{вх}} = 0,31 + 0,038 \cdot \ln(Q_p/Q_o) - 0,38 \cdot B/A. \quad (1)$$

Из графика зависимости (см. рис. 3) количества уносимых частиц $N_{\text{вых}}/N_{\text{вх}}$ от расхода Q_p/Q_o , построенного по формуле (1), следует, что при уменьшении подачи рециркуляционного расхода Q_p/Q_o возрастает эффективность очистки улавливаемых частиц $\eta = (1 - N_{\text{вых}}/N_{\text{вх}}) \cdot 100 \%$. Наиболее рациональным и эффективным является соотношение каналов $B/A = 0,232/1,16 = 0,2$ и угол $\alpha = 20^\circ$. При увеличении угла более 20° возникает завихрение потока вследствие срыва основного потока и η снижается.

Внедрение рециркуляционного канала в конструкцию ротационного пылеуловителя с возможностью регулирования расхода очищаемого воздуха показало, что отмечается повышение эффективности очищаемого воздуха. При увеличении величины $Q_p/Q_o > 0,2$ зависимость η от Q_p/Q_o становится практически линейной (см. рис. 3). При правильном выборе расхода очищаемого воздуха рециркуляционного патрубка в совокупности с остальными факторами можно добиться значительного увеличения эффективности работы аппарата с возможностью регулирования расхода поступающего воздуха на очистку.

В работе [15] был проведен вычислительный эксперимент, из которого следует, что эффективность пылеулавливания при отсутствии рециркуляционного потока составляла $\eta = 62\div 79 \%$ для частиц плотностью 3000 кг/м^3 . С байпасным рециркуляционным каналом и соотношением

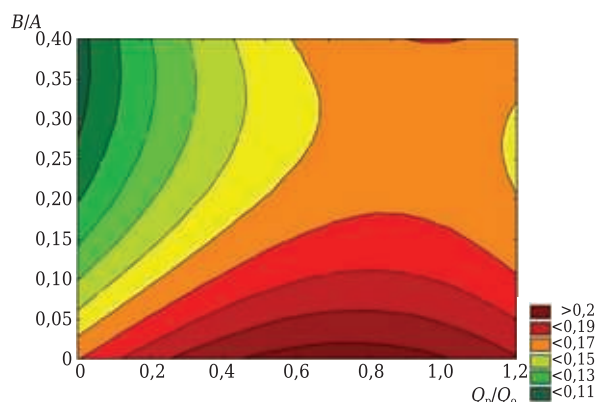


Рис. 2. Карты линий уровня соотношений $N_{\text{вых}}/N_{\text{вх}}$, Q_p/Q_o , B/A

$Q_p/Q_0 > 0,2$ доля очистки исследуемых частиц пыли находится в пределах $\eta = 75 \div 80$ %. При величине $Q_p/Q_0 < 0,2$ эффективность очистки достигает $\eta = 88$ %.

По актам внедрения, представленным в работе [3], степень очистки аппарата η при оптимальных условиях составляет $60 \div 90$ % в зависимости от физических свойств и дисперсного состава пыли. Выполненный анализ эффективности улавливания частиц с регулируемым расходом воздуха показал, что внедрение рециркуляционного патрубка эффективно сказывается на работе аппарата и позволяет совершенствовать конструктивно режимные параметры аппарата. В работе [15] проводили эксперимент, направленный на выявление степени улавливания частиц пыли при различных диаметрах (см. рис. 4). Линии 1–3 представляют собой работу аппарата без байпасного рециркуляционного канала при разной производительности. После внедрения в конструкцию байпасного рециркуляционного канала и повторения эксперимента (см. рис. 4, линия 4) наблюдается повышение эффективности при малых диаметрах частиц пыли.

В аппарате пылеочистки важным фактором при разработке усовершенствованной конструкции с рециркуляционным патрубком является повышение сопротивления. В компьютерной модели значение сопротивления учитывали при проведении эксперимента [19–21]. Рост сопротивления пропорционален высоте канала B , расчет которого произведен для нахождения рациональных размеров рециркуляционного канала.

С увеличением количества поступающего воздуха на рециркуляцию Q_p наблюдается повышение сопротивления байпасного рециркуляционного канала и, следовательно, снижение эффективности байпасного рециркуляционного канала. На сопротивление в аппарате существенное влияние оказывает сечение входных каналов B/A и, как следствие, скорость воздуха в каналах. В большинстве случаев перепад сопротивлений на входе и выходе аппарата составляет до 3000 Па.

При внедрении байпасного рециркуляционного канала происходит слияние потоков чистого воздуха и загрязненного воздуха, поступающего на очистку, изменяется направление потока в сторону стенки каналов аппарата, что создает дополнительное давление к пристеночной области стенок каналов частиц, вследствие которого образуется коагуляция частиц. При коагуляции масса частицы возрастает, что способствует ее перемещению на периферию циркулирующего слоя, выходу из него и движению опять в разбавленном потоке к следующей равновесной орбите с более высокой скоростью [21–24]. С учетом вышесказанного, в дальнейшем необходимо произвести математическое

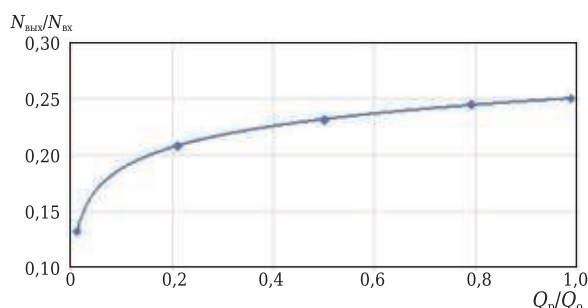


Рис. 3. Зависимость количества уносимых частиц $N_{\text{вых}}/N_{\text{вх}}$ от Q_p/Q_0 при величинах $B/A = 0,1–0,4$

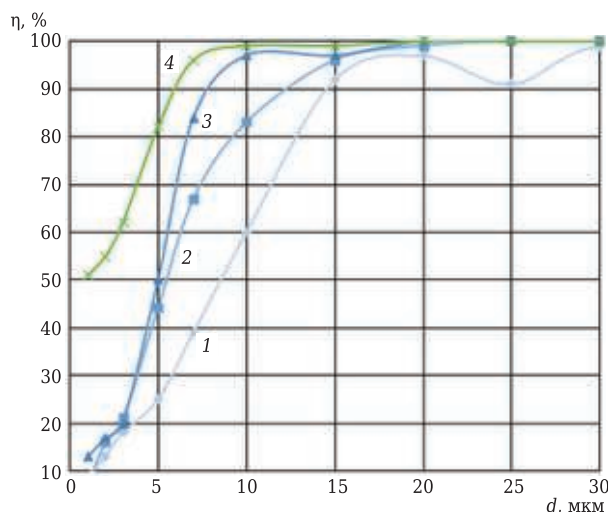


Рис. 4. Степень улавливания частиц пыли $\eta, \%$ разного диаметра d плотностью 3000 кг/м^3 при разной производительности установки: 1 — $2,77 \text{ м}^3/\text{с}$; 2 — $5,55 \text{ м}^3/\text{с}$; 3 — $8,33 \text{ м}^3/\text{с}$; 4 — $8,33 \text{ м}^3/\text{с}$ (Q_0) с байпасным рециркуляционным каналом ($Q_p/Q_0 = 0,11 / 8,22 = 0,013 \text{ м}^3/\text{с}$) и $\alpha = 20^\circ$

моделирование смесителя с разными углами рециркуляционного канала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана компьютерная модель ротационного пылеуловителя в среде Solid Works Flow Works со смесителем воздуха, исследован способ подачи рециркуляционного потока с учетом рациональных параметров, влияющего на эффективность пылеочистки η .

Предложено использование байпасного рециркуляционного канала очищенного воздуха для ранее разработанной модели пылеуловителя, повышающий эффективность очистки аппарата до $\eta = 88$ %.

Выявлены рациональные конструктивно-режимные параметры для работы смесителя рециркуляционного и очищаемого воздуха: $Q_p = 0,11 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_0 = 8,22 \text{ м}^3/\text{с}$, $B/A = 0,2$, $\alpha = 20^\circ$.

Установлено, что ширину и высоту рециркуляционного канала B/A нельзя уменьшать, поскольку создается повышенное сопротивление и эффективность аппарата η уменьшается,

рациональные параметры рециркуляционного канала $B/A \geq 0,2$, влияние угла α незначительно, но предпочтительно должно составлять $\alpha = 20 \div 45^\circ$.

Определено влияние отношения расходов Q_p/Q_0 в рециркуляционном канале на эффективность очистки улавливаемых частиц (см. рис. 2, 3);

Эффективность работы аппарата при уменьшении величины Q_p/Q_0 менее 0,2 увеличивается. Наибольшая эффективность работы аппарата Q_p/Q_0 достигается в диапазоне от 0,01 до 0,2 и составляет $\eta = 88 \%$.

Библиографический список

1. **Ветошкин, А. Г.** Процессы и аппараты пылеочистки : уч. пособие / А. Г. Ветошкин. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. — 210 с.
2. **Платонов, А. М.** Совершенствование аэродинамических условий сепарации пыли в сухих циклонах / А. М. Платонов // Промышленная и санитарная очистка газов. — 1984. — № 5. — С. 2, 3.
3. **Буров, А. А.** Ресурсосбережение при очистке газовых выбросов в атмосферу ; в сб. научных статей «Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии» / А. А. Буров, А. И. Буров, Н. А. Вишнякова, В. А. Толкач. — Киев : НППВ «Триакон», 2010. — Вып. 3 (5). — С. 11–14.
4. **Буров, А. А.** Центробежная очистка промышленных выбросов в атмосферу / А. А. Буров, А. И. Буров, А. В. Силин, О. Н. Цабиев // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2005. — № 6. — С. 44–51.
5. **Пат. 2016665 Российская Федерация.** Центробежный сепаратор / Буров А. А., Буров А. И., Котляревский П. А., Кошур Н. Х., Мальгота А. А. — № 4943501/26 ; Оpubл. 30.07.94.
6. **Logachev, I. N.** Methods and means of reducing the power requirements of ventilation systems in the transfer of free-flowing materials / I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova // Refract. Ind. Ceram. — 2013. — Vol. 54, № 3. — P. 258–262.
7. **Логачёв, И. Н.** Способы и средства снижения энергоёмкости аспирационных систем при перегрузке сыпучих материалов / И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова // Новые огнеупоры. — 2013. — № 6. — С. 66–70.
8. **Киреев, В. М.** Рециркуляционные энергоэффективные системы аспирации с использованием эффекта Коанда / В. М. Киреев, В. А. Минко, А. Б. Гольцов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2018. — № 12. — С. 57–62.
9. **Ovsyannikov, Y. G.** Reducing the power consumption of ventilation systems through forced recirculation / Yu. G. Ovsyannikov, A. B. Gol'tsov, A. S. Seminenko [et al.] // Refract. Ind. Ceram. — 2017. — Vol. 57, № 5. — P. 557–561.
10. **Овсянников, Ю. Г.** Снижение энергоёмкости аспирационных систем за счет принудительной рециркуляции / Ю. Г. Овсянников, А. Б. Гольцов, А. С. Семиненко [и др.] // Новые огнеупоры. — 2016. — № 10. — С. 64–68.
11. **Kireev, V. M.** The use of coanda effect in energy-efficient recirculating aspiration systems / V. M. Kireev,

При Q_p/Q_0 больше 0,2 $\eta = 75 \div 80 \%$. При возможности регулирования расхода очищаемого воздуха заслонкой в байпасном рециркуляционном канале эффективность составила $\eta = 62 \div 79 \%$.

Полученные результаты на основании вычислительных экспериментов коррелируют с результатами, полученными в работах [3, 6], коэффициент корреляции составляет 0,88–0,95.

* * *

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

- A. B. Goltsov, A. S. Seminenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2018. — Vol. 463. — Article 032020.
10. **Logachev, K. I.** Simulation of air flows in ventilation shelters with recirculation / K. I. Logachev, I. V. Kryukov, O. A. Averkova // Refract. Ind. Ceram. — 2015. — Vol. 56, № 4. — P. 428–434.
11. **Логачёв, К. И.** Моделирование воздушных потоков в аспирационном укрытии с рециркуляцией / К. И. Логачёв, И. В. Крюков, О. А. Аверкова // Новые огнеупоры. — 2015. — № 8. — С. 57–62.
12. **Averkova, O. A.** Analytical and experimental study of the air recirculation in a loading porous tube with a combined bypass chamber / O. A. Averkova, I. V. Kryukov, I. N. Logachev, K. I. Logachev // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2017. — Vol. 90, № 2. — P. 318–328.
13. **Logachev, K. I.** Simulations of dust dynamics around a cone hood in updraft conditions / K. I. Logachev, A. M. Ziganshin, O. A. Averkova // J. Occup. Environ. Hyg. — 2018. — Vol. 15. — P. 715–731.
14. **Logachev, K. I.** Modeling of air and dust flows in the range of action of a round suction funnel above an impermeable plane. Part 1. A mathematical model and algorithm for its computer implementation / K. I. Logachev, O. A. Averkova, E. I. Tolmacheva [et al.] // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 56. — P. 679–683.
15. **Логачёв, К. И.** Моделирование пылевоздушных течений в спектре действия круглого отсоса-раструба над непроницаемой плоскостью. Часть 1. Математическая модель и алгоритм ее компьютерной реализации / К. И. Логачёв, О. А. Аверкова, Е. И. Толмачева, А. К. Логачёв, В. Г. Дмитриенко // Новые огнеупоры. — 2015. — № 12. — С. 56–60.
16. **Logachev, K. I.** Modeling of air and dust flows in the range of action of a round suction funnel above an impermeable plane. Part 2. Characteristics of separation region and efficiency of capture of dust particles / K. I. Logachev, O. A. Averkova, E. I. Tolmacheva [et al.] // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 57. — P. 103–107.
17. **Логачёв, К. И.** Моделирование пылевоздушных течений в спектре действия круглого отсоса-раструба над непроницаемой плоскостью. Часть 2. Характеристики отрывной области и эффективность улавливания пылевых частиц / К. И. Логачёв, О. А. Аверкова, Е. И. Толмачева [и др.] // Новые огнеупоры. — 2016. — № 2. — С. 62–66.
18. **Кочетов, В. В.** Анализ работы и способы совершенствования ротационного пылеуловителя / В. В.

Кочетов, А. Б. Гольцов, Т. И. Ильина // Экология промышленного производства. — 2019. — № 3. — С. 42–46.

16. **Ахмедзянов, Д. А.** К вопросу об адекватности трехмерного газодинамического моделирования ГТД в современных программных комплексах / Д. А. Ахмедзянов, А. Е. Кишалов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2008. — № 1. — С. 11–20.

17. **Song, J.** Experimental and CFD study of particle deposition on the outer surface of vortex finder of a cyclone separator / J. Song, Y. Wei, G. Sun, J. Chen // Chemical Engineering Journal. — 2017. — Vol. 309. — P. 249–262.

18. **Azarov, V. N.** Experimental study of secondary swirling flow influence on flows structure at separation chamber inlet of dust collector with counter swirling flows / V. N. Azarov, D. V. Lukanin, D. P. Borovkov, A. M. Redhwan // International Review of Mechanical Engineering. — 2014. — Vol. 5. — P. 851–856.

19. **Talbi, K.** An experimental study and a numerical simulation of the turbulent flow under the vortex finder of a cyclone separator / K. Talbi, Z. Nemouchi, A. Donnot, N. Belghar // Journal of Applied Fluid Mechanics. — 2011. — Vol. 4, № 1. — P. 69–75.

20. **Gol'tsov, A. B.** Modeling dust and air flow within an aspirated shelter / A. B. Gol'tsov, K. I. Logachev, O. A.

Averkova // Refract. Ind. Ceram. — 2016. — Vol. 57, № 3. — P. 325–331.

Гольцов, А. Б. Моделирование пылевоздушных течений в аспираторе / А. Б. Гольцов, К. И. Логачев, О. А. Аверкова // Новые огнеупоры. — 2016. — № 6. — С. 61–66.

21. **Azarov, V. N.** Application of swirling flows in aspiration systems / V. N. Azarov, D. P. Borovkov, A. M. Redhwan // International Review of Mechanical Engineering. — 2014. — Vol. 4. — P. 750–753.

22. **Zhukova, N. S.** Analysis of structural elements CDW apparatus in engineering and environmental systems / N. S. Zhukova, T. O. Kondratenko, V. A. Shibakov // International Scientific Journal Alternative Energy and Ecology. — 2013. — Vol. 12. — P. 62–66.

23. **Oh, J.** Numerical simulation of an internal flow field in a uniflow cyclone separator / J. Oh, S. Choi, J. Kim // Powder Technology. — 2015. — Vol. 274. — P. 135–145.

24. **Bhasker, C.** Flow simulation in industrial cyclone separator / C. Bhasker // Advances in Engineering software. — 2010. — Vol. 41. — P. 220–228. ■

Получено 29.04.21

© В. В. Кочетов, А. Б. Гольцов, К. И. Логачев, О. А. Аверкова, В. М. Куреев, 2021 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

METALFORUM 2021 — Международная выставка по металлургии, литью и металлообработке



ITM
INDUSTRY EUROPE
31.08-3.09.2021
INDUSTRY
AT DIGITAL AGE
Польша, г. Познань

www.expoclub.ru

Профили выставки Metalforum:

- добыча и переработка руд черных и цветных металлов;
- сырье металлургического производства — руды и концентраты, лом, отходы и шлаки;
- машины и оборудование для металлургии — плавильные, отжиговые печи, литейные ковши и др.;
- прессы и экструдеры, молоты и печи для термообработки;
- оборудование для производства труб и проволоки, листа и фольги;
- материалы и добавки — огнеупоры, смеси, стержни, опоки;
- машины и оборудование для очистки и снятия напряжений в отливках;
- машины и оборудование для порошковой металлургии, конвейеры, питатели и др.;
- металлы (чугун, сталь, цветные металлы), сплавы черных и цветных металлов и изделия из них;
- чугунные и стальные трубы;
- проволока, пружины, кабели, цепи;
- продукция порошковой металлургии;
- металлоконструкции для промышленности и строительства;
- ножи, ножницы, пилы, отвертки, сверла и другой ручной и производственный инструмент;
- утилизация лома и отходов металлургического производства;
- научно-исследовательские разработки, услуги, программное обеспечение и др.