

Д. т. н. **О. А. Аверкова**, к. т. н. **А. Б. Гольцов**, д. т. н. **К. И. Логачёв** (✉),
А. В. Минко

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический
университет имени В. Г. Шухова», Белгород, Россия

УДК 622.807.1:658.589

СНИЖЕНИЕ ПЫЛЕУНОСА ИЗ АСПИРАЦИОННОГО УКРЫТИЯ ЗА СЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Рассмотрена пылединамика в аспирационном укрытии, оборудованном разными тонкими механическими экранами. Для расчета траекторий пылевых частиц использовали дифференциальное уравнение их движения, расчет поля скоростей воздушного потока производили методом граничных интегральных уравнений. Определено влияние разных механических экранов на максимальный диаметр пылевых частиц. Показано, что при использовании криволинейных механических экранов можно существенно снизить пылеунос в аспирационную сеть.

Ключевые слова: аспирация, местная вытяжная вентиляция, метод граничных интегральных уравнений, пылевые частицы.

ВВЕДЕНИЕ

Применение местной вытяжной вентиляции является наиболее эффективным способом улавливания избытков теплоты [1–3], вредных газообразных выбросов [4], жидких и пылевых аэрозолей [5–7]. Многие научные труды посвящены исследованию влияния фланцев, козырьков или механических экранов на эффективность захвата загрязняющих веществ местными вытяжными устройствами открытого типа. Показано [8], что применение фланцев (механических экранов) повышает эффективность захвата загрязняющих веществ на 88 %. Скорость воздуха, захватывающего загрязняющие вещества, при использовании фланца выше, чем без него [6, 9, 10]. Для увеличения скорости воздуха вблизи местного отсоса-раструба предлагается использовать газовый направляющий прибор [11]. Применение тонких козырьков способствует также повышению эффективности местного отсоса в присутствии набегающего на него воздушного потока [2].

Рассмотрено поведение пылевых частиц в спектре действия местного отсоса при покоящейся внешней среде [6, 12, 13]. Захват пылевых частиц открытым местным отсосом в виде всасывающего патрубка исследовали в покоящейся среде при изменении диаметра, плотности ча-

стицы, начальной скорости и времени релаксации [14]. Рассматривали стоксовское обтекание воздухом частицы. Движение воздушного потока инициировалось только всасывающим отверстием. Пылевые частицы размерами от 1 до 60 мкм вылетали из точечного источника вертикально или горизонтально. При помощи численного интегрирования уравнения движения твердых инерционных частиц определяли прямой захват частиц пыли при разных скоростях их вылета. Исследования поведения пылевых частиц вблизи круглого всасывающего патрубка в покоящейся среде показало доминирующее влияние диаметра всасывающего отверстия и скорости всасывания на длину захвата пылевых частиц [12]. Под длиной захвата понимали максимальное расстояние по вертикали от всасывающего зонга до точки, в которой частица улавливается; набегающий на местный вытяжной зонг пылевоздушный поток описан в статье [15]. Построен ряд предельных траекторий пылевых частиц для разных чисел Стокса и скорости набегающего потока. Исследовано влияние угла наклона полки зонга и его длины на коэффициент аспирации. Однако полученных результатов недостаточно для представления о влиянии длины и угла наклона полки зонга при разных скоростях набегающего потока на эффективность аспирации пыли всасывающим зонтом [16].

Основная задача закрытых местных отсосов (укрытий) — снижение концентрации на входе в вытяжное отверстие [17] и снижение пылеуноса в аспирационную сеть [6]. Часто для оценки снижения пылеуноса используется величина мак-



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

симального диаметра пылевой частицы при прохождении в аспирационную сеть [6]. Чем меньше эта величина, тем больше осаждение пыли в аспирационном укрытии, тем меньше пылеунос и последующие затраты на очистку воздуха от пыли. Снижению пылеуноса способствует размещение в полости аспирационного укрытия механических экранов (тонких козырьков). В частности, показано [6], что снижению пылеуноса способствуют увеличение длины экрана и смещение его к приточному (загрузочному) каналу. Показано также, что применение вращающихся цилиндров и цилиндров-отсосов обеспечивает существенное снижение пылеуноса. Однако для этого необходимы значительное усложнение конструкции укрытия и повышение энергозатрат на вращение цилиндров. Использование наклонных механических экранов рассмотрено в статьях [18, 19], тонких механических экранов разных прямолинейных форм для снижения вредных подсосов воздуха в аспирационное укрытие — в статье [20]. Использование криволинейных механических экранов для снижения пылеуноса в аспирационное укрытие ранее не рассматривалось. Кроме того, ранее не рассматривалось также влияние на величину максимального диаметра пылевой частицы, уносимой в аспирационную сеть, повторного взметывания, возникающего вследствие воздушного потока, проникающего в аспирационное укрытие через щелевые неплотности вблизи конвейерной ленты.

Цель настоящей работы — численное определение влияния тонких механических экранов, расположенных в полости аспирационного укрытия, и точки вылета пылевой частицы на максимальный диаметр пылевой частицы, уносимой в аспирационный патрубок.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Конструктивно-режимные характеристики аспирационного укрытия показаны на рис. 1. Для построения поля скоростей внутри укры-

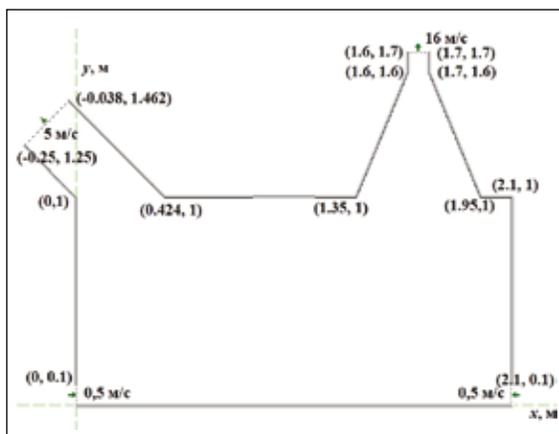


Рис. 1. Схема аспирационного укрытия

тия использовали метод граничных интегральных уравнений [6] для решения уравнения Лапласа относительно потенциала скорости.

Границу S аспирационного укрытия разбили на прямолинейные отрезки. На каждом из отрезков непрерывно размещали источники (стоки), интенсивности $q(\xi)$ которых необходимо определить. Величины $q(\xi)$ должны быть такими, чтобы сумма их воздействий на середине дискретизирующих границу отрезков соответствовала граничным условиям: скорость вдоль направления внешней нормали равна 0 на твердой границе и заданным значениям в открытых проемах. Такое суммирование эквивалентно интегрированию по границе S . При определении величин $q(\xi)$ скорость вдоль заданного направления $n\{n_1, n_2\}$ во внутренней точке (x_1, x_2) будет определяться из выражения

$$v_n(x) = \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{(x_1 - \xi_1)n_1 + (x_2 - \xi_2)n_2}{(x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2} q(\xi) dS(\xi), \quad (1)$$

где ξ_1, ξ_2 — граничная точка.

Для определения неизвестных величин $q(\xi)$ внутреннюю точку x устремляли к точке $x_0(x_{01}, x_{02})$ вдоль нормали к границе, направленной вне расчетной области. Тогда выражение (1) преобразуется к несобственному интегралу

$$v_n(x_0) = \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{(x_{01} - \xi_1)n_1 + (x_{02} - \xi_2)n_2}{(x_{01} - \xi_1)^2 + (x_{02} - \xi_2)^2} q(\xi) dS(\xi) \quad (2)$$

с особенностью при $x_0 = \xi$. В этом случае знаменатель подынтегрального выражения стремится к нулю, а само подынтегральное выражение — к бесконечности. Поэтому такое уравнение называется сингулярным интегральным уравнением. От этой сингулярности можно избавиться. Для этого границу интегрирования разбивают на две части. Одна часть — это полуокружность малого радиуса с лежащей на ней точкой x_0 , содержащая точку ξ , вторая часть — остальная часть границы. При устремлении радиуса полуокружности к нулю интеграл по ней становится равным $-0,5q(x_0)$ и уравнение (2) преобразуется к следующему виду:

$$v_n(x_0) = -\frac{1}{2} q(x_0) + \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{(x_{01} - \xi_1)n_1 + (x_{02} - \xi_2)n_2}{(x_{01} - \xi_1)^2 + (x_{02} - \xi_2)^2} q(\xi) dS(\xi), \quad (3)$$

где из интеграла исключена точка $x_0 = \xi$, что учтено в первом слагаемом.

Выражение (3) является граничным интегральным уравнением, которое классифицируется как интегральное уравнение Фредгольма 2-го рода. Для его решения применяют численный метод; аналитического решения для сложных областей нет. С учетом разбиения границы области на прямолинейные отрезки и записи его для середины x_0^p каждого из отрезков дискретный аналог уравнения (3) примет вид

$$-\frac{1}{2}q(x_0^p) + \frac{1}{2\pi} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^N q(\xi^k) \int_{\Delta S^k} \frac{(x_{01}^p - \xi_1^k)n_1 + (x_{02}^p - \xi_2^k)n_2}{(x_{01}^p - \xi_1^k)^2 + (x_{02}^p - \xi_2^k)^2} dS(\xi^k) = v_n(x_0^p), \quad p = 1, 2, K, N, \quad (4)$$

где (ξ_1^k, ξ_2^k) — произвольная точка, лежащая на отрезке ΔS^k ; N — количество отрезков.

После решения системы линейных алгебраических уравнений, полученных из уравнения (4) путем изменения номера p отрезка от 1 до N , и определения неизвестных величин $q(\xi^1), q(\xi^2), \dots, q(\xi^N)$, скорость вдоль заданного направления $l(l_1, l_2)$ во внутренней точке (x_1, x_2) определяли из выражения

$$v_1(x) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^N q(\xi^k) \int_{\Delta S^k} \frac{(x_1 - \xi_1^k)l_1 + (x_2 - \xi_2^k)l_2}{(x_1 - \xi_1^k)^2 + (x_2 - \xi_2^k)^2} dS(\xi^k). \quad (5)$$

Для построения траекторий пылевых частиц использовали уравнение их движения [6]:

$$\frac{1}{6} \rho_{\text{ч}} \pi d_e^3 v_{\text{ч}}(t) = -\psi |v_{\text{ч}} - v_{\text{в}}| (v_{\text{ч}} - v_{\text{в}}) \rho_{\text{в}} \chi S_m / 2 + \frac{1}{6} \rho_{\text{ч}} \pi d_e^3 g, \quad (6)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ и $\rho_{\text{в}}$ — плотность частицы и воздуха со скоростями $v_{\text{ч}}$ и $v_{\text{в}}$; d_e — эквивалентный диаметр пыли с коэффициентом формы χ ; g — ускорение свободного падения; S_m — площадь миделевого сечения, $S_m = \pi d_e^2 / 4$; ψ — коэффициент сопротивления воздуха, определяемый по формуле

$$\psi = \begin{cases} \frac{24}{\text{Re}} & \text{при } \text{Re} < 1; \\ \frac{24(1 + \sqrt[3]{\text{Re}^2/6})}{\text{Re}} & \text{при } 1 \leq \text{Re} \leq 1000; \\ \frac{24\sqrt{(1 + 0,065\sqrt[3]{\text{Re}^2/6})^3}}{\text{Re}} & \text{при } \text{Re} > 1000, \end{cases} \quad (7)$$

где $\text{Re} = \frac{\rho_{\text{в}} |v_{\text{ч}} - v_{\text{в}}| d_e}{\mu}$; μ — динамическая вязкость воздуха.

Учитывали столкновение частиц пыли с твердыми участками границы. Нормальную и тангенциальную относительно границы составляющие скорости вычисляли по формулам

$$v_{2n} = -kv_{1n}, \quad v_{2\tau} = v_{1\tau} + \eta f(1 + k)v_{1n}, \quad (8)$$

где индекс 1 относится к скоростям до столкновения, индекс 2 — после столкновения; f — коэффициент трения скольжения; k — коэффициент восстановления при ударе; $\eta = -\frac{2v_{1\tau}}{7f(1+k)v_{1n}}$, при условии $-\frac{2v_{1\tau}}{7f(1+k)v_{1n}} < 1$ и $\eta = 1$ в другом случае.

Уравнение (7) сводили к системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, которые решали методом Рунге — Кутты:

$$\begin{cases} \frac{dv_{\text{чх}}}{dt} = -\frac{3\psi \rho_{\text{в}} \chi}{4 d_e \rho_{\text{ч}}} |v_{\text{чх}} - v_{\text{вх}}| (v_{\text{чх}} - v_{\text{вх}}), & \frac{dx}{dt} = v_{\text{чх}}; \\ \frac{dv_{\text{чы}}}{dt} = -g - \frac{3\psi \rho_{\text{в}} \chi}{4 d_e \rho_{\text{ч}}} |v_{\text{чы}} - v_{\text{вы}}| (v_{\text{чы}} - v_{\text{вы}}), & \frac{dy}{dt} = v_{\text{чы}}. \end{cases} \quad (9)$$

Вычислительные эксперименты проводили в компьютерной программе, разработанной на основе описанной вычислительной процедуры. Использовали следующие параметры частиц и воздуха: $\rho_{\text{ч}} = 3500 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{в}} = 1,205 \text{ кг/м}^3$; $f = 0,5$; $k = 0,5$; $\chi = 1$; $\mu = 0,0000178 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Количество граничных отрезков от 5000 до 13000.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расширение всасывающего канала не влияет на величину максимального диаметра частицы, уносимой в аспирационную сеть (рис. 2). При установке во всасывающий канал различных вставок максимальный диаметр не изменяется (рис. 3).

При установке механического экрана большего размера величина максимального диаметра значительно снижается (рис. 4). В работе [6], например, начальная точка вылета пылевой частицы располагалась в крайней точке приточного канала, максимально приближенной к всасывающему каналу. Полагалось, что эта точка наиболее благоприятна для улавливания пыли. Именно из этой точки вылетают наибольшие частицы, улавливаемые всасывающим каналом; в данном случае это крайняя правая точка приточного канала. Здесь максимальный диаметр снижается от 120 до 40 мкм при возрастании длины механического экрана (рис. 5, кривая 1). Однако при увеличении длины экрана до максимально возможной (не препятствующей проходу конвейерной ленты с перегружаемым материалом) существует точка вылета в том же приточном отверстии, где максимальный диаметр выше и равен 42 мкм (рис. 5, кривая 2). Если учесть повторное взметывание пыли, которое может наблюдаться вследствие поступления воздушного потока через неплотность, то диаметр частицы, поступающей через нее, оказывается больше, чем из приточного отверстия (рис. 5, кривая 3) при определенных высотах экрана. Это обстоятельство необходимо учитывать при определении максимального диаметра пылевой частицы.

При смещении вертикального экрана высотой 0,9 м от всасывающего канала максимальный диаметр пылевых частиц для всех рассматриваемых точек вылета снижается (рис. 6, 7).

При установке криволинейного экрана (рис. 8, а) по дуге окружности с радиусом, при-

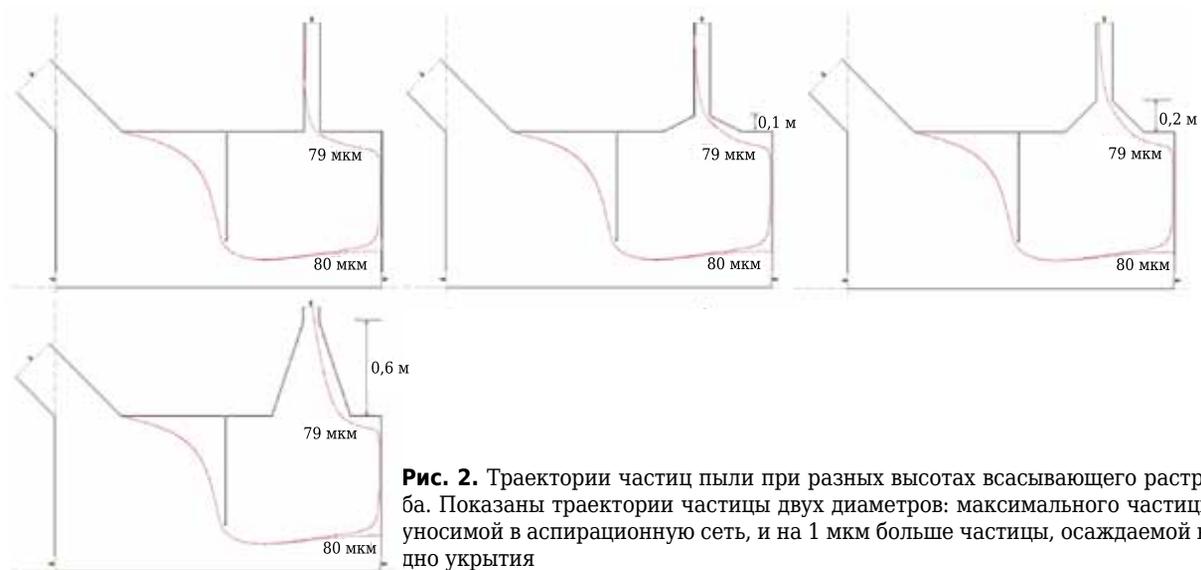


Рис. 2. Траектории частиц пыли при разных высотах всасывающего раструба. Показаны траектории частицы двух диаметров: максимальной частицы, уносимой в аспирационную сеть, и на 1 мкм больше частицы, осаждаемой на дно укрытия

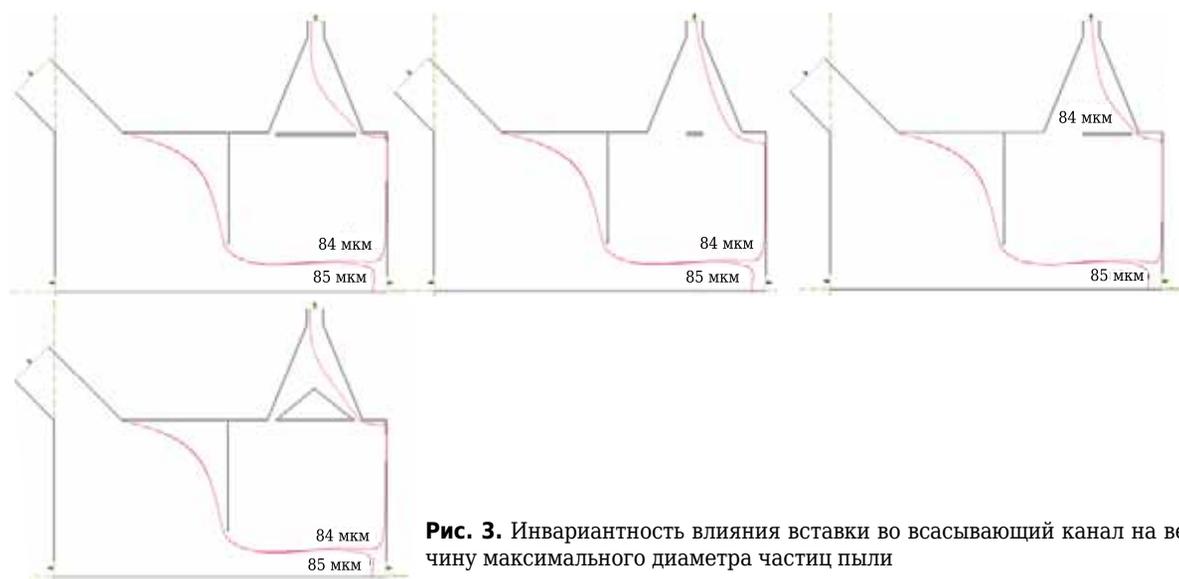


Рис. 3. Инвариантность влияния вставки во всасывающий канал на величину максимального диаметра частиц пыли

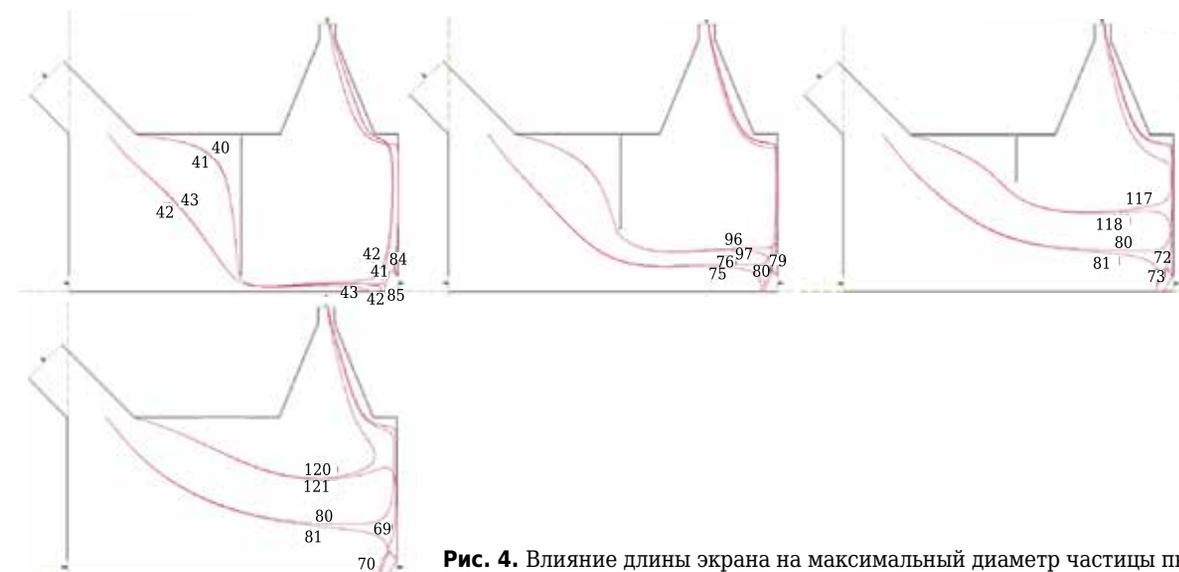


Рис. 4. Влияние длины экрана на максимальный диаметр частицы пыли

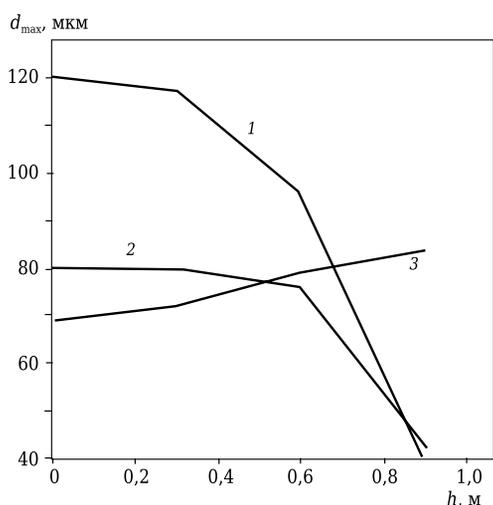


Рис. 5. Изменение максимального диаметра d_{max} пылевой частицы в зависимости от высоты механического экрана h : 1 — точка вылета (0.424,1); 2 — точка вылета (0.25,1); 3 — точка вылета (2.095.0.1)

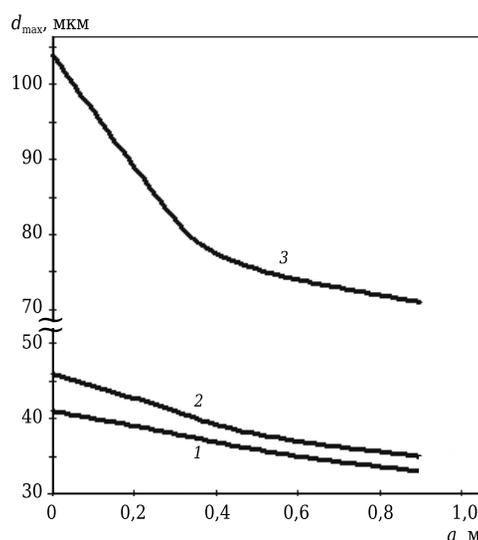


Рис. 7. Изменение d_{max} в зависимости от удаления a от всасывающего отверстия



Рис. 6. Влияние смещения вертикального козырька

мерно равным расстоянию между краями приточного и всасывающего каналов, максимальный диаметр пылевых частиц, поступающих в укрытие из приточного канала, снижается до менее 30 мкм. Это связано с тем, что форми-

руется поле скоростей, способствующее тому, чтобы в конце козырька полет пылевой частицы осуществлялся в противоположную сторону от всасывающего канала. Однако остается высоким максимальный диаметр частицы, по-

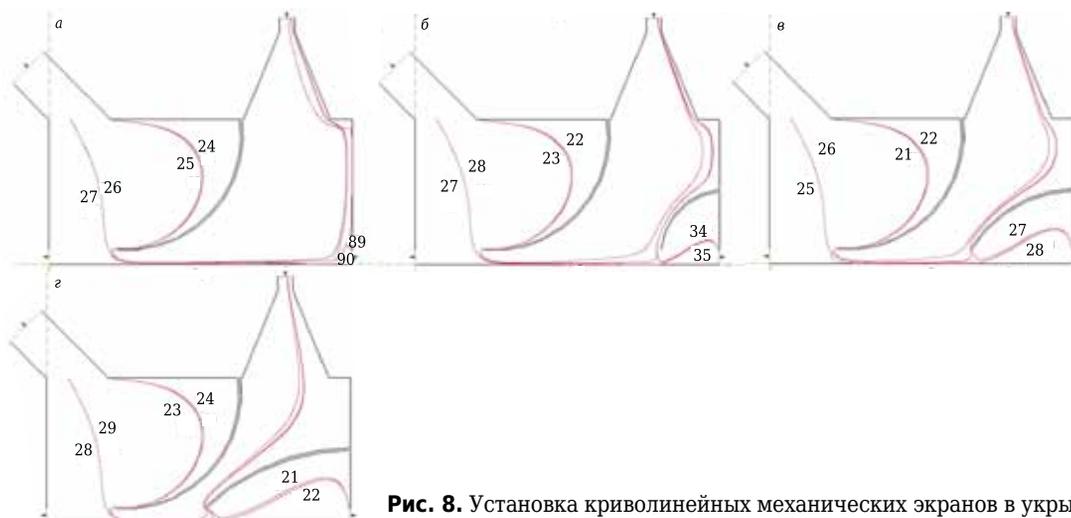


Рис. 8. Установка криволинейных механических экранов в укрытии

ступающей из неплотности. Его также можно снизить за счет использования криволинейного козырька. Наиболее оптимальная конфигурация показана на рис. 8, в. В этом случае максимальный диаметр равен 27 мкм, что ниже диаметра аспирационного укрытия без механических экранов более чем в 4,4 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При помощи численного решения интегрального аналога уравнения Лапласа для потенциала скоростей и интегрирования дифференциального уравнения динамики пылевых частиц определен максимальный диаметр пылевых частиц, улавливаемых аспирационным патрубком укрытия при различных конструктивных схемах расположения механических экранов в аспирационном укрытии. Максимальный диаметр пылевых частиц не зависит от формы всасывающего патрубка, примыкающего к аспирационному укрытию. Не изменяют эту величину различного рода вставки во всасывающий канал. При определении максимального диаметра следует учитывать точку вылета пылевой частицы, расположенную не только в приточном (загружаемом сыпучим материалом) канале, но и в неплотности, ближайшей к аспирационному каналу. Уточнены зависимости максимального диаметра пылевых частиц от длины и расположения вертикальных ме-

ханических экранов, закрепленных к потолку укрытия. При смещении вертикального экрана от вытяжного канала к приточному максимальный диаметр пылевой частицы снижается. При увеличении длины вертикального экрана до величины не менее 0,7 высоты укрытия частица максимального диаметра образуется в ближайшей к всасывающему каналу щелевой неплотности. Использование криволинейных механических экранов позволяет снизить максимальный диаметр частиц более чем в 4,4 раза по сравнению с таковым в аспирационном укрытии без экранов. Рекомендуется использовать два механических экрана: первый — вогнутый, начинающийся в крайней точке всасывающего патрубка, ближайшей к приточному каналу, перпендикулярно верхней стенке укрытия и заканчивающийся параллельно конвейерной ленте вблизи движущегося на ней сыпучего материала; второй — выпуклый, начинающийся вблизи середины боковой стенки укрытия с неплотностью, ближайшей к аспирационному патрубку, параллельно ленте и заканчивающейся перпендикулярно к ней вблизи сыпучего материала в зоне вертикальной проекции крайней точки патрубка, ближайшей к приточному каналу.

* * *

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект 18-79-10025).

Библиографический список

- Huang, Y.** Reduced-scale experimental investigation on ventilation performance of a local exhaust hood in an industrial plant / *Y. Huang, Y. Wang, L. Liu [et al.] // Build. Environ.* — 2015. — Vol. 85. — P. 94–103.
- Huang, Y.** Performance of constant exhaust ventilation for removal of transient high-temperature contaminated airflows and ventilation-performance comparison between two local exhaust hoods / *Y. Huang, Y. Wang, L. Liu [et al.] // Energ. and Buildings.* — 2017. — Vol. 154. — P. 207–216.
- Jeong, S. H.** A study on the improvement of ventilation rate using air-flow inducing local exhaust ventilation system / *S. H. Jeong, H. M. Kwon, S. J. Ahn, J. H. Yang // J. Asian Architect. Build.* — 2016. — Vol. 15, № 1. — P. 119–126. DOI: <http://doi.org/10.3130/jaabe.15.119>.
- Flynn, M. R.** Local exhaust ventilation for the control of welding fumes in the construction industry — a literature review / *M. R. Flynn // Ann. Occup. Hyg.* — 2012. — Vol. 56, № 7. — P. 764–776. DOI: [10.1093/annhyg/mes018](https://doi.org/10.1093/annhyg/mes018).
- Vekteris, V.** Investigation of the efficiency of the lateral exhaust hood enhanced by aeroacoustic air flow / *V. Vekteris, I. Tetsman, V. Mokshin // Process Saf. Environ. Prot.* — 2017. — Vol. 109. — P. 224–232.
- Logachev, I. N.** Local exhaust ventilation: aerodynamic processes and calculations of dust emissions / *I. N. Logachev, K. I. Logachev, O. A. Averkova.* — Boca Raton : CRC Press, 2015. — 576 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b18488-2>.
- Logachev, I. N.** Industrial air quality and ventilation: controlling dust emissions / *I. N. Logachev, K. I. Logachev.* — Boca Raton : CRC Press, 2017. — 414 p. DOI: [10.1201/b16549](https://doi.org/10.1201/b16549).
- Reif, R. H.** Poor design of local exhaust hood leads to radioactive release in the work area / *R. H. Reif, R. S. Houck // Health Phys.* — 2000. — Vol. 78, № 2. — P. 222–225. DOI: [10.1097/00004032-200002000-00011](https://doi.org/10.1097/00004032-200002000-00011).
- Cascetta, F.** Assessment of velocity fields in the vicinity of rectangular exhaust hood openings / *F. Cascetta, F. M. Rosano // Building and Environment.* — 2001. — Vol. 36. — P. 1137–1141. DOI: [10.1016/S0360-1323\(00\)00087-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00087-1).
- Huang, R. F.** Effects of flange size on dividing streamlines of exterior hoods in cross drafts / *R. F. Huang, G. S. Liu, Y. K. Chen [et al.] // J. Occup. Environ. Hyg.* — 2004. — № 1. — P. 283–288. DOI: [10.1080/15459620490439045](https://doi.org/10.1080/15459620490439045).
- Oh, Y. K.** A study on improvement capture velocity for increasing inhalation efficiency of hood in local ventilation system / *Y. K. Oh, Y. S. Kim, H. S. Yoon // Adv. Mater. Res.* — 2008. — № 47–50. — P. 1039–1042. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.47-50.1039](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.47-50.1039).
- Flynn, M. R.** On the inertial range of particles under the influence of local exhaust hoods / *M. R. Flynn // Ann. Occup. Hyg.* — 2003. — Vol. 47, № 2. — P. 151–156. DOI: [10.1093/annhyg/meg014](https://doi.org/10.1093/annhyg/meg014).
- 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, A. K. Logachev [et al.] // *Refract. Ind. Ceram.* — 2016. — Vol. 56, № 6. — P. 679–683.

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, А. К. Логачёв [и др.] // *Новые огнеупоры.* — 2015. — № 12. — С. 56–60.

14. **Madsen, U.** A numerical study of dispersion and local exhaust capture of aerosols generated from a variety of sources and airflow conditions / U. Madsen, J. R. Fontaine, P. V. Nielsenc [et al.] // *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* — 1996. — Vol. 57 — P. 134–141. DOI: <https://doi.org/10.1080/15428119691015061>.

15. **Averkova, O. A.** Ventilation of aerosol in thin-walled suction funnel with incoming flow. Part 1. Development of mathematical model and computational algorithm / O. A. Averkova, K. I. Logachev, M. S. Gritskovich, A. K. Logachev // *Refract. Ind. Ceram.* — 2017. — Vol. 58, № 2. — P. 242–246. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11148-017-0088-x>.

Аверкова, О. А. Аспирация аэрозоля в тонкостенный отсос-раструб при набегающем потоке. Часть 1. Разработка математической модели и вычислительного алгоритма расчета / О. А. Аверкова, К. И. Логачёв, М. С. Грицкевич, А. К. Логачёв // *Новые огнеупоры.* — 2017. — № 4. — С. 60–64.

16. **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. doi:10.1080/15459624.2018.1492137.

17. **Cao, W.** The inverse optimization of exhaust hood by using intelligent algorithms and CFD simulation / W. Cao, X. You // *Powder Technol.* — 2017. — Vol. 315 — P. 282–289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.04.019>.

18. **Kireev, V. M.** Designing energy-efficient aspiration hoods used for protection during reloading of moldings compounds at casting shops of machine-building enterprises / V. M. Kireev, A. B. Goltsov, V. A. Minko, I. A. Buryanov // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* — 2018. — Vol. 327. — 042050. doi:10.1088/1757-899X/327/4/042050.

19. **Киреев, В. М.** Разработка аспирационных укрытий и инженерной методики их расчета / В. М. Киреев, В. А. Минко // *Безопасность труда в промышленности.* — 2013. — № 2. — С. 42–46.

20. **Ходаков, И. В.** Численное и экспериментальное исследование отрыва потока на входе во всасывающие каналы с механическими экранами / И. В. Ходаков // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова.* — 2016. — № 3. — С. 6–12. ■

Получено 07.11.19

© О. А. Аверкова, А. Б. Гольцов, К. И. Логачев, А. В. Минко, 2020 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



26th International Conference on
**Advanced Materials,
Nanotechnology and Engineering**

June 22-23, 2020 | Brisbane, Australia

Advanced Materials 2020



Nanomaterials 2020

33rd International Conference on
Nanomaterials and Nanotechnology

June 15-16, 2020 | London, UK

<https://nanomaterials.insightconferences.com/>