



УДК 697.98:666

К ОПИСАНИЮ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ ВО ВЗВЕШЕННО-ФИЛЬТРУЮЩЕМ СЛОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОСКОКА ЧАСТИЦ ПЫЛИ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ СТРОЙИНДУСТРИИ

С.А. Кошкарёв, В.В. Рыльцев

Волгоградский архитектурно-строительный университет (ВолГАСУ)
400074 Волгоград, ул. Академическая, д. 1
Тел.: 8-(8442)-96-99- 07, e-mail: cool.koshka12@mail.ru, kaf_bgdvt@mail.ru

Заключение совета рецензентов: 24.11.14 Заключение совета экспертов: 29.11.14 Принято к публикации: 04.12.14

Статья посвящена вопросу применения эффективных эколого-охранных технологических процессов в стройиндустрии и строительстве. При использовании предлагаемых пылеуловителей снижаются выбросы в атмосферу при достаточно высокой степени улавливания пыли. Применение таких устройств в системах очистки выбросов сокращает массу промышленных отходов производства, когда уловленную пыль со слоем зерен (гранул) материала можно возвращать в производственный цикл. Приведено описание процесса непрерывного пылеулавливания во взвешенно-фильтрующем слое частиц – гранул, зерен на основе квазидиффузионных представлений. Разработана и исследована опытная конструкция газораспределительной решетки для проведения пылеулавливающего устройства со взвешенно-фильтрующим слоем частиц – гранул, зерен в производстве керамзита. Выполнены испытания опытно-промышленной установки и обоснована возможность ее промышленного применения в системах обеспыливания выбросов систем аспирации стройиндустрии. При математической обработке экспериментальных данных получены уравнения регрессий, характеризующих изменение степени проскока пыли ζ и значения коэффициента аэродинамического сопротивления аппарата ξ в зависимости от основных параметров устройства в рабочих аэродинамических режимах его работы при очистке пылегазового потока в системах обеспыливания выбросов систем аспирации производств строительных материалов.

Ключевые слова: модель, квазидиффузия, пылеуловитель, взвешенно-фильтрующий слой, пыль, проскок, выбросы, атмосфера, газораспределительная решетка.

TO THE DUST SEPARATION' DESCRIPTION IN FILTERING-FLUIDIZED BED AND EXPERIMENTAL EVALUATION LEAKAGE DUST PARTICLES OUT THROUGH DECREASING DUST EMISSIONS SCHEMES IN THE BUILDING INDUSTRY

S.A. Koshkarev, V.V. Ryltsev

Volgograd State University of Architecture and Building Construction
1 Akademicheskaya str., Volgograd, 400074, Russia
Tel.: 8-(8442)-96-99- 07, e-mail: cool.koshka12@mail.ru, kaf_bgdvt@mail.ru

Referred: 24.11.14 Expertise: 29.11.14 Accepted: 04.12.14

There is approach of usage high efficiency ecological technology to prevent and to reduce volumes' dust ingredient's substances in emissions of pollutions exhausted in the atmosphere in this article. There contained applying dust separation apparatus in filtering-fluidized bed in building construction and building industry in this article. It is possible to reduce air emissions of dust pollutions at sufficiently high degree using proposed dust precipitators. The usage of such devices in the cleaning emission treatment's systems reduces the volume mass of industrial waste production too. These trapped dust cleaning devices with filtering bed of particulate materials (grains, pellets) can be returned to the production cycle. There was fulfilled attempt to

make modeling the process of continuous dust capturing in particulate filtering-fluidized granules bed' devices based on quasi-diffusion description in this article. There was presented developed and studied experimental design gas -spread grid for the process of continuous dust cleaning of aspiration flows in particulate filtering-fluidized devices – granules, grains in building industry in this paper. It were obtained and performed the regression equation describing the change in the degree of leakage of dust ζ and the coefficient of aerodynamic drag device ξ depending on some of the basic parameters of the device in different operation modes for cleaning dust device and gas flow based on the mathematical processing of experimental data in this article.

Keywords: modeling, quasi diffusion, dust separator, filtering fluidized bed, dust, emissions of pollutions, an atmosphere, gas-spread grid.



*Сергей Аркадьевич
Кошкарев
Sergey A. Koshkarev*

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент кафедр «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» («БЖДТ»), «Альтернативная энергетика и промышленная экология» ВолГАСУ, инженер-строитель, стаж работы 32 года.

Область научных интересов: проектирование, разработка экологической проектной документации (ПДВ, ПНООЛР и т.п.), научно-исследовательская деятельность.

Публикации: 34.

Author data: Candidate of technical science, assistant of professor, departments (cathedra) "BZDT", "Alternative Energetic and Industrial Ecology", Associate Professor of "Safety in Technosphere" and "Alternative Energetic and Industrial Ecology" Volgograd State University of Architecture and Building Construction, a civil engineer, experience worked for 30 years.

Scientific-research fields: designing, developing environmental design documentation (MPE, WGL, etc.), scientific research.

Publications: 34.



*Владислав Валерьевич
Рыльцев
Vladislav V. Ryltsev*

Сведения об авторе: аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» («БЖДТ»), бакалавр техники и технологии по направлению «Защита окружающей среды», магистр техники и технологии по направлению «Защита окружающей среды» ВолГАСУ, стаж работы 7 лет, технический сотрудник кафедры «Водоснабжение и водоотведение».

Область научных интересов: научно-исследовательская деятельность.

Публикации: 2.

Author data: postgraduate student, "BZDT", bachelor of engineering and technology in the field of "Environmental protection", master of technology «Environmental protection» Volgograd State University of Architecture and Building Construction, work for 7 years, a technical fellow of the staff department "Water and wastewater".

Scientific-research fields: scientific research.

Publications: 2.

Одним из перспективных методов обеспечения экологической безопасности в стройиндустрии и строительстве может стать применение в системах обеспыливания аспирации и пневмотранспорта пылеуловителей со взвешенно-фильтрующим слоем. Снижение выноса частиц пыли в атмосферу из аппаратов взвешенно-фильтрующего слоя обеспечивается не только специальными конструктивными решениями, но и относительно незначительными величинами среднерасходовой скорости газа или значениями числа псевдооживления w не более 1-1,5 [1-3]. При этом также должен обеспечиваться необходимый гидродинамический режим надежной работы устройства. Применение данных устройств в системах очистки выбросов обеспыливающих вытяжных, аспирационных систем на комбинатах строительных материалов (ЖБИ), цементных и керамзитобетонных заводах, установках по производству растворобетонных смесей, вяжущих гипсосодержащих строительных смесей и в других в отраслях промышленности снижает нега-

тивную техногенную нагрузку как на атмосферу, так и на окружающую среду в целом. Это достигается достаточно высокой степенью улавливания пыли в таких устройствах (не менее чем у циклонов). Применение таких устройств в системах очистки выбросов позволяет также сократить массу промышленных отходов производства. Это становится тем более целесообразным осуществлять, когда уловленную пыль возможно возвращать со слоем зерен (гранул) материала в производственный цикл.

С целью снижения степени уноса частиц пыли из взвешенно-фильтрующего слоя пылеуловителей в атмосферу среднерасходовая скорость очищаемого пылегазового потока в зоне сепарации принимается такой, чтобы числа псевдооживления для различных материалов имели значения $w \leq 1$ [1-3].

Анализ литературных данных показывает также, что ведутся исследования по описанию разнообразных процессов в псевдооживленном, взвешенно-фильтрующем слое. При этом основным методом

исследования остается сочетание компьютерного моделирования с экспериментальным определением характеристик устройств. Например, в статье [4] предложен новый способ управления псевдооживленным слоем для получения низкозольного угля. Предложенный способ эффективной сепарации частиц золя из угля позволил уменьшить флуктуации плотности, обеспечить однородность и стабильность плотности псевдооживленного слоя. Была достигнута требуемая плотность сепарации в псевдооживленном слое, формируемом воздушным потоком, для получения очищенного угля с зольностью не более 3,71%. Результаты исследования показали, что предложенные способ и устройство системы сепарации в ожижаемом воздухом слое угля (псевдооживленном, «кипящем» слое) являются эффективными. Показана возможность применения результатов исследования в промышленном масштабе для сухого способа отделения золя от угля.

В работе [5] приведены результаты исследований процесса удаления пыли из гранулированного поликристаллического кремния. В продольный поток диспергированного гранулированного поликристаллического кремния подводился поток газа в направлении, противоположном направлению движения очищаемого гранулированного поликристаллического кремния от пыли.

Патент [6] (изобретение) относится к устройству и способу для разделения частиц материалов, отличающихся по плотности, а также для сепарации из материала, содержащего пыль, загрязняющих веществ или других нежелательных примесей. Полученный материал с большей плотностью (концентрацией), очищенный от примесей, может направляться для дальнейшей переработки или утилизации. В изобретении описывается сборная конструкция, сочетающая скруббер и устройство с псевдооживленным слоем, которая используется для сепарации нежелательных частиц примесей при обработке органических материалов, например угля. Устройство по патенту [7] (изобретение) представляет собой тканевый фильтр с псевдооживленным слоем пыли и способ его технического обслуживания. Устройство предназначено для очистки пылевоздушных потоков в конструкции, сочетающей тканевый фильтр с псевдооживленным слоем дисперсных частиц материалов.

Прикладному исследованию и созданию эффективного технологического процесса сепарации дисперсного углерода из аэрозольного потока в слое углеродных гранул посвящена работа [8]. Получены результаты исследования осаждения аэрозоля техуглерода из аэрозольного потока в фильтре со слоем гранул техуглерода. Установлены оптимальные характеристики фильтрующего слоя и технологические параметры процесса осаждения аэрозоля технического углерода в фильтрующем слое углеродных гранул и процесса регенерации слоя с достижением высокой эффективности пылеулавливания.

Применение таких аппаратов для пылеулавливания и сепарации, других технологических процессов, например, сушки, новых групп дисперсных материалов (ДМ) во взвешенно-фильтрующих слоях дисперсных материалов (ВФС ДМ) делают актуальными проводимые исследования по изучению процессов движения и перемешивания взаимодействующих фаз в таких аппаратах. При этом разработанные новые конструкции пылеуловителей внедряются в промышленности и стройиндустрии в системах обеспыливания выбросов систем вытяжной вентиляции и аспирации [9].

Недостаточно разработанные для таких аппаратов модельные представления и инженерные методы расчета непрерывных технологических процессов требуют их дальнейшего развития [2, 3, 10, 11].

Проведенный обзор только некоторой части научно-технической литературы показал, что дальнейшее изучение и интенсификация процесса пылеулавливания, совершенствование и разработка новых конструкций пылеуловителей, в том числе фильтров, скрубберов с псевдооживленным слоем, устройств улавливания различных видов пылей в ВФС гранулированных материалов, остаются актуальными.

Постановка задачи исследования

Одними из основных источников выделения пыли при производстве керамзита являются печи обжига керамзита, сушильные камеры и посты перегрузки сыпучих материалов (сырья, керамзита). В процессе обжига керамзита образуется значительное количество керамзитовой пыли. Проведенные исследования на предприятиях по производству керамзита показывают, что наиболее существенный вклад в загрязнение воздушного бассейна городских и промышленных территорий приносят выбросы в атмосферу систем обеспыливающей вытяжной вентиляции и аспирации. Повышение экологической безопасности стройиндустрии и производства керамзита при снижении выбросов в атмосферу пылеулавливающим оборудованием обеспыливающих систем аспирации является актуальной проблемой.

Аппараты с тангенциально-щелевыми газораспределительными решетками и модификации им подобных лоткового типа [1–3, 9], которые находят все более широкое распространение, имеют целый ряд преимуществ. Существенным преимуществом является значительно меньшее перемешивание материала в слое в продольном направлении, чем в аппаратах с цилиндрическим поперечным сечением корпуса (критерий Рейнольдса Re и коэффициент продольного квазидиффузионного перемешивания дисперсного материала D принимают меньшие значения, число (диффузионный критерий Пекле) $Pe_D \rightarrow \infty$).

С целью решения сложной задачи эффективного улавливания (доулавливания) частиц мелких фракций пыли, уносимых воздушным потоком из обеспы-



пыливающих устройств систем аспирации промышленных предприятий и стройиндустрии, было разработано устройство для улавливания пыли в ВФС. Данное устройство было предложено использовать в системах обеспыливания систем аспирации стройиндустрии, производства керамзита – выбросов от печей обжига с обеспечением незначительной величины проскока частиц пыли [10, 11].

Описание исследования и результаты

Для проведения процесса пылеулавливания в ВФС была разработана конструкция устройства для улавливания пыли в ВФС с газораспределительной решеткой, поперечное сечение конструкции которой изображено на рис. 1. Основу устройства составляла модификация газораспределительной решетки [9].

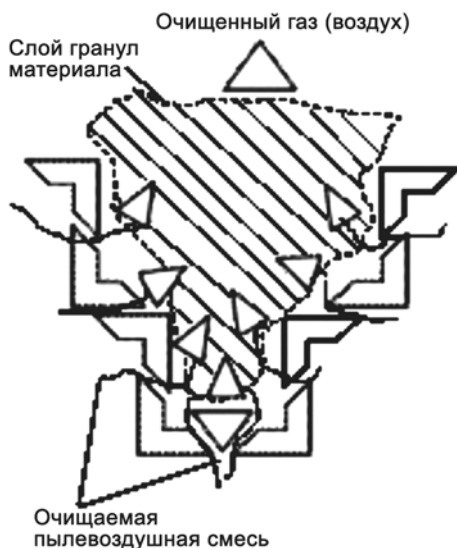


Рис. 1. Схема движения гранулированного дисперсного материала и очищаемого газа в поперечном сечении аппарата слоем частиц из запыленного потока

Fig. 1. Scheme of the granulated particulate material and gas to be cleaned in the cross section of the apparatus with moving and fluidized particle's bed from the dust-laden flow

Для конструктивного упрощения, снижения капитальных и эксплуатационных затрат предлагается использовать данное устройство в системе очистки выбросов от печи обжига керамзита. Следует отметить, что проведен комплекс исследований предложенного пылеуловителя, который показал его высокую эффективность улавливания ингредиентов из очищаемого пылевоздушного потока при приемлемом аэродинамическом сопротивлении и надежной работе [10, 11].

Рассмотрим возможные макрокинетические модельные представления с продольным квазидиффузионным перемешиванием дисперсного материала, которые можно применить к пылеулавливанию в аппарате псевдоожиженного ВФС лотковой формы при

перекрестном движении материала в слое и запыленного газа [3, 10, 11].

При этом для описания и расчета процесса пылеулавливания в ВФС могут быть использованы модельные представления с продольным квазидиффузионным перемешиванием материалов [1-3, 10, 11].

Для описания процесса непрерывного пылеулавливания дисперсных частиц в аппарате лоткового типа с фильтрующим взвешенным слоем было предложено использовать однопараметрическую квазидиффузионную модель

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial m}{\partial x} \right) - \frac{\partial (wm)}{\partial x} = \frac{\partial m}{\partial \tau}, \quad (1)$$

где m – относительная масса фильтрующего слоя псевдоожиженного дисперсного материала, $m = m_x/m_0$, где m_x – изменяющаяся (как правило, возрастающая при пылеулавливании) масса слоя частиц; m_0 – масса исходного материала, подаваемого в слой аппарата; D – коэффициент квазидиффузионного перемешивания дисперсного материала в продольном направлении x , определяемый экспериментально, м²/с.

При длине пылеуловителя L граничные условия первого и второго рода, отражающие физическую сущность процесса применительно к реальному аппарату, были сформулированы Данквертсом и наиболее часто используются для описания химико-технологических процессов в аппаратах (реакторах). Они имеют вид

$$wm_0 = wm|_{x=0} - D \frac{dm}{dx} \Big|_{x=0}, \quad \frac{dm}{dx} \Big|_{x=L} = 0. \quad (2)$$

В процессе улавливания частиц в псевдоожиженном фильтрующем слое происходит определенное уменьшение объема частиц, что изменяет линейную скорость движения материала вдоль аппарата. Такими же изменениями скорости движения материала могут сопровождаться и другие эффекты, например, агломерация, истирание и частичный унос материала. В то же самое время масса фильтрующего слоя увеличивается за счет улавливания частиц, сепарированных из газового потока. Для интегрального учета процесса при линейной аппроксимации изменения скорости движения материала использовалось соотношение

$$w = \Lambda D \left(V_0 + \int_0^x (Vn(x) - Vy(x)) dx \right), \quad (3)$$

где $Vn(x)$ – функциональная зависимость изменения объемного расхода материала в ВФС по длине аппарата за счет поступления улавливаемых частиц пыли.

Применение однопараметрических квазидиффузионных моделей с граничными условиями Данквертса позволяет получить решения в виде конечных функций. При этом предполагается, что в каждом



поперечном сечении слоя устанавливается режим идеального перемешивания. Учет градиента функции в каждом шаге поперечного сечения слоя по его длине осуществляется диффузионной составляющей (3). Для большинства материалов квазикинетику изменения относительной массы монодифференциального (квазидифференциального) слоя частиц при пылеулавливании возможно аппроксимировать с практической точки зрения периодом постоянной скорости пылеулавливания, продольной в направлении x – $(dm/d\tau) = -N$, линейно убывающей по длине аппарата скорости пылеулавливания $dm/d\tau = -km$ (т.е. изменения относительной массы слоя частиц, продольной в направлении x). Возможно также последовательное использование в модели вышеупомянутых аппроксимаций постоянной – $(dm/d\tau) = -N$ и линейно убывающей по длине аппарата скорости пылеулавливания $(dm/d\tau) = -km$.

Так, например, для квазидифференциального слоя частиц дисперсного материала, кинетика изменения относительной массы которого при пылеулавливании в фильтрующем слое может, например, приближенно аппроксимироваться периодом линейно убывающей скорости улавливания частиц (уменьшающейся по длине аппарата вследствие «насыщения» слоя частицами улавливаемого материала), при выполнении некоторых промежуточных преобразований упрощенное решение (1) с условиями (2) имеет вид

$$m = -(1-m_0) \frac{e^{\lambda_1 x}}{1 - \frac{D\lambda}{w} e^{L(\lambda_1 - \lambda_2)} \left[e^{L(\lambda_2 - \lambda_1)} + \frac{w}{D\lambda_2} - 1 \right]} - (1-m_0) \frac{e^{\lambda_2 x}}{\lambda_2 \left\{ \frac{e^{L(\lambda_2 - \lambda_1)}}{\lambda_1} - \frac{D}{w} \left[e^{L(\lambda_2 - \lambda_1)x} + \frac{w}{D\lambda_2} - 1 \right] \right\}}. \quad (4)$$

При пылеулавливании в аппарате лоткового типа должно учитываться непрерывно-распределенное изменение объема слоя ДМ за счет уловленных слоем частиц $V_n(x)$ и удаляемых вследствие уноса частиц ДМ из взвешенно-фильтрующего слоя $V_y(x)$, движущегося вдоль координаты x (перпендикулярно поперечному сечению рис. 1). При этом скорость движения материала должна будет увеличиваться непрерывно за счет поступления в слой пыли, что и учтено в (3). Дифференциальное уравнение, описывающее процесс пылеулавливания в аппарате лоткового типа, примет вид

$$\frac{\partial^2 m}{\partial x^2} - \frac{1 - \varepsilon_p}{(1 - \varepsilon_n) BHD} \left[V_0 + \int_0^x (V_n(x) - V_y(x)) dx \right] \frac{\partial m}{\partial x} - V_n(x) [m_0 - m] = \frac{1}{D} \frac{\partial m}{\partial \tau}, \quad (5)$$

где B , H – ширина и высота фильтрующего псевдооживленного слоя с невысокими числами псевдоожив-

жения соответственно, m ; ε_n – начальная насыпная порозность фильтрующего слоя материала, $\varepsilon_n = 0,4$; ε_p – рабочее значение порозности фильтрующего псевдооживленного слоя, определяется экспериментально и находится в интервале $\varepsilon_p = 0,42-0,45$.

Частным случаем здесь является равномерное как поступление частиц в слой за счет улавливания $V_n(x) = \text{const} = V_n$, так и унос частиц из слоя $V_y(x) = \text{const} = V_y$, связанных между собой коэффициентом очистки η

$$V_y = (1 - \eta) V_n = \zeta V_n, \quad (6)$$

где ζ – коэффициент проскока.

При аппроксимации скорости пылеулавливания линейно убывающей функцией $(dm/d\tau) = -km$ решение уравнения (5) с условиями (2) и выражением (3) имеет вид:

$$m(x) = \exp\left(\frac{t}{2}\right)^2 \left[C_1 U(A, t) + C_2 V(A, t) \right] + \frac{1 - \bar{m}_0}{1 + k/(\Lambda D V_0)}, \quad (7)$$

где $U(A, t)$, $V(A, t)$ – функции Уиттекера;

$$\Lambda = \frac{1 - \varepsilon_p}{(1 - \varepsilon_n) BHD}; \quad A = \frac{V_n + k/\Lambda D}{V_n - V_y} - \frac{1}{2}; \quad t = \Lambda \sqrt{\Lambda(V_n - V_y)} \left[V_n + (V_n - V_y)x \right]. \quad (8)$$

Если ввести обозначения

$$z_1 = \Lambda V_n \sqrt{\Lambda(V_n - V_y)}, \quad z_2 = \Lambda \left[V_n + (V_n - V_y)x \right] \sqrt{\Lambda(V_n - V_y)}, \quad (9)$$

то константы C_1 и C_2 имеют вид

$$C_1 = (B - m_0) \exp\left(\frac{z_1}{2}\right)^2 U(A, z_1) - \frac{\left(A + \frac{1}{2}\right) V(A+1, z_2)}{U(A+1, z_2)} - \frac{D}{w_0} \left[\left(A + \frac{1}{2}\right) V(A+1, z_1) - \frac{\left(A + \frac{1}{2}\right) V(A+1, z_2) U(A+1, z_1)}{U(A+1, z_2)} \right]^{-1}; \quad C_2 = - \frac{(A+1/2) V(A+1, z_2)}{U(A+1, z_2)} C_1. \quad (10)$$

При начальном объемном расходе гранул материала слоя V_0

$$B = - \frac{1 - m_0}{1 + k/(\Lambda V_n D)}; \quad w_0 = \frac{V_0 (1 - \varepsilon_n)}{(1 - \varepsilon_p) BH}, \quad (11)$$

где w_0 – начальная линейная скорость материала слоя (на входе в аппарат), м/с.

В случае постоянства кинетического параметра скорости пылеулавливания $N = \text{const}$ решение (5) имеет вид, аналогичный (6), с некоторыми отличиями в структуре параметров A и t .

Формула (6) описывает распределение относительной концентрации материала по длине аппарата L . Средняя относительная (безразмерная) массовая концентрация материала $\bar{m}$, выгружаемого из аппарата, определяется по формуле

$$\bar{m} = \frac{1}{Vk + \int_0^L (V_n - V_y) dx} \left[m_k \Big|_{x=L} Vk + \int_0^L (V_n - V_y) m(x) dx \right]. \quad (12)$$

При этом значения коэффициента квазидиффузионного перемешивания гранулированного материала слоя в продольном направлении $x - D$ определяются экспериментально по кривым «вымывания» меченых частиц материала из пылеуловителя.

С целью упрощения и более широкого последующего использования в инженерных расчетах были проведены экспериментальные исследования по оценке характеристик предложенного аппарата для улавливания пыли в ВФС.

Экспериментальные исследования проводились в промышленных условиях на стенде, схема которого показана на рис. 2. Основу установки составил аппарат предлагаемой исследуемой конструкции, изготовленный из металла со смотровыми лючками (окошками) из термостойкого стекла, в полномасштабном (М 1:1) исполнении с сохранением геометрических размеров (ширины ячейки), соотношений и форм реального (промышленного) устройства.

Ширина ячейки газораспределительной решетки (призмы ячеечного элемента) имеет размер 200 мм.

Поддержание постоянного уровня ВФС в ячейке аппарата осуществлялось вертикальной перегородкой (пластиной), а также регуляторами-питателями подачи и выгрузки гранул зернистого материала. Уровень ВФС гранул зернистого материала в ячейке аппарата фиксировался также визуально через смотровые лючки. Расход пылевоздушной смеси регулировался с помощью шибера.

При проведении экспериментальных исследований замеры проводились по принятым методикам в соответствии со следующими документами:

– ГОСТ 12.3.018-79 (с изменениями 2001 г.). Системы вентилиционные. Методы аэродинамических испытаний;

– ГОСТ 17.2.4.06-90 (с изменениями 2003 г.). Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарного источника загрязнений;

– ГОСТ Р 50820-90. Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности пылевых потоков;

– ГОСТ Р 8.563-96 ГСИ. Методики выполнения измерений;

– ГОСТ Р ИСО 5725-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.

Для определения расходов воздуха и аэродинамических характеристик измерялось давление в воздухопроводах. С этой целью были использованы пневмометрические трубки Пито – Прандтля (ГОСТ 15528-68) и дифференциальные микроанометры ДМЦ-01/М (ТУ 4218-002-40001819-98).

Для определения величины проскока, а также для сравнения концентраций пыли в потоках, поступающих в верхний и нижний входы пылеуловителя второй ступени, в замерных сечениях проводились измерения запыленности. Для той цели использовался комплект стандартного пылезаборного оборудования НИИОГАЗ.

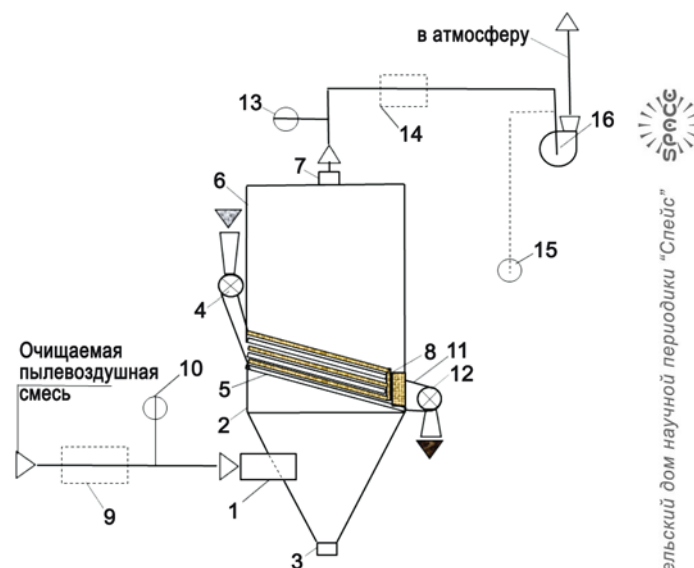


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

1 – патрубок входа очищаемого пылевоздушного потока; 2 – блок-распределитель очищаемого газа; 3 – патрубок выгрузки просыпи пыли; 4 – устройство (патрубок с питателем) подачи и поддержания уровня гранул зернистого материала в ячейке; 5 – газораспределительная решетка; 6 – блок сепарационной зоны; 7 – патрубок выхода очищенного потока газа; 8 – вертикальная перегородка поддержания постоянного уровня взвешенно-фильтрующего зернистого материала в устройстве; 9, 10 – измерительный комплекс для определения давления; 11 – патрубок выгрузки гранул фильтрующего слоя зернистого материала с уловленной пылью; 12 – питатель выгрузки гранул зернистого материала; 13, 14 – измерительный комплекс для определения концентрации; 15 – дистанционно-управляемый шибер; 16 – вентилятор

Fig. 2. Scheme of the experimental setup:

1 – inlet to be cleaned dust-air flow; 2 – a flow of purified gas distributor; 3 – nipple discharge spillage dust; 4 – device (pipe with a feeder) for feeding and maintaining the level of the granules of the granular material in the cell; 5 – gas distribution grid; 6 – block separation zone; 7 – nozzle exit of purified gas stream; 8 – the vertical partition maintain a constant level of weighted filtering particulate material in the device; 9, 10 – a measurement system for the determination of pressure; 11 – pipe discharging granules filter bed of particulate material entrained dust; 12 – feeder discharging granules of granular material; 13, 14 – measuring system for determining the concentration; 15 – remote-controlled gate; 16 – fan

При проведении замеров отбор проб осуществлялся во всех замерных сечениях одновременно, посредством чего была обеспечена идентичность отбора проб для каждого из сечений режима поступления пыли и работы системы [12, 13]. Для контроля величины проскока ζ массы пыли через устройство M_y использовался баланс масс: массы загружаемого слоя гранул M_1 , массы слоя с уловленной пылью на выгрузке из пылеуловителя M_2 , а также массы пыли (просыпи) в пылесборнике M_3 весовым методом (балансовый метод), $M_y = (M_2 - M_1) - M_3$.

Концентрация твердой фазы на входе в систему обеспечивалась задаваемым временем загрузки, фиксируемым по секундомеру, и расчетной массой исходной загрузки.

При проведении экспериментальных исследований по оценке характеристик предложенного аппарата для улавливания пыли в ВФС в качестве основных определяющих факторов были приняты:

$\bar{\vartheta}_n$ – скорость очищенного воздуха в прямоугольном поперечном сечении сепарационной зоны (на выходе из аппарата), отнесенная к 1 м/с; α – угол наклона газораспределительной решетки к горизонтальной плоскости.

Применительно к очистке выбросов от пыли при экспериментальной оценке характеристик аппарата в качестве определяющих факторов были приняты:

$$x_1 = (\bar{\vartheta}_n - \bar{\vartheta}_{n0}) / \Delta \bar{\vartheta}_n; \quad x_2 = (\tan \alpha - \tan \alpha_0) / \Delta \tan \alpha. \quad (13)$$

Определяющие факторы имели вид, рекомендованный литературой [14-16].

Результаты экспериментальных исследований по оценке степени проскока предложенного аппарата приведены в таблице.

Результаты экспериментальных исследований по оценке величины проскока пыли
The results of experimental studies to assess the magnitude of leakage of dust

Расход пылегазового потока, подаваемого на очистку, м ³ /ч	Определяющие факторы		Проскок ζ
	Скорость очищаемого пылегазового потока в прямоугольном поперечном сечении, $\bar{\vartheta}_n$	Тангенс угла наклона газораспределительной решетки к горизонтальной плоскости, $\tan \alpha$	
290	0,4	0,1763	0,067
		0,2867	0,043
		0,4904	0,017
590	0,8	0,1763	0,13
		0,2867	0,10
		0,4940	0,08
870	1,2	0,1763	0,183
		0,2867	0,160
		0,4940	0,131

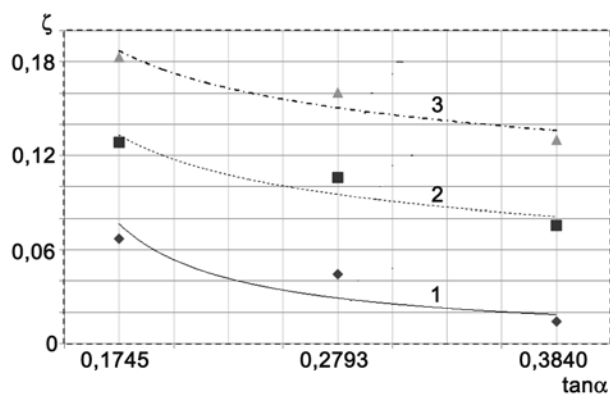


Рис. 3. Изменение величины проскока в зависимости от угла наклона газораспределительной решетки при:

1 – $\bar{\vartheta}_n = 0,4$; 2 – $\bar{\vartheta}_n = 0,8$; 3 – $\bar{\vartheta}_n = 1,2$

Fig. 3. The change in slip depending on the angle of the gas spread grid with: 1 – $\bar{\vartheta}_n = 0,4$; 2 – $\bar{\vartheta}_n = 0,8$; 3 – $\bar{\vartheta}_n = 1,2$

На рис. 3 приведены графические зависимости вида $\zeta = F(\bar{\vartheta}_n \tan^2 \alpha)$, характеризующие изменение степени проскока пыли в аппарате с ВФС гранул материала при различных режимных параметрах его работы. По результатам математической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии

$$\zeta = 0,4074 - 0,0215(\bar{\vartheta}_n - 17)^2 - 0,2321(\tan \alpha + 0,21)^2 + 0,018\bar{\vartheta}_n \tan^2 \alpha. \quad (14)$$

Экспериментально установлено, что наименьшее значение степени проскока пыли в зависимости от относительной скорости потока в прямоугольном поперечном сечении сепарационной зоны достигается при значении $\bar{\vartheta}_n = 0$. При увеличении значения

$\bar{\vartheta}_n > 1$ степень проскока пыли ζ значительно увеличивается. В то же время эффективность пылеочистки в аппарате возрастает с увеличением угла наклона газораспределительной решетки независимо от скорости пылегазового потока в сепарационной зоне.

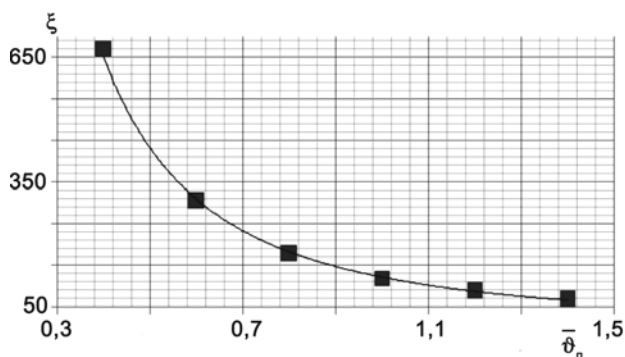


Рис. 4. Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления от скорости потока в поперечном прямоугольном сечении аппарата

Fig. 4. Dependence of aerodynamic drag coefficient on the flow velocity in a rectangular cross-section of the apparatus

Результаты экспериментальных исследований по оценке аэродинамического сопротивления аппарата в виде графической зависимости $\xi = \xi(\bar{v}_n)$ приведены на рис. 4. Уравнение регрессии в этом случае имеет вид

$$\xi = 945,271(\bar{v}_n - 1,18)^2 + 54,45. \quad (15)$$

Выводы

Анализ полученных данных показывает, что при увеличении скорости очищаемого потока в поперечном прямоугольном сечении аппарата до значений $\bar{v}_n > 1$ м/с приводит не только к снижению эффектив-

тивности пылеочистки, но и к значительному увеличению потерь давления, т.е. такие режимы работы неприемлемы.

С другой стороны, наибольшая степень очистки и наименьшие потери давления обеспечиваются при $\bar{v}_n = 0,4$ м/с. Однако при очистке больших объемов воздуха при такой скорости потребуются аппарат больших размеров, что приведет к возрастанию эксплуатационных затрат и сокращению свободной площади на предприятии.

Также следует отметить, что, хотя при угле наклона газораспределительной решетки $\alpha > 16^\circ$ эффективность очистки повышается, однако возрастает линейная скорость движения гранулированного материала в ячейке и, следовательно, массовый расход гранулированного материала в аппарате, используемого для образования ВФС, сепарирующего пыль из очищаемого пылегазового потока.

Таким образом, для практического применения аппарата пылеочистки с ВФС целесообразно рекомендовать: скорость потока в поперечном сечении аппарата в пределах 0,6-1,0 м/с; угол наклона газораспределительной решетки $\alpha \leq 16^\circ$. При таких режимных параметрах величина проскока составит $\zeta \approx 10-12\%$.

Применять такие аппараты для очистки выбросов печей обжига керамзита возможно с достижением высокой эффективности улавливания пыли при значительных начальных концентрациях содержания пыли в очищаемом пылегазовом потоке. Предлагаемые пылеуловители более целесообразно использовать в многоступенчатых системах очистки вентиляционно-технологических выбросов. Результатом внедрения таких устройств станет решение актуальной проблемы повышения экологической безопасности стройиндустрии и строительного производства при снижении выбросов пыли и части отходов вентиляционно-технологических систем от печей обжига, сушки (керамзита, гипса и т.п. материалов).

Список литературы

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. Л.: Химия, 1979.
2. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов. Л.: 1987.
3. Кошкарёв С.А. Непрерывная сушка дисперсных материалов в аппаратах лотковой и цилиндрической формы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. СПб., 1992.
4. Zhang B. et al. Utilizing an air-dense medium fluidized bed dry separating system for preparing a low-ash coal // Int. Journal of Coal Preparation and Utilization. 2014. Vol. 34, No. 6. P. 285-295.

References

1. Romankov P.G., Raškovská N.B. Suška vo vzvešenom sostoánii. L.: Himiã, 1979.
2. Frolov V.F. Modelirovanie suški dispersnyh materialov. L.: 1987.
3. Koškarev S.A. Neprerывnã suška dispersnyh materialov v apparatah lotkovoj i cilindričeskoj formy: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.17.08. SPb., 1992.
4. Zhang B. et al. Utilizing an air-dense medium fluidized bed dry separating system for preparing a low-ash coal // Int. Journal of Coal Preparation and Utilization. 2014. Vol. 34, No. 6. R. 285-295.

5. Yun S. et al. Systems and methods for reducing dust in granular material: USA patent No8833564. 2014.
6. Ness M.A., Coughlin M.P. Apparatus and method of separating and concentrating organic and/or non-organic material: USA patent No8651282. 2014.
7. Патент № 2008130069, Россия, МКИ В01Д 35/12. Тканевый фильтр с псевдооживленным слоем пыли и способ его технического обслуживания / Брингфорс Нильс, Охман Стефан. Заявка № 2008130069/15; Заявлено 12.12.2006 // Оpubл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
8. Дмитриев К.И. Разработка процесса осаждения дисперсного углерода из аэрозольного потока в слое углеродных гранул: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. Томск, 2012.
9. Патент №1816498 Россия, МКИ В 01J 8/44. Газораспределительная решетка для аппаратов с псевдооживленным слоем / Кошкарёв С.А., Фролов В.Ф., Кононенко В.Д. Заявка № 4923302/26 от 01.04.91 // Опубликовано 23.05.93, Бюл. № 19.
10. Кошкарёв С.А., Кисленко Т.А., Рыльцев В.В. О применении на предприятиях стройиндустрии аппаратов пылеулавливания с фильтрующе-взвешенным слоем // Биосферная совместимость. 2013. № 2. С. 18-19.
11. Кошкарёв С.А., Кисленко Т.А. Применение в строительстве и стройиндустрии аппаратов пылеулавливания с фильтрующе-взвешенным слоем // Сб. научных трудов «Проблемы охраны производственной и окружающей среды». Волгоград: Изд-во Волгогр. гос. арх.-строит. ун-та, 2013. С. 41-45.
12. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: Химия, 1978.
13. Кононенко В.В. Шухмин К.А. Контрольно-измерительные приборы и технические измерения в строительстве. Ростов/н/Дону: Ростов. гос. строит. ун-т, 2000.
14. Батрак А.П. Планирование и организация эксперимента. Красноярск: ИПЦ СФУ, 2007.
15. Ермаков С.М. Математическая теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 2007.
16. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента. М.: Мир, 1981.
5. Yun S. et al. Systems and methods for reducing dust in granular material: USA patent No8833564. 2014.
6. Ness M.A., Coughlin M.P. Apparatus and method of separating and concentrating organic and/or non-organic material: USA patent No8651282. 2014.
7. Patent № 2008130069, Rossiâ, MKI B01D 35/12. Tkanevyj fil'tr s psevdooživennym sloem pyli i sposob ego tehničeskogo obsluživaniâ / Bringfors Nil's, Ohman Stefan. Zaâvka № 2008130069/15; Zaâvleno 12.12.2006 // Opubl. 27.01.2010. Bûl. № 3.
8. Dmitriev K.I. Razrabotka processa osaždeniâ dispersnogo ugliroda iz aërozol'nogo potoka v sloe ugliroдных granul: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.17.08. Tomsk, 2012.
9. Patent №1816498 Rossiâ, MKI B 01J 8/44. Gazoraspredeľitel'naâ rešetka dlâ apparatov s psevdooživennym sloem / Koškarev S.A., Frolov V.F., Kononenko V.D. Zaâvka № 4923302/26 ot 01.04.91 // Opub-likovano 23.05.93, Bûl. № 19.
10. Koškarev S.A., Kislenco T.A., Ryl'cev V.V. O primeneniі na predpriâtiâh strojindustrii apparatov pylaulavlivaniâ s fil'truûše-vzvešennym sloem // Biosfernaâ sovmestimost'. 2013. № 2. S. 18-19.
11. Koškarev S.A., Kislenco T.A. Primenenie v stroitel'stve i strojindustrii apparatov pylaulavlivaniâ s fil'truûše-vzvešennym sloem // Sb. naučnyh trudov «Problemy ohrany proizvodstvennoj i okružaûšej sredy». Volgograd: Izd-vo Volgogr. gos. arh.-stroit. un-ta, 2013. S. 41-45.
12. Klimenko A.P. Metody i pribory dlâ izmereniâ koncentracii pyli. M.: Himiâ, 1978.
13. Kononenko V.V. Šuhmin K.A. Kontrol'no-izmeritel'nye pribory i tehničeskije izmereniâ v stroitel'stve. Rostov/n/Donu: Rostov. gos. stroit. un-t, 2000.
14. Batrak A.P. Planirovanie i organizaciâ êksperimenta. Krasnoârsk: IPC SFU, 2007.
15. Ermakov S.M. Matematičeskaâ teoriâ optimal'nogo êksperimenta. M.: Nauka, 2007.
16. Džonson N. Statistika i planirovanie êksperimenta v tehnike i nauke. Metody planirovaniâ êksperimenta. M.: Mir, 1981.

Транслитерация по ISO 9:1995

