

УДК 532.5.011: 532.5.013

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЩЕЛЕВОГО ФИЛЬТРА

Виноградов Владимир Владимирович,

аспирант каф. химической технологии неорганических веществ и материалов Иркутского национального исследовательского технического университета, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. E-mail: vvv158@mail.ru

Зыкова Юлия Александровна,

ст. преподаватель каф. химической технологии неорганических веществ и материалов Иркутского национального исследовательского технического университета, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. E-mail: ulya2279@mail.ru

Самохвалов Николай Митрофанович,

канд. техн. наук, профессор каф. химической технологии неорганических веществ и материалов Иркутского национального исследовательского технического университета, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. E-mail: htnv@istu.edu

Актуальность работы обусловлена необходимостью определения основных конструктивных размеров и технологических параметров при проектировании новой и малоизученной конструкции устройства для очистки газов от пыли – щелевого фильтра. Существующие сегодня методы расчета не применимы для данных пылеулавливающих устройств и дают большие расхождения при сопоставлении опытных и расчетных данных.

Цель исследования: разработка алгоритма и методики расчета основных размеров и параметров процесса пылеочистки (поверхность фильтрования, скорость, гидравлическое сопротивление), базирующихся на выявленных закономерностях при исследовании эффективности очистки газа от пыли и величины гидравлического сопротивления в щелевом фильтре с различной структурой фильтрующей перегородки.

Методы исследования. Методика расчета основана на результатах экспериментальных исследований и проведенном теоретическом анализе процесса очистки запыленных газов фильтрованием через щелевую перегородку, с учетом стационарности процесса, структурных характеристик и степени влияния механизмов осаждения.

Результаты. Разработан алгоритм и методика расчета щелевого фильтра, основанная на использовании значений критического времени пребывания и граничного фактора стационарности, учитывающая снижение эффективности за счет вторичного уноса пыли. Дано обоснование выбора и корректировки принимаемых для расчета величин и необходимые рекомендации по реализации данной методики. Для упрощения расчета создана программа ЭВМ, которая, используя вводимые и полученные данные, может проводить оптимизацию размерных и технологических характеристик щелевого фильтра.

Выводы. Данная методика позволяет проектировать пылеочистное устройство, обладающее заданной величиной эффективности очистки, минимальным значением гидравлического сопротивления и требуемыми габаритными размерами, что поможет снизить количество вредных выбросов и уменьшить затраты на проектирование и эксплуатацию щелевого фильтра.

Ключевые слова:

Щелевой фильтр, структура щелевой перегородки, эффективность очистки, гидравлическое сопротивление, методика расчета, алгоритм расчета, фактор стационарности, время пребывания.

Для очистки высокотемпературных, абразивных и химически агрессивных газов от пылевых частиц в химической промышленности, металлургии и строительстве целесообразно применение фильтров со щелевым фильтрующим слоем. Одним из таких устройств является разработанный нами щелевой фильтр [1] с фильтрующим слоем из навитой на специальный каркас, в несколько слоев, проволоки. Данный фильтр имеет много преимуществ по сравнению с другими пылеочистными аппаратами и в определенных условиях может обеспечивать эффективность очистки свыше 99 % при относительно невысоком гидравлическом сопротивлении. Щелевой фильтр является новой конструкцией, и закономерности фильтрования газов в нем практически не изучены, а существующие методики расчета фильтрующей аппаратуры [2–7] не применимы для таких пылеочистных

устройств. В основном классический расчет фильтров для очистки запыленных газов сводится к опытному подбору толщины фильтрующего слоя и скорости процесса фильтрования.

Известные в теории фильтрования закономерности и методики расчета разработаны в основном для идеализированных структур, в частности при изучении обтекания цилиндра или шара одиночной частицей шарообразной формы. Они отражают общие закономерности, но далеки от реальных процессов очистки запыленных газов. Более того, методы расчета фильтров в большей степени разработаны для разделения суспензий, а для газов – применительно к тканевым и частично к зернистым фильтрам [8, 9]. Структура же щелевых фильтров и реальные процессы очистки, протекающие в них, существенно отличаются от тканевых и зернистых фильтров. Поэтому использовать

эти методики для расчета конкретных фильтров, в том числе щелевого фильтра, невозможно. Разработанная нами методика базируется на зависимости эффективности очистки от фактора стационарности, которым является отношение времени пребывания запыленного потока в фильтрующем слое к общей продолжительности процесса фильтрования. Этот фактор учитывает вторичный унос пыли, позволяя варьировать значениями толщины слоя, скоростью фильтрования и длительностью цикла между регенерациями для выбора оптимального варианта размеров фильтра и параметров фильтрования [10], что позволяет снизить капитальные и экономические затраты на изготовление и эксплуатацию щелевых фильтров.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлась щелевая фильтрующая перегородка со сменным числом слоев и диаметром проволоки. Гидравлическое сопротивление измерялись микроанометром с наклонной трубкой ММН-240. Расход воздуха измерялся с помощью ротаметра РМ-04–10 ГУЗ. Исследовалась эффективность очистки воздуха от угольной, цементной, песочной, мучной пыли, пылевидного поливинилхлорида и нейтрального гипохлорита кальция при скоростях от 0,01 до 0,2 м/с. Для определения размера частиц пыли и ее дисперсности использовался импактор конструкции НИИОГаз. В качестве размера частиц пыли принят медианный размер. Для характеристики сыпучести пыли использован угол естественного откоса. Плотность пыли оценивалась истинной и насыпной плотностью. Эффективность очистки измерялась весовым методом по известной методике. Отбор проб проводился аспиратором через пылеотборные трубки [11–13]. После каждого эксперимента фильтрующая перегородка очищалась от уловленной пыли, во время опыта регенерация не проводилась.

Методами исследований являлись экспериментальное изучение и теоретический анализ процессов фильтрования запыленных газов через фильтрующую щелевую перегородку.

Обсуждение результатов

На основе проведенных исследований и выявленных закономерностей улавливания пыли слоями проволоки разработана методика расчета щелевых фильтров, которая позволяет получить оптимальные размеры аппарата и параметры фильтрования. Её можно использовать для расчета щелевых фильтров с коридорным или шахматным способом намотки фильтрующего слоя и периодической или непрерывной регенерацией фильтрующего слоя.

Расчет щелевого фильтра, включает технологический расчет, который осуществляется с целью определения основных размеров (толщины фильтрующего слоя и поверхности фильтрования), параметров фильтрования (скорости и продолжи-

тельности цикла фильтрования, эффективности очистки, диаметра и высоты фильтрующего слоя, расчета системы регенерации) и гидравлического сопротивления аппарата. Его можно условно разделить на два основных блока: блок, отвечающий за расчет эффективности очистки, и блок определения гидравлического сопротивления.

Исходными данными для расчета являются: объемная производительность по очищаемому газу V , м³/с; заданная эффективность очистки η ; плотность очищаемого газа ρ_r , кг/м³; динамическая вязкость газа μ , Па·с; медианный размер частиц улавливаемой пыли δ_{50} , м; плотность пыли ρ_n , кг/м³; пористость пылевого слоя m , м³/м³; угол естественного откоса α . Исходные данные, используемые только для расчета гидравлического сопротивления щелевого фильтра: допустимое гидравлическое сопротивление ΔP_d , Па; входная массовая запыленность $Z_{вх}$, кг/м³.

Отдельно из исходных данных следует выделить принимаемые данные, которые выбираются ориентировочно. Корректировкой этих данных в процессе расчета можно будет получать множество вариантов окончательных результатов. Такими данными являются: высота фильтрующего слоя L , м; внутренний диаметр фильтрующего слоя D_ϕ , м; длительность цикла фильтрования τ , с; размер щели между витками и слоями проволоки – $h_{щ}$ и $h_{сл}$ соответственно, м; диаметр проволоки $d_{пр}$ (м) и число слоев n ; поправочный множитель b , изначально равный 1, который необходим для уточнения значений времени пребывания.

Высота L и диаметр D_ϕ фильтрующего слоя принимаются условно, например, равными 1 м. Также условно можно принять время регенерации в пределах 60–300 с, за это время устройство регенерации должно успеть пройти через весь фильтрующий слой и эффективно очистить его от уловленной пыли. Более точно значение времени регенерации выбирается в зависимости от свойств пыли и среды, входной запыленности, конструктивных особенностей системы регенерации и гидравлического сопротивления. Длительность цикла фильтрования должна быть больше или равна времени регенерации. Для обеспечения низких значений гидравлического сопротивления размер щелей между витками (шаг намотки) и слоями проволоки в фильтрующем слое должен быть более 60 мкм, размеры щелей между витками и слоями проволоки могут быть не равны между собой. Экспериментально установлен оптимальный диаметр наматываемой проволоки, он может находиться в диапазоне от 0,5 до 1,4 мм. Более тонкая проволока будет иметь низкую прочность к механическому воздействию и высоким температурам, её сложнее наматывать на каркас, соблюдая необходимые размеры щелей. Использовать для намотки проволоку толщиной более 1,4 мм также не рекомендуется в связи с увеличением затрат и ростом гидравлического сопротивления. Количество слоев проволоки, необходимое для обеспечения высокоэф-

фактивной очистки, должно быть не менее 3, но не более 7 из-за возрастания гидравлического сопротивления, ухудшения условий регенерации и увеличения затрат на намотку проволоки.

Перед началом расчета необходимо выбрать способ намотки проволоки фильтрующего слоя [14]: коридорная (рядовая) или шахматная. Коридорная намотка проволоки, по сравнению с шахматной, при прочих равных характеристиках фильтрующего слоя, обладает меньшим гидравлическим сопротивлением. Однако в фильтрующем слое, намотанном этим способом, наблюдается большее количество застойных зон, из которых сложнее выдуть пыль при регенерации. Шахматная компоновка фильтрующего слоя может обеспечить более высокую эффективность, но при этом приходится считаться с возросшим гидравлическим сопротивлением.

Подготовительной частью расчета является определение основных структурных характеристик фильтрующего слоя и параметров пылегазовой среды.

В зависимости от способа намотки проволоки определяется толщина фильтрующего слоя H , м [14]. Для коридорной намотки:

$$H = nd_{np} + h_c(n-1).$$

Для шахматной намотки:

$$H = nd_{np} + h_c(n-1) - 0,1316 \cdot d_{np}(n-1).$$

Так же, исходя из способа намотки проволоки, находится число витков в одном слое проволоки m_b . Для коридорной намотки:

$$m_b = \left(\frac{L}{d_{np} + h_{щ}} \right) + h_{щ}.$$

Для шахматной намотки:

$$m_b = \left(\frac{L}{d_{np} + h_{щ}} \right) + h_{щ} - \left(\frac{n}{2} - k \right),$$

где k – показатель четности слоев. При четном числе слоев $k=0$, при нечетном – 0,5. Этот показатель вводится только для шахматной намотки проволоки.

На основании полученного значения толщины и диаметра фильтрующего слоя рассчитывается диаметр витка проволоки среднего слоя (м):

$$D_{cp} = D_{\phi} + H.$$

Объем, занимаемый фильтрующим слоем V_{cl} , м³, можно найти по данной зависимости:

$$V_{cl} = \frac{\pi}{4} L((D_{cp} + H)^2 - D_{\phi}^2).$$

Длина проволоки, израсходованная на намотку всего фильтрующего слоя (м):

$$L_{np} = \pi D_{cp} m_b n.$$

Объем проволоки в фильтрующем слое V_{np} , м³, определяется:

$$V_{np} = \pi d_{np}^2 \frac{L_{np}}{4}.$$

По найденным значениям V_{cl} и V_{np} рассчитывается доля свободного объема фильтрующего слоя (м³/м³):

$$\varepsilon_o = \frac{V_{cl} - V_{np}}{V_{cl}}.$$

Доля живого сечения ψ_o , м²/м², определяется по принятым значениям высоты фильтрующего слоя и размеру щелей между витками проволоки:

$$\psi_o = h_{щ} \frac{m_b + 1}{L}.$$

Влияние структурных характеристик, на основе опытных данных, можно выразить через безразмерный показатель структуры фильтрующего слоя:

$$\xi = 0,283 \frac{H(1 - \varepsilon_o)}{d_{np} \varepsilon_o},$$

где 0,283 – опытный коэффициент.

Для учета вторичного уноса пыли используется коэффициент k_y . Его предлагается рассчитывать по эмпирической зависимости от сыпучести пыли, которую характеризует тангенс угла естественного откоса, медианного размера и плотности пыли. Эта зависимость получена на основе метода анализа размерностей и имеет вид:

$$k_y = 0,01 / (\delta_{50} \rho_p \operatorname{tg} \alpha),$$

где 0,01 – опытный коэффициент.

Коэффициент пропорциональности A , зависящий от свойств очищаемого газа, можно рассчитать по уравнению:

$$A = \beta \frac{1,91 \cdot 10^{-12}}{\delta_{50}^4 \cdot \rho_p},$$

где β – поправочный коэффициент, изменяющийся в зависимости от плотности и вязкости пылегазовой среды:

$$\beta = \frac{g \rho_r}{29,43 \cdot 10^7 \cdot \mu^2}.$$

На основе действия параметров осаждения на процесс фильтрования в щелевом фильтре коэффициент захвата пылевых частиц фильтрующим слоем K_3 предлагается рассчитывать по зависимости:

$$K_3 = \frac{g \rho_r \delta_{50}^4 \rho_p}{18 \mu^2 d_{np}}.$$

С учетом структурных характеристик фильтрующего слоя и параметров пылегазовой среды рассчитывается граничный фактор стационарности K_{fnp} :

$$K_{fnp} = e^{6,25 \ln B}, \quad (1)$$

где B – комплекс безразмерных величин. Данная зависимость хорошо согласуется с известным законом улавливания частиц однородным фильтром [15].

Комплекс B определяется следующим уравнением:

$$B = \frac{k_y}{\left(1 - \frac{\ln[1/(1-\eta)]}{\xi AK_s}\right)}$$

Подставляя значение комплекса B в уравнение (1), получим значение граничного фактора стационарности.

Зная граничный фактор стационарности и длительность цикла фильтрования можно определить время пребывания $\tau_{np}(c)$, которое при $b=1$ соответствует критическому значению:

$$\tau_{np} = bK_{fnp} \tau. \quad (2)$$

По рассчитанному критическому времени пребывания, с учётом доли живого сечения, определяется скорость, при которой необходимо вести процесс фильтрования (м/с):

$$W_o = \frac{H \psi_o}{\tau_{np}}$$

Зная скорость, несложно определить поверхность фильтрования F , м², исходя из заданной производительности:

$$F = \frac{V}{W_o}$$

По найденной поверхности при проектировании уточняются рабочие значения высоты L и внутреннего диаметра фильтрующего слоя D_ϕ .

Проводится расчет эффективности очистки на основе принятых и полученных параметров фильтрования. Для этого определяется расчетный показатель структуры фильтрующего слоя:

$$\xi_p = \frac{0,0846 \cdot H(1 - \varepsilon_o)}{d_{np} \varepsilon_o},$$

где 0,0846 – опытный коэффициент.

Показатель вторичного уноса пыли K_n рассчитывается по следующему уравнению:

$$K_n = 1 - \frac{k_y}{(\tau_{np} / \tau)^{0,16}}. \quad (3)$$

В уравнении (3) используется фактор стационарности, которым является отношение рассчитанного по уравнению (2) критического времени пребывания к общей продолжительности процесса фильтрования [10].

Расчетная эффективность η_p определяется по формуле, в которой учитывается влияние скорости на процесс очистки:

$$\eta_p = 1 - e^{-\xi_p \eta_o \frac{W_o}{W_o} K_n}$$

Если полученное значение эффективности очистки будет больше или равно заданной, то расчет по определению скорости и поверхности фильтра заканчивается. В ином случае производится циклическая корректировка значения критического времени пребывания при помощи поправочного множителя b , к которому будет прибавляться поправка

$$b = b + 0,01,$$

где 0,01 – шаг поправки.

Если b будет равно 1,3, а расчетная эффективность очистки по-прежнему меньше заданной, то необходимо скорректировать принимаемые данные. Поправочный множитель b снова приравнивается к единице.

При расчете гидравлического сопротивления принимается механизм фильтрования с образованием осадка внутри каналов щелевого слоя. Этот расчет включает в себя: расчет гидравлического сопротивления чистого фильтрующего слоя [14]; расчет сопротивления пылевого осадка; определение общего гидравлического сопротивления.

Расчет сопротивления чистого фильтрующего слоя необходимо начинать с определения его удельной поверхности (м²/м³):

$$f = \frac{\pi d_{np} L_{np}}{V_{сч}}$$

Коэффициент извилистости (кривизны) каналов щелевого слоя ζ можно выразить через долю свободного объема по уравнению [16]:

$$\zeta = 1 + \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) \cdot (1 - \varepsilon_o)^{2/3}.$$

Критерий Рейнольдса для модели обтекания частицы Re_ζ [17] определяется:

$$Re_\zeta = \frac{W_o d_{np} \rho_r}{\varepsilon_o \mu}$$

Коэффициент сопротивления фильтрующего слоя λ_c рассчитывается применительно к внешней задаче гидродинамики [16]:

$$\lambda_c = 2\zeta^3 \left[\frac{4 - 3\varepsilon_o}{\varepsilon_o} \cdot \frac{3}{Re_\zeta \zeta} + 0,017 \left(\frac{2\varepsilon_o}{3(1 - \varepsilon_o)} Re_\zeta \zeta \right)^{-0,18} \right] + 2,5\zeta^3 [0,45(Re_\zeta \zeta)^{-4/9} + 0,042].$$

Гидравлическое сопротивление чистого фильтрующего слоя ΔP_ζ находится по зависимости, полученной на основе уравнения М.Э. Аэрова [18] с учетом доли живого сечения и изменения числа слоев проволоки. В зависимости от количества слоев применяются разные формулы. Установлено, при числе слоев проволоки от 2-х до 4-х сопротивление изменяется по степенной зависимости, а при $n > 4$ эта зависимость линейная. Тогда, при $n=2-4$, используется степенная зависимость от числа слоев проволоки:

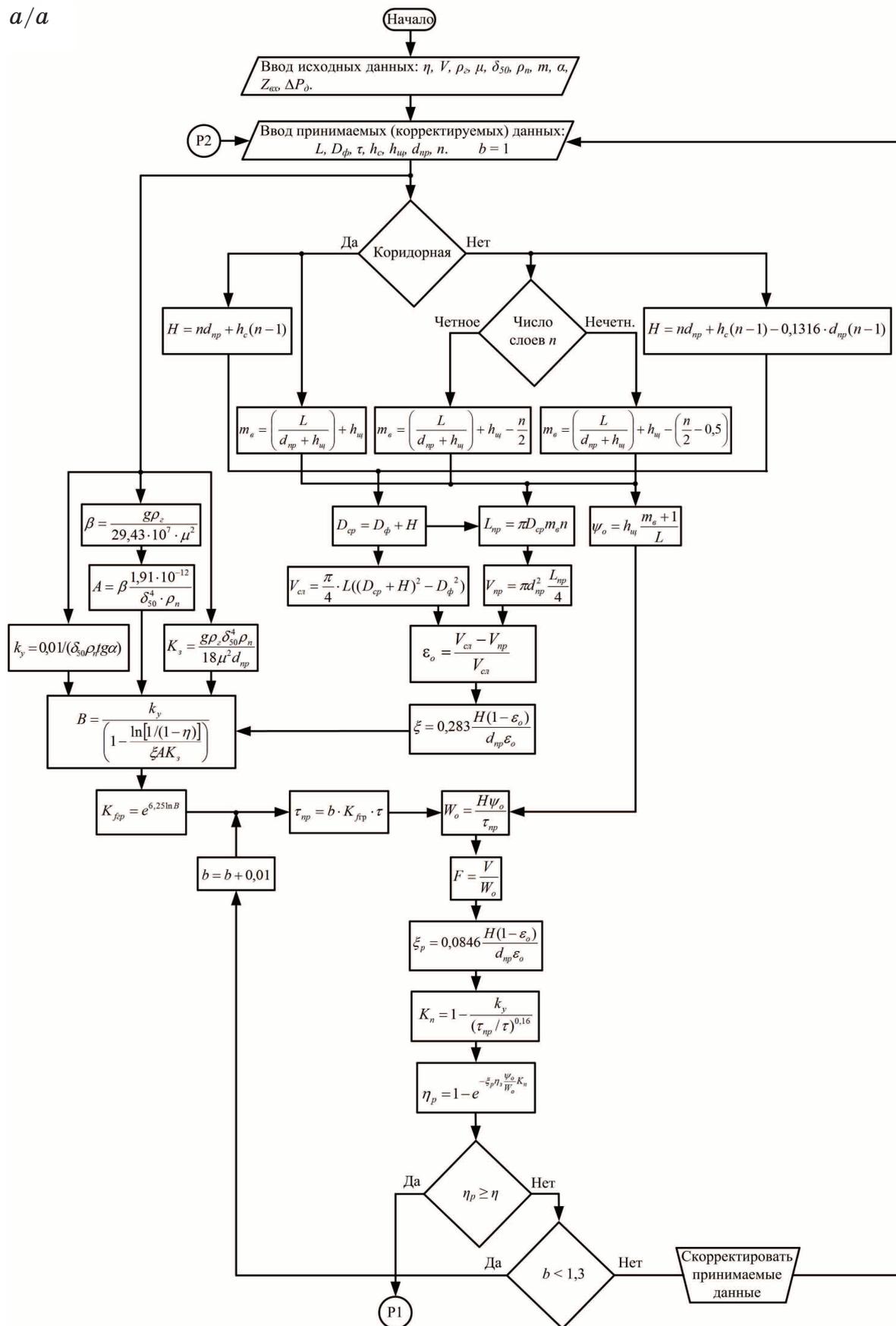
$$\Delta P_\zeta = \lambda_c n^{(1+0,1n)} \cdot \frac{(1 - \psi_o)}{2} \cdot \frac{f(1 - \varepsilon_o) \rho_r W_o^2 H}{2\psi_o^3}.$$

При $n > 4$ используется линейная зависимость:

$$\Delta P_\zeta = \lambda_c n \cdot \frac{(1 - \psi_o)}{2} \cdot \frac{f(1 - \varepsilon_o) \rho_r W_o^2 H}{2\psi_o^3}.$$

Для расчета гидравлического сопротивления пылевого осадка необходимо определить:

a/a



б/б

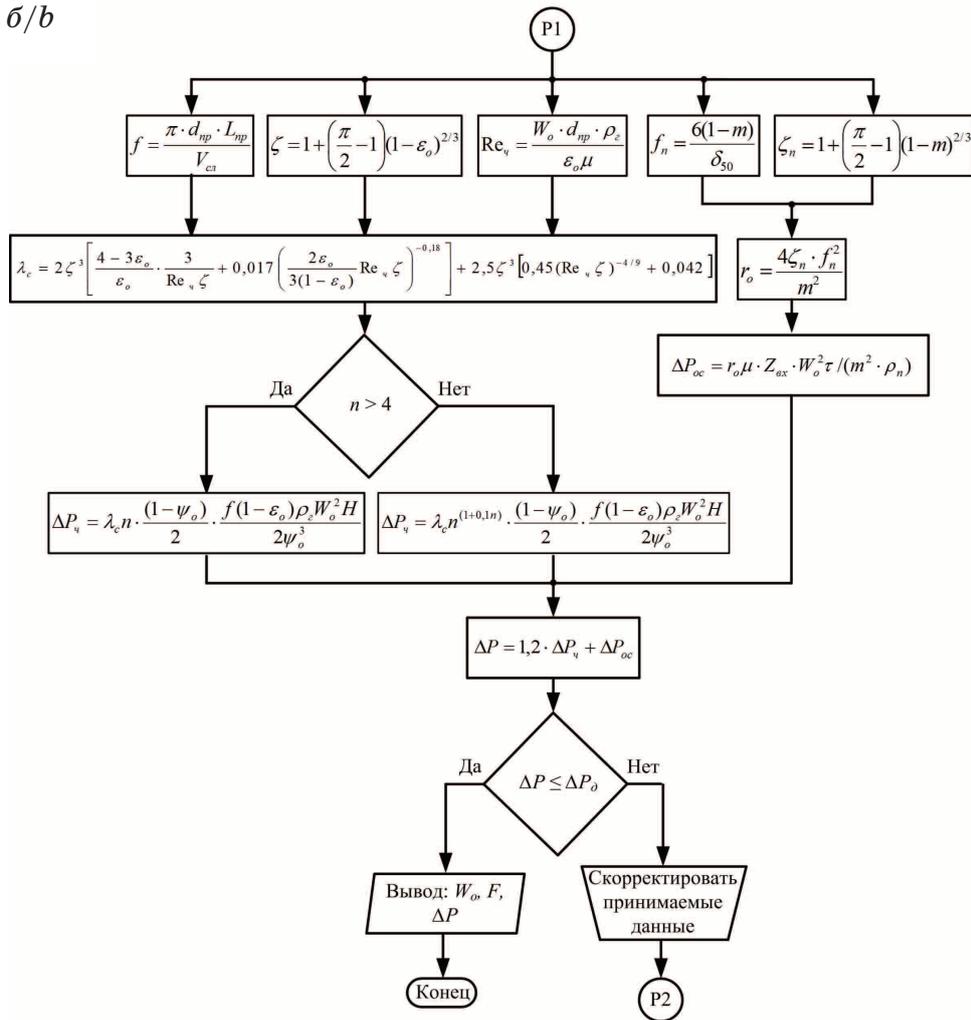


Рисунок. Блок-схема расчета основных параметров щелевого фильтра: а) эффективности очистки; б) гидравлического сопротивления

Figure. Block diagram for calculating the basic parameters of slotted filter: a) cleaning efficiency; b) hydraulic resistance

- удельную поверхность пыли ($\text{м}^2/\text{м}^3$)

$$f_{\text{п}} = \frac{6(1-m)}{\delta_{50}}$$

- коэффициент кривизны пылевых каналов $\zeta_{\text{п}}$ по формуле [16]

$$\zeta_{\text{п}} = 1 + \left(\frac{\pi}{2} - 1\right) (1-m)^{2/3};$$

- удельное сопротивление пыли (м^{-2})

$$r_o = \frac{4\zeta_{\text{п}} f_{\text{п}}^2}{m^2}.$$

Гидравлическое сопротивление пылевого осадка ΔP_{oc} определяется на основе уравнения

$$\Delta P_{\text{oc}} = r_o \mu Z_{\text{вх}} W_o^2 \tau / (m^2 \rho_{\text{п}}),$$

которое получено путем преобразования уравнения Пуазейля [9].

Общее гидравлическое сопротивление ΔP рассчитывается как сумма сопротивлений чистого

фильтрующего слоя и сопротивления, создаваемого пылевым осадком:

$$\Delta P = 1,2 \cdot \Delta P_{\text{ч}} + \Delta P_{\text{oc}}.$$

Для обеспечения надежности полученных результатов сопротивление чистого фильтрующего слоя в этой зависимости берется с запасом 20 %.

При значении расчетного гидравлического сопротивления больше допустимого производится корректировка принимаемых для расчета величин. Для корректировки можно изменять расстояния между слоями и витками проволоки или диаметр проволоки.

В соответствии с рассмотренной методикой составлена блок-схема алгоритма расчета, представленная на рисунке. На основе этой блок-схемы разработана программа для ЭВМ по расчету щелевого фильтра с использованием языка Action Script на базе мультимедийной платформы Adobe Flash [19]. Она упрощает расчет и позволяет выбирать оптимальные значения основных параметров процесса фильтрования.

Основываясь на полученных в ходе расчета параметрах, можно рассчитать характеристики системы регенерации щелевого фильтра [20]. По скорректированной длительности цикла фильтрования определяется необходимое время перемещения продувочного сопла вдоль и вокруг своей оси. С учетом структурных характеристик фильтрующего слоя и условий регенерации принимается диаметр продувочного сопла и его расстояние до фильтрующей перегородки. Расход продувочного воздуха рассчитывается с учетом затрат воздуха на реактивное сопло. Расчет основан на определении силы тяги и центробежной силы, создаваемых реактивным соплом. По полученным характеристикам системы регенерации, принимая во внимание высоту фильтрующего барабана, рассчитывается механизм вертикального перемещения сопел вдоль своей оси. Затем определяются передаточное

число редуктора и мощность двигателя, который приводит в движение продувочную трубу с расположенной на ней газораспределительной камерой с реактивным и продувочным соплом.

Выводы

Разработана методика, алгоритм и программа расчета для проектирования щелевого фильтра. Методика позволяет определять конструктивные размеры и технологические параметры щелевого фильтра на основе исследований эффективности и гидравлического сопротивления при очистке газа от пыли с использованием значений критического времени пребывания и граничного фактора стационарности. Даны пояснения и необходимые рекомендации для реализации данной методики расчета. Программа выполняет оптимизацию рабочих параметров процесса фильтрования и размеров щелевого фильтра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фильтр для очистки газа от пыли: пат. 104863 РФ. МПК В01Д 46/00. Заявл. 16.12.2010; опубл. 27.05.2011, Бюл. № 15. – 2 с.
2. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.
3. Красовицкий Ю.В., Дуров В.В. Обеспыливание газов зернистыми слоями. – М.: Химия, 1991. – 91 с.
4. Guo-hua Yang, Jiang-hua Zhou. Experimental Study on a New Dual-Layer Granular Bed Filter for Removing Particulates // Journal of China University of Mining & Technology. – 2007. – V. 17. – № 2. – P. 201–204.
5. Henriquez V., Macias-Machin A. Holt gas filtration, using a moving bed heat exchanger-filter (MNEF) // Chemical Engineering and Processing. – 1997. – V. 36. – Iss. 5. – P. 353–361.
6. Lawrence K., Norman C., Yung-Tse Hung. Air Pollution Control Engineering. – New York: Humana Press Inc., 2004. – 628 p.
7. Анжеуров Н.М., Вальдберг А.Ю., Красовицкий Ю.В. Анализ современного состояния теории процесса фильтрации аэрозолей (применительно к практике инженерных расчетов) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды: обзорная информация. – М.: РАН. ВИНТИ, 2000. – № 5. – С. 24–42.
8. Мазус М.Г., Мальгин А.Д., Моргулис М.Л. Фильтры для улавливания промышленных пылей. – М.: Химия, 1985. – 240 с.
9. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, 1971. – 430 с.
10. Самохвалов Н.М., Виноградов В.В. Стационарность процесса и эффективность очистки газов от пыли в щелевом фильтре //

- Теоретические основы химической технологии. – 2014. – Т. 48. – № 6. – С. 690–694.
11. Биргер М.И. Справочник по пыле- и золоулавливанию. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
12. Балтренас П., Шпакаускас В. Методы и приборы определения физико-механических и химических свойств пылей и аэрозолей. – Вильнюс: Техника, 1994. – 204 с.
13. Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. – М.: Химия, 1978. – 207 с.
14. Виноградов В.В., Зыкова Ю.А., Самохвалов Н.М. Влияние структуры щелевого фильтра на гидравлическое сопротивление // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2015. – № 4. – С. 3–10.
15. Ужов В.Н., Мягков Б.И., Вальдберг А.Ю. Очистка промышленных газов от пыли. – М.: Химия, 1981. – 392 с.
16. Островский Г.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности. – Л.: Химия, 1984. – 104 с.
17. Гусев А.А. Гидравлика. – М.: Юрайт, 2013. – 285 с.
18. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. – М.: Химия, 1968. – 510 с.
19. Moock C. Essential ActionScript 3.0. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2008. – 948 p.
20. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / под ред. Ю.И. Дытнерского. – 2-е изд. – М.: Химия, 2008. – 496 с.

Поступила 29.09.2015 г.

UDC 532.5.011: 532.5.013

CALCULATION OF A SLOTTED FILTER

Vladimir V. Vinogradov,
Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov Street, Irkutsk,
664074, Russia. E-mail: vvv158@mail.ru

Yulia A. Zykova,
Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov Street, Irkutsk,
664074, Russia. E-mail: ulya2279@mail.ru

Nikolay M. Samokhvalov,

Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov Street, Irkutsk, 664074, Russia. E-mail: htnv@istu.edu

Relevance of the work is caused by the need to identify the main structural dimensions and process parameters in designing new and little-studied structure of the device for cleaning gases from dust – slotted filter. The existing methods for calculation are not applicable for these dedusting devices and give large differences when comparing the experimental and calculated data.

The main aim of the research is to develop the algorithm and the method of calculating the basic dimensions and parameters of the process dust cleaning (surface filtration, speed, hydraulic resistance) based on identification of patterns when studying the efficiency of gas cleaning from dust and the value of hydraulic resistance in the slotted filter with different structures of the filter septum.

Methods. The calculation technique is based on the results of experimental studies and theoretical analysis of cleaning dusty gas by filtration through the slotted septum, taking into account stationary of the process, the structural characteristics and impact mechanisms of precipitation.

Results. The authors have developed the algorithm and the method for calculating the slotted filter, based on the use of the critical residence time and limit stationary factor that takes into account the loss of efficiency due to re-entrainment of dust. The paper introduces the substantiation of selection and adjustment of the quantities adopted for calculation and necessary recommendations for implementation of this technique. To simplify the calculation the computer program was developed. The latter can optimize dimensional and technological characteristics of the slotted filter using the input and the obtained data.

Conclusions. This technique allows designing dust removal device with a predetermined quantity of cleaning efficiency, minimum value of hydraulic resistance and the required dimensions, which will help reduce the amount of harmful emissions and reduce the cost for designing and operating the slotted filter.

Key words:

Slotted filter, slotted septum structure, cleaning efficiency, hydraulic resistance, calculation method, calculation algorithm, stationary factor, residence time.

REFERENCES

1. Samokhvalov N.M. *Filtr dlya ochistki gaza ot pyli* [Filter for gas cleaning from dust]. Patent RF, no. 104863, 2011.
2. Pirumov A.I. *Obespylivaniye vozdukh* [Dedusting air]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 296 p.
3. Krasovitskiy Yu.V., Durov V.V. *Obespylivaniye gazov zernistymi sloyami* [Dedusting gas granular layers]. Moscow, Khimiya Publ., 1991. 91 p.
4. Yang G.H., Zhou J.H. Experimental study on a new dual-layer granular bed filter for removing particulates. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2007, vol. 17, no. 2, pp. 201–204.
5. Henriquez V., Macias-Machin A. Holt gas filtration, using a moving bed heat exchanger-filter (MHEF). *Chemical Engineering and Processing*, 1997, vol. 36, iss. 5, pp. 353–361.
6. Lawrence K., Norman C., Hung Y.T. *Air pollution control engineering*. New York, Humana Press Inc. Publ., 2004. 628 p.
7. Anzheurov N.M., Valdberg A.Yu., Krasovitskiy Yu.V. Analiz sovremennogo sostoyaniya teorii protsessa filtratsii aerorozley (primenitelno k praktike inzhenernykh raschetov) [Analysis of the current state of the theory of aerosol filtration (with reference to the practice of engineering calculations)]. *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchey sredy: obzornaya informatsiya*. Moscow, RAN. VINITI Publ., 2000, no. 5, pp. 24–42.
8. Mazus M.G., Malgin A.D., Morgulis M.L. *Filtry dlya ulavlivaniya promyshlennykh pyley* [Filters for industrial dust collecting]. Moscow, Khimiya Publ., 1985. 240 p.
9. Zhuzhikov V.A. *Filtrovaniye. Teoriya i praktika razdeleniya suspenziy* [Filtration. Theory and practice of separation of suspensions]. Moscow, Khimiya Publ., 1971. 430 p.
10. Samokhvalov N.M., Vinogradov V.V. Statsionarnost protsessa i effektivnost ochistki gazov ot pyli v shchelevom filtrе [Stationary and efficiency of cleaning dust from gases on slotted filter]. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2014, vol. 48, no. 6, pp. 837–841.
11. Birger M.I. *Spravochnik po pyle- i zoloulavlivaniyu* [Handbook of dust and ash collection]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 320 p.
12. Baltrenas P., Shpakauskas V. *Metody i pribory opredeleniya fiziko-mekhanicheskikh i khimicheskikh svoystv pyley i aerorozley* [Methods and tools for determination of physical-mechanical and chemical properties of dusts and aerosols]. Vilnius, Tekhnika Publ., 1994. 204 p.
13. Klimenko A.P. *Metody i pribory dlya izmereniya kontsentratsii pyli* [Methods and instruments for measuring the concentration of dust]. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 207 p.
14. Vinogradov V.V., Zykova Yu.A., Samokhvalov N.M. Vliyaniye struktury shchelevogo filtra na gidravlichesкое soprotivlenie [Effect of the slot filter structure on the hydraulic resistance]. *Izvestiya Ran. Fluid dynamics*, 2015, vol. 50, no. 4, pp. 463–470.
15. Uzhov V.N., Myagkov B.I., Valdberg A.Yu. *Ochistka promyshlennykh gazov ot pyli* [Purification of industrial gases from dust]. Moscow, Khimiya Publ., 1981. 392 p.
16. Ostrovskiy G.M. *Pnevmaticheskiy transport sypuchikh materialov v khimicheskoy promyshlennosti* [Pneumatic transport of bulk materials in the chemical industry]. Leningrad, Khimiya Publ., 1984. 104 p.
17. Gusev A.A. *Gidravlika* [Hydraulics]. Moscow, Yurayt Publ., 2013. 285 p.
18. Aerov M.E., Todes O.M. *Gidravlicheskiye i teplovye osnovy raboty apparatov so statsionarnym i kipyashchim zernistym sloem* [Hydraulic and thermal basics of devices with fixed and fluidized granular layer]. Moscow, Khimiya Publ., 1968. 510 p.
19. Moock C. *Essential ActionScript 3.0*. Sebastopol, O'Reilly Media Publ., 2008. 948 p.
20. *Osnovnyye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii* [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. Moscow, Khimiya Publ., 2008. 496 p.

Received: 29 September 2015.