

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ / CHEMICAL SCIENCES

Оригинальная статья / Original article

УДК 66.074

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-99-105>**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГЕНЕРАЦИИ ЩЕЛЕВОГО ФИЛЬТРА**

© Ю.А. Зыкова, Н.М. Самохвалов, В.В. Виноградов

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Цель работы – изучение закономерностей и эффективности процесса регенерации фильтрующей перегородки путем обратной струйной продувки вращающимся соплом при очистке запыленных газов щелевым фильтром. При исследованиях изменялись скорость вращения продувочного сопла и его расстояние до фильтрующей перегородки, число слоев проволоки и размер щелей между ними. В ходе эксперимента измерялся расход воздуха на фильтрацию и на продувку, гидравлическое сопротивление чистой перегородки, перегородки с осадком и после регенерации. Рассмотрены баланс сильнодействующих на пылевой осадок при регенерации и условия отрыва осадка от фильтрующей перегородки, на основе которых предложено математическое описание, определяющее минимальную скорость продувочной струи. Предложена зависимость для расчета эффективной рабочей скорости струи, обеспечивающей эффективную регенерацию и минимальные экономические затраты на продувку. Выявлено, что эффективность регенерации связана экспоненциальной зависимостью с показателем остаточного сопротивления осадка, который определяется условиями фильтрования и регенерации. Получена зависимость для расчета коэффициента регенерируемости, который рекомендуется использовать при определении общего гидравлического сопротивления щелевого фильтра, учитывающего сопротивление чистой фильтрующей перегородки, сопротивление пылевого осадка и остаточное сопротивление щелевой перегородки после регенерации.

Ключевые слова: фильтрование, щелевой фильтр, регенерация, эффективность, гидравлическое сопротивление.

Формат цитирования: Зыкова Ю.А., Самохвалов Н.М., Виноградов В.В. Эффективность регенерации щелевого фильтра // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, N. 1. С. 99–105. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-99-105

SLOTTED FILTER REGENERATION EFFICIENCY

© Y.A. Zykova, N.M. Samokhvalov, V.V. Vinogradov

Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russian Federation

This aim of this research was to study the mechanism and efficiency of the regeneration of filtering walls by means of reverse jet blasting with a rotating nozzle during dusty gas treatment by a slotted filter. Within a series of experiments, the rotational speed of the blowing nozzle and its distance to the filtering wall, the number of wire layers and the gaps between them were varied. Air consumption for filtration and purging was measured along with the hydraulic resistance of a clean filtering wall, a wall with dust sedimentation and one following regeneration. The balance of the forces acting on the dust sediment during regeneration and the conditions for the separation of the sediment from the filtering wall were analysed, allowing the minimum velocity of the blowing jet to be mathematically defined. A dependency relation is proposed for calculating the effective working speed of the jet, which ensures efficient regeneration and minimum purging costs. The efficiency of regeneration is found to be exponentially related to the residual creep resistance index determined by the conditions of filtration and regeneration. A dependency relation is derived to calculate the regeneration coefficient, which can be recommended for determining the total hydraulic resistance of the slotted filter, taking into account the resistance of the clean filtering wall, the resistance of the dust sediment and the residual resistance of the filtering wall after regeneration.

Keywords: filtration, slot filter, regeneration, efficiency, hydraulic resistance

For citation: Zykova Y.A., Samokhvalov N.M., Vinogradov V.V. Slotted filter regeneration efficiency. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2018, vol. 8, no 1, pp. 99–105 (in Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-99-105

ВВЕДЕНИЕ

В процессах фильтрования происходит накопление осадка на фильтровальной перегородке, в результате чего ее газопроницаемость уменьшается. Для обеспечения заданной производительности фильтра необходимо поддерживать его пропускную способность на определенном уровне путем регенерации перегородки [1-3].

Сущность процесса регенерации фильтровальной перегородки заключается в периодическом или непрерывном разрушении и частичном или полном удалении пылевого осадка с целью ограничения роста гидравлического сопротивления.

Для оценки эффективности используют коэффициент регенерируемости фильтровальной перегородки K_p [4], который определяется по формуле

$$K_p = \frac{\Delta P_n - P_k}{\Delta P_n} = 1 - \frac{\Delta P_k}{\Delta P_n},$$

где ΔP_n – сопротивление осадка до регенерации; ΔP_k – остаточное сопротивление осадка после регенерации.

Удаление осевшей пыли может осуществляться под воздействием аэродинамического, гидродинамического, механического воздействия, и комбинированными методами [5]. Все они имеют похожие механизмы разрушения пылевого слоя. Практически во всех случаях разрушение идет по аутогезионным связям [6], которые обычно слабее адгезионных связей частиц пыли с поверхностью перегородки.

В щелевом фильтре [7] в качестве фильтрующей перегородки используется навитая на жесткий перфорированный цилиндрический каркас металлическая проволока в несколько слоев. Регенерация в таком фильтре осуществляется непрерывной обратной струйной продувкой вращающейся и одновременно перемещающейся вдоль перегородки струи сжатого воздуха. Закономерности процесса регенерации малоизучены, особенно применительно к щелевому фильтру.

В работе [8] изучена регенерация пористой перегородки в рукавном фильтре с помощью пневмоимпульсной продувки и предложена математическая модель в виде уравнения регрессии для оценки и прогнозирования такой регенерации. Условия регенерации в щелевом фильтре струйной продувкой существенно отличаются от рассмотренной в статье [8] импульсной регенерации в рукавном фильтре. Импульсная регенерация происходит периоди-

чески при отключенной подаче фильтруемого потока, за короткий промежуток времени и сразу всей поверхности перегородки. При струйной продувке процесс фильтрации не прекращается. Поэтому предложенную модель оценки регенерации при импульсной продувке нельзя использовать для щелевого фильтра.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования эффективности регенерации проводились с использованием щелевого фильтра. Его конструкция позволяла изменять скорости вращения продувочного сопла, расстояние отверстия продувочного сопла до фильтрующей перегородки. Перегородка имела шахматную намотку из проволоки диаметром 0,8 мм с числом слоев от 2 до 6. Расстояние между витками проволоки $h_{ш}$ составляло 50 и 150 мкм, а между слоями h_c в перегородке 150 и 180 мкм, которые обеспечивались соответствующим размером нитевидных прокладок. При исследовании измерялся расход воздуха на фильтрацию и на продувку, гидравлическое сопротивление чистой перегородки, перегородки с осадком и после регенерации. Для проведения экспериментов использовался воздух, запыленный песочной пылью, цементом, гипохлоритом кальция, мукой. Для них определялся медианный размер частиц d_{50} и аутогезионная прочность пылевого слоя. Для продувки использовался сжатый воздух давлением 0,2 МПа.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При регенерации щелевой перегородки путем непрерывной струйной продувки, на участок пылевого осадка действует ряд сил, представленных на рис. 1.

Удержание осадка на перегородке происходит под действием сил адгезии и давления потока. Адгезионные силы складываются из сил взаимодействия частиц с поверхностью (адгезия) и сил взаимодействия пылевых частиц между собой (аутогезия). Эти силы можно разложить на тангенциальную составляющую F_T , действующую вдоль поверхности фильтрования и на нормальную составляющую F_n , направленную перпендикулярно к поверхности. Так как разрушение пылевого слоя при регенерации происходит в основном по аутогезионным связям, будем считать эти силы аутогезионными. Сила давления потока складывается из силы сопротивления осадка и перегородки $F_{ДР}$ и силы давления фильтруемого потока F_{ω} .

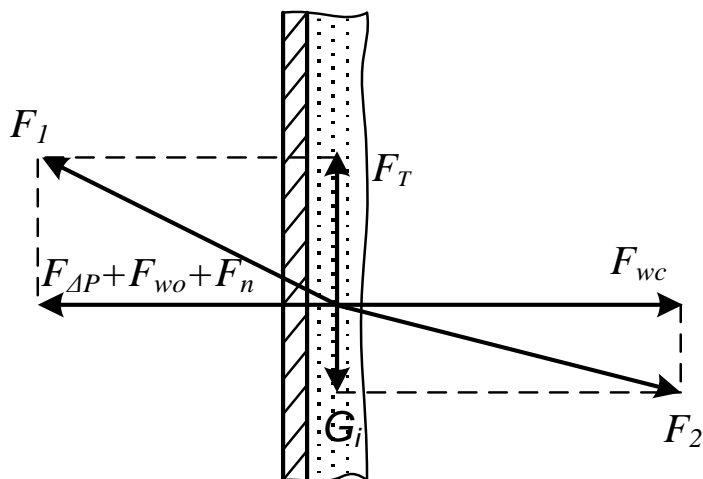


Рис. 1. Схема действия сил при регенерации

Fig. 1. Flow pattern of force in regeneration

Равнодействующую сил удерживающих осадок можно выразить зависимостью

$$F_1^2 = [F_T^2 + (F_{\Delta P} + F_{\omega_0} + F_n)^2]$$

Отрыв осадка происходит под действием силы инерции F_{wc} струи продувочного потока и силы тяжести (веса) G_i отрываемого пылевого осадка. Результирующая сила регенерации F_2 определяется зависимостью

$$F_2^2 = F_{wc}^2 + G_i^2$$

При продувке струя действует на поверхность, равную, как минимум, площади сечения продувочного сопла равную S_c . Для обеспечения отрыва элемента пылевого осадка от щелевой перегородки необходимо, чтобы сила F_2 была равна или больше силы F_1 . Тогда

$$F_{wc}^2 + G_i^2 \geq [F_T^2 + (F_{\Delta P} + F_{\omega_0} + F_n)^2]$$

В щелевом фильтре рекомендуемая скорость фильтрования W_0 составляет 0,05–0,1 м/с, поэтому сила давления F_{ω_0} фильтруемого потока, действующая на поверхность регенерации, равную S_c , составляет величину порядка 10^{-7} – 10^{-8} Н. Ввиду малого значения этой силы ей можно пренебречь, а уравнение баланса сил представить в следующем виде:

$$F_{wc}^2 + G_i^2 \geq [F_T^2 + (F_{\Delta P} + F_n)^2] \quad (1)$$

Выразим из этого уравнения силу инерции продувочной струи

$$F_{wc}^2 \geq [F_T^2 + (F_{\Delta P} + F_n)^2] - G_i^2$$

Расчеты показывают, что поверхности, на которые действуют тангенциальная и нормальная составляющие силы аутогезии практически можно принять равными. Представим силы аутогезии, сопротивления и давления, как произведение соответствующего давления на поверхность, равную площади сечения продувочного сопла:

$$\left(\frac{\rho_c \omega_c^2}{2} S_c \right)^2 \geq Pa^2 S_c^2 + [\Delta P S_c + Pa S_c]^2 - G_i^2$$

или

$$\left(\frac{\rho_c \omega_c^2}{2} S_c \right)^2 \geq Pa^2 S_c^2 + \Delta P^2 S_c^2 + 2\Delta P \times Pa S_c^2 + Pa^2 S_c^2 - G_i^2,$$

где ρ_c – плотность продувочной струи, кг/м³; ω_c – скорость струи, м/с; Pa – аутогезионная прочность пылевого слоя, Па; ΔP – гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки с осадком, Па.

После преобразования получим

$$\left(\frac{\rho_c \omega_c^2}{2} \right)^2 \geq 2Pa^2 + \Delta P^2 + 2\Delta P \times Pa - G_i^2 / S_c^2$$

или

$$\omega_c = \sqrt{\frac{2}{\rho_c} (2Pa^2 + \Delta P^2 + 2\Delta P \times Pa - G_i^2 / S_c^2)^{0,25}} \quad (2)$$

Полученное уравнение определяет минимальную скорость продувочной струи. Из уравнения (2) видно, что скорость струи зависит от ее давления, аутогезионной прочности пыли, гидравлического сопротивления фильтра и веса пылевого осадка. Уравнение показывает, что увеличение веса пылевого осадка облегчает его отрыв от перегородки.

Расчеты показали, что для отдувки осадка с аутогезионной прочностью 30 Па, при гидравлическом сопротивлении фильтрующей перегородки 560 Па, скорости фильтрования 0,1 м/с и продолжительности в течение 300 с, при очистке 2500 м³/ч воздуха с начальной концентрацией пыли 10 г/м³ потребуется скорость струи воздухом давлением 2 кгс/см² не менее 22,1 м/с. При этом основное влияние на величину скорости оказало гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки. Полученный результат хорошо согласуется с опытными данными.

Экспериментальные исследования показали, что расчетная минимальная скорость продувочной струи, полученная на основе равенства сил в соответствии с уравнением (2), не всегда позволяет осуществлять эффективную регенерацию фильтрующей перегородки. Рабочая скорость струи должна быть больше минимальной, но и чрезмерное увеличение скорости экономически не целесообразно, так эффективность регенерации возрастает при этом в меньшей степени, чем затраты на продувку. На основании этого рабочую скорость струи на выходе из сопла предложено рассчитывать по формуле

$$\omega_p = \alpha \omega_c, \quad (3)$$

где α – поправочный коэффициент, который рекомендуется принимать равный от 1,0 до 1,5.

В условиях равенства сил F_1 и F_2 , действующих на осадок при регенерации уравнение (1) представим в следующем виде:

$$G_i = [F_T^2 + (F_{\Delta P} + F_n)^2 - F_{\omega_c}^2]^{0,5}$$

Вес удаленных частиц при регенерации составляет $G_i = m_i g$. Разделим обе части полученного уравнения на вес осажденных частиц $G = mg$:

$$\frac{m_i}{m} = \frac{[F_T^2 + (F_{\Delta P} + F_n)^2 - F_{\omega_c}^2]^{0,5}}{mg},$$

где m_i – масса удаленных частиц с перегородки, кг; m – масса осажденных частиц при фильтровании, кг; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Отношение m_i/m определяет долю удаленного осадка и формально является коэффициентом регенерируемости:

$$K_p = \frac{[F_T^2 + (F_{\Delta P} + F_n)^2 - F_{\omega_c}^2]^{0,5}}{mg}.$$

Анализ этого уравнения показывает, что оно фактически характеризует эффективность удаления осадка при условиях, когда сила давления продувочного потока не превышает результирующую сил сопротивления, удерживающих осадок. Если сила давления потока превышает силу сопротивления, то уравнение теряет смысл. Сравнение результатов расчета K_p по этой зависимости для реальных условий показали существенное расхождение с опытными результатами. Таким образом, это уравнение, полученное на основе баланса сил при регенерации, не отражает всех факторов, влияющих на эффективность удаления осадка.

Эксперименты показали, что эффективность регенерации не зависит от гидравлического сопротивления фильтрующей перегородки и осадка. Установлено, что на эффективность удаления осадка в щелевом фильтре, кроме сил тяжести, адгезии и давления потока также влияют, структурные характеристики пористой перегородки, особенно, межщелевое расстояние между слоями и витками проволоки, толщина перегородки и продолжительность воздействия струи на осадок. Влияние структурных характеристик можно учесть долей живого сечения фильтрующей перегородки.

Выявлено, что изменение остаточного гидравлического сопротивления пылевого осадка от скорости струи продувочного воздуха и продолжительности ее воздействия происходит не линейно, а по экспоненциальной зависимости [9]. При этом наиболее существенное падение сопротивления происходит в начальный момент времени. Экспоненциальный характер изменения эффективности регенерации подтверждается работами и других авторов [4, 8]. На основе этого эффективность регенерации можно представить в виде следующей экспоненциальной зависимости

$$K_p = 1 - e^{-\eta_p}, \quad (4)$$

где η_p – показатель остаточного сопротивления осадка; $e^{-\eta_p} = \Delta P_{\kappa} / \Delta P_n$.

Установлено также, что на осадок действует не вся продувочная струя, выходящая из сопла, а только ее часть, которая прошла через каналы перегородки. При этом часть динамического напора струи тратится на преодоление сопротивления перегородки. На основа-

Эффективность регенерации щелевого фильтра

нии этого скорость струи воздействующей на осадок, названная эффективной скоростью продувки, предложено рассчитывать, как долю рабочей скорости продувочной струи, определяемой живым сечением фильтрующей перегородки по формуле

$$\omega_{эф} = \omega_p \psi, \quad (5)$$

где ψ – доля живого сечения перегородки.

При регенерации продувочная струя должна преодолевать давление потока, фильтруемого со скоростью W_o . Скорость фильтрации влияет на формирование и уплотнение осадка, что тоже сказывается на эффективности регенерации. Предложено влияние силы инерции очищаемого потока учитывать отношением рабочей скорости продувочной струи к скорости фильтрации.

Влияние выявленных факторов, пренебрегая действием на осадок силы тяжести, показатель остаточного сопротивления можно выразить зависимостью от следующих переменных

$$\eta_p = f(\omega_{эф}, \rho_c, W_o, Pa, T_p, T),$$

где T_p – продолжительность цикла регенерации; T – продолжительность цикла фильтрации.

На основе π-теоремы, учитывая, что число переменных в функциональной зависимости равно 7, которые включают три размерности, эту зависимость можно выразить с помощью четырех безразмерных комплексов

$$\eta_p = f\left(\frac{\rho_c \omega_{эф}^2}{Pa}, \frac{T_p}{T}, \frac{\omega_{эф}}{W_o}\right), \quad (6)$$

где $\rho_c \omega_{эф}^2 / Pa$ – комплекс, который характеризует соотношение сил инерции продувочной струи и аутогезии в пылевом слое; T_p/T – симплекс подобия, учитывающий влияние длительности продувки; $\omega_{эф}/W_o$ – симплекс учитывающий влияние фильтруемого потока на эффективность регенерации.

Эффективная скорость струи $\omega_{эф}$, воздействующей на осадок, определяется уравнением (5). Представим зависимость (6) в степенном виде:

$$\eta_p = A \left[\frac{\rho_c \omega_{эф}^2}{Pa} \right]^a \left(\frac{T_p}{T} \right)^b \left(\frac{\omega_{эф}}{W_o} \right)^c.$$

Используя результаты экспериментальных исследований, найдены значения показателей степеней и коэффициента А. Окончательно показатель остаточного сопротивления предложено рассчитывать по уравнению

$$\eta_p = 0,25 \left[\frac{\rho_c \omega_{эф}^2}{Pa} \right]^{0,2} \left(\frac{T_p}{T} \right)^{0,3} \left(\frac{\omega_{эф}}{W_o} \right)^{0,6}. \quad (7)$$

Некоторые характерные сравнительные результаты опытных и расчетных по уравнению (7) данных, при коэффициенте $\alpha = 1$, представлены в таблице.

Эффективность регенерации щелевой перегородки

The efficiency of regeneration of slot partition

ω_c , м/с	ψ , м ² /м ²	Pa, Па	T _p , с	T, с	K _p , %	
					опытный	расчетный
Песок						
26	0,110	60	120	120	81	75,7
36	0,063	60	160	160	76	67,4
36	0,168	80	80	80	97	94,0
Цемент						
36	0,063	250	110	110	50	53,9
36	0,168	250	260	260	82	87,3
54	0,168	250	140	140	94	95,5
54	0,168	250	140	280	89	91,9
Гипохлорит кальция						
36	0,063	35	135	135	82	71,3
36	0,090	35	180	180	90	83,2
Мука						
36	0,168	110	90	90	94	92,9
36	0,168	110	30	90	87	85,1

Эти данные показывают, что предложенная зависимость вполне удовлетворительно отражает условия регенерации. Различные значения живого сечения обеспечивались прокладками между витками и диаметром проволоки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя результаты проведенных исследований, предложено, для расчета гидравлического сопротивления щелевого фильтра использовать зависимость, учитывающую сопротивление чистой фильтрующей перегородки

ки $\Delta P_{\text{ч}}$ [10], сопротивление пылевого осадка $\Delta P_{\text{ос}}$ [11] и повышение сопротивления чистой щелевой перегородки после регенерации с помощью коэффициента регенерируемости K_p :

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ч}} + \Delta P_{\text{ос}}(1 - K_p) + \Delta P_{\text{ос}}$$

Коэффициент регенерируемости K_p в нем рекомендуется рассчитывать по уравнениям (4–7), а рабочую скорость на выходе из сопла по формуле (3). Эта методика применима как для непрерывной, так и для периодической регенерации щелевого фильтра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trevor S., George C. *Filters and Filtration Handbook*. (Sixth Edition). Philadelphia: Elsevier Ltd, 2015. 444 p.
2. Coulson J.M., Richardson J.F. *Chemical engineering Vol. 2 «Particle Technology and Separation Processes»*. Oxford.: Butterworth-Heinemann, 2002. 1183 p.
3. Тимонин А.С. *Инженерно-экологический справочник*. Т.1. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой. 2003. 917 с.
4. Самохвалов Н.М. Регенерация фильтровальных насыпных слоев // *Ползуновский Вестник*. 2006. N 2-1. С. 389–391.
5. Haixia Li, Joohong Choi, Bin Li, Ire Kim, Jungwon Heo Numerical analysis on the gas flow dynamics from a rectangular slot-nozzle for pulse-cleaning of filter unit // *Powder Technology*. 2016. V. 297, N 9. P. 330–339.
6. Окладников В.П., Дошлов О.И., Коновалов Н.П. *Адгезия и адгезивы. Теория адгезии, свойства и характеристики органических адгезивов, их модификация: монография*. В 2-х т.: Т. 1. Иркутск, 1998. 273 с.
7. Пат. 156669 Российская Федерация, МПКВ01D46/40. Фильтр для очистки газа от пыли / Н.М. Самохвалов, В.В. Виноградов,
- Ю.А. Зыкова; заявитель и патентообладатель «Иркутский национальный исследовательский технический университет». N 2015111410/05; заявл. 30.03.2015; опубл. 10.11.2015. Бюл. N 31. 2 с.
8. Панов С.Ю., Белых О.М., Зинковский А.В., Момотов В.С. Особенности процесса регенерации фильтровальных перегородок // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2015. N 1. С. 175–179.
9. Зыкова Ю.А., Самохвалов Н.М., Виноградов В.В. Регенерация щелевой фильтрующей перегородки // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2017. Т. 7, N 1. С. 163–169.
10. Виноградов В.В., Зыкова Ю.А., Самохвалов Н.М. Влияние структуры щелевого фильтра на гидравлическое сопротивление // *Известия РАН. Механика жидкости и газа*. 2015. N 4. С. 3–10.
11. Зыкова Ю.А., Самохвалов Н.М., Виноградов В.В. Сопротивление пылевого осадка в щелевом фильтре // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327. N 4. С. 88–96.

REFERENCES

1. Trevor S., George C. *Filters and Filtration Handbook* (Sixth Edition). Philadelphia: Elsevier Ltd., 2015, 444 p.
2. Coulson J.M., Richardson J.F. *Chemical engineering*. Vol. 2. Particle Technology and Separation Processes. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002, 1183 p.
3. Timonin A.S. *Inzhenerno-ekologicheskii spravochnik* [The handbook on engineering and ecology]. Vol.1. Kaluga: Izdatel'stvo N. Bochkarevoi Publ., 2003, 917 p.
4. Samokhvalov N.M. Regeneration of bulk filter layers. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky Vestnik]. 2006, no. 2–1, pp. 389–391. (in Russian)
5. Haixia Li, Joohong Choi, Bin Li, Ire Kim, Jungwon Heo. Numerical analysis on the gas flow dynamics from a rectangular slot-nozzle for pulse-cleaning of filter unit. *Powder Technology*. 2016, vol. 297, no. 9, pp. 330–339.
6. Okladnikov V.P., Doshlov O.I., Konovalov N.P. *Adgeziya i adgezivy. Teoriya adgezii, svoystva i kharakteristiki organicheskikh adgezivov, ikh modifikatsiya* [Adhesion and adhesives. Adhesion theory, the properties and characteristics of organic adhesives, their modification]. Vol. 1. Irkutsk: ISTU Publ., 1998, 273 p.
7. Samokhvalov N.M. [et al.] Fil'tr dlya ochistki gaza ot pyli [Filter for cleaning gas from dust]. Patent RF, no. 156669, 2015.
8. Panov S.Yu., Belykh O.M., Zinkovskii A.V., Momotov V.S. Features of the regeneration process of filter partitions. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Proceedings of the Voronezh State

University of Engineering Technologies]. 2015, no. 1, pp. 175–179. (in Russian)

9. Zykova Y.A., Samokhvalov N.M., Vinogradov V.V. Regeneration slotted filter septum. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2017, vol. 7, no. 1, pp. 161–167. (in Russian)

10. Vinogradov V.V., Zykova Y.A., Samokhvalov N.M. Effect of the slot filter structure on the

hydraulic resistance. *Mekhanika zhydkosti i gaza* [Fluid Dynamics]. 2015, vol. 50, no. 4, pp. 463–470. (in Russian)

11. Zykova Y.A., Samokhvalov N.M., Vinogradov V.V. Resistance to dust sediment filter in the slot. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]. 2016, vol. 327, no. 4, pp. 88–96. (in Russian)

Критерии авторства

Зыкова Ю.А., Самохвалов Н.М., Виноградов В.В. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Зыкова Ю.А., Самохвалов Н.М., Виноградов В.В. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Юлия А. Зыкова

Иркутский национальный исследовательский технический университет
Ст. преподаватель
ulya2279@mail.ru

Николай М. Самохвалов

Иркутский национальный исследовательский технический университет
К.т.н., профессор,
htnv@istu.edu.

Владимир В. Виноградов

Иркутский национальный исследовательский технический университет
Аспирант
vvv158@mail.ru.

Поступила 15.05.2017

Contribution

Zykova Y.A., Samokhvalov N.M., Vinogradov V.V. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Zykova Y.A., Samokhvalov N.M., Vinogradov V.V. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

AUTHORS' INDEX

Affiliations

Yulia A. Zykova

Irkutsk National Research Technical University
Senior Teacher
ulya2279@mail.ru

Nikolai M. Samokhvalov

Irkutsk National Research Technical University
Ph.D. (Engineering),
Professor
htnv@istu.edu

Vladimir V. Vinogradov

Irkutsk National Research Technical University
Postgraduate Student
vvv158@mail.ru

Received 15 May 2017