

Очистка аспирационных пылегазовых потоков при производстве полиэтилена фильтром из гранулированного полиэтилена

Е.В. Романюк, доцент, канд. техн. наук,

М.А. Пинаев, курсант,

Д.В. Каргашилов, начальник кафедры, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России

e-mail: scercso@mail.ru

Ключевые слова:

фильтр,
пылеуловитель,
пыль,
полиэтилен,
сушка.

В статье рассматривается замкнутая система очистки воздуха от пыли после операции сушки в производстве полиэтилена под давлением. В качестве фильтрующего материала в двухслойном фильтре с несвязанной структурой используется гранулированный полиэтилен, что позволяет вернуть его после использования в производство. Приведена схема разработанного двухслойного фильтра с системой регенерации. Выведены уравнения регрессии, позволяющие прогнозировать эффективность пылеулавливания для представленной конструкции.

1. Введение

Горячая пыль часто становится причиной взрывов при выполнении технологических операций, связанных с механической обработкой (дроблением, измельчением), сушкой, транспортировкой и хранением большинства органических и целого ряда неорганических материалов. Конкретнее с проблемой образования и обращения большого количества взрывопожароопасной пыли сталкиваются на пищевых производствах (сахарных заводах, мукомольных комбинатах, табачных и чайных фабриках), при добыче каменного угля и в химическом производстве, на деревообрабатывающих и текстильных производствах, в производстве алюминиевых деталей. Для этих производств обязательным требованием является оснащение системами аспирации как с точки зрения охраны труда и экологии, так и с точки зрения взрывопожаробезопасности, часто именно в системе аспирации создаются условия для возникновения и развития взрывов и пожаров. Поэтому правильная организация и эксплуатирование систем аспирации и вентиляции является важным фактором безопасности производства.

2. Система аспирации и очистки

В производстве полиэтилена одна из пожароопасных операций — сушка полиэтилена, связанная с выделением паров метилового спирта и пыли полиэтилена, которые концентрируются в последующих аппаратах и трубопроводах. Источником зажигания могут стать искры при разрядах статического электричества, возникающего при движении частиц полимера.

Высокодисперсные частицы полиэтилена легко переходят во взвешенное состояние и в смеси с воздухом образуют взрывоопасные концентрации. Нижний концентрационный предел распространения пламени пыли полиэтилена 12–14 г/м³ — такая концентрация легко достигается в системах аспирации и пневмотранспорта, а при нерациональном проектировании может быть достигнута в производственном помещении. Поэтому в соответствии с Федеральным законом № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1], правилами пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности

[2], а также нормами экологической безопасности сушилки полиэтилена следует оснащать системами аспирации, позволяющими снизить концентрацию горючей пыли в среде окислителя (воздуха) и удалить горючие вещества из помещения [1].

Для этого была разработана система аспирации с использованием двухслойного фильтра с несвязанным слоем пористого материала [3], позволяющая в качестве фильтровального материала использовать гранулированный полиэтилен (рис. 1). Гранулированный полиэтилен по ряду характеристик может выступать фильтрующим материалом и возвращаться в производство в качестве сырья.

Запыленный поток из сушилки 1 по трубопроводу 3 поступает в фильтр 4, проходит в нем поэтапно грубую и тонкую очистку и через трубопровод, соединенный с вентилятором 5, выходит в атмосферу. Постепенно фильтровальный материал пылеуловителя 4 забивается пылью и требует смены или регенерации, поэтому специальное устройство открывает фильтровальные кассеты и ссыпает отработанный материал, откуда он по закрытому шнековому транспортеру 6 перемещается в сушилку 1 на высушивание. Бункер-накопитель пополняется гранулированным материалом из сушилки по транспортеру 8. Для восстановления фильтрующего слоя гранулы высушенного материала из бункера-накопителя 7 поступают по транспортеру 9 в сепаратор 2 для разделения по фракциям. Из сепаратора гранулы нового слоя поступают по транспортеру 10 в фильтр. Слои опять готовы к работе с загрязненным потоком.

Использование в качестве фильтрующего слоя гранул полиэтилена позволяет сделать технологию очистки от пыли и органических веществ замкнутой и утилизировать фильтровальный материал. Перемещение гранул дает возможность избежать дополнительного устройства для накопления осадка и отработанного фильтра, избежать слеживания материала. Шнековый транспортер блокирует пути распространения пламени при возникновении пожара. Такой процесс становится возможным благодаря специальной конструкции двухслойного фильтра с несвязанной структурой зернистого слоя, схема которого представлена на рис. 2.

3. Экспериментальное исследование

Для реализации на практике представленной замкнутой схемы и эффективного процесса пылеулавливания и очистки воздуха потребовалось провести экспериментальные исследования. Эффективность устройства зависит от многих факторов, степень влияния которых различна. Для определения параметров, вносящих наиболее весомый вклад, было проведено их априорное ранжирование [4]. При рассмотрении факторов принимались во внимание характеристики фильтровальных слоев [4] и не учитывались параметры перфорированных перегородок и металлических сеток в самой фильтровальной кассете. Результаты априорного ранжирования представлены в виде гистограммы рангов в размерных величинах (рис. 3а) и безразмерных критериях (рис. 3б).

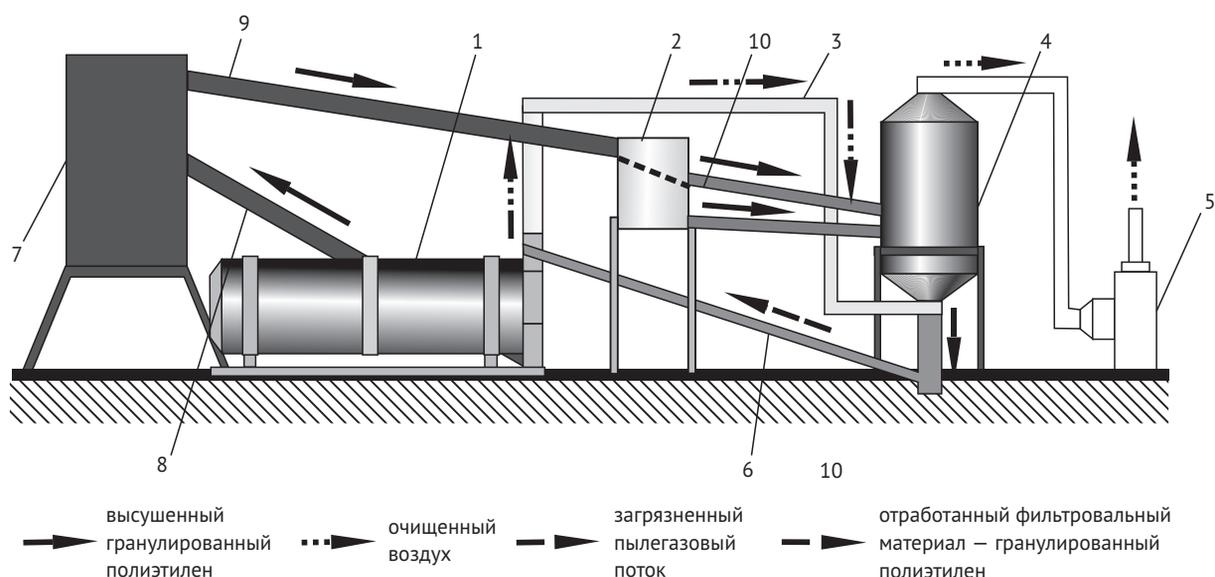


Рис. 1. Схема работы аспирационной системы:

1 – сушилка; 2 – сепаратор гранул; 3 – трубопровод – вход запыленного воздуха в фильтр; 4 – двухслойный фильтр; 5 – вентилятор; 6, 8, 9, 10 – закрытые шнековые транспортеры; 7 – бункер-накопитель

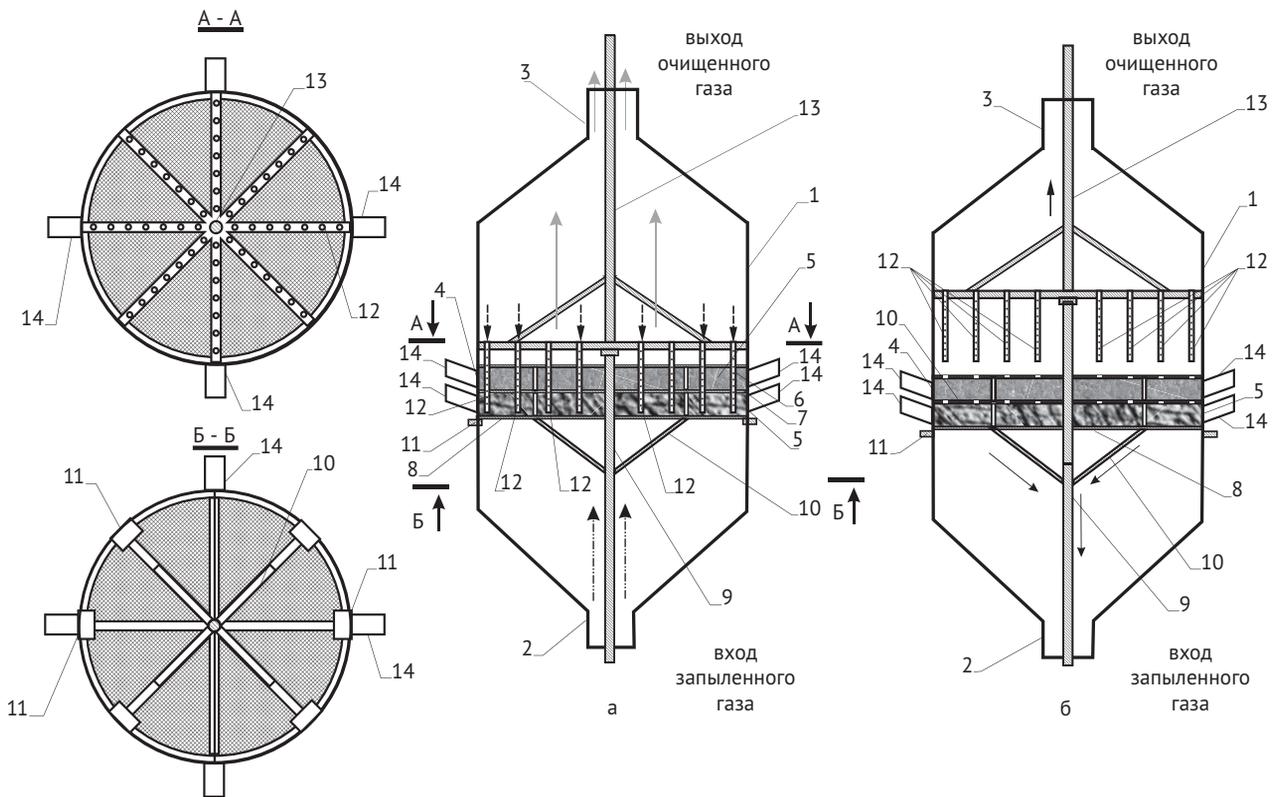


Рис. 2. Схема насыпного комбинированного фильтра:
а – режим фильтрации; б – начальный этап режима регенерации фильтров (подъем верхней стенки с продувочными каналами):
1 – корпус; 2 – вход запыленного воздуха; 3 – выход очищенного воздуха; 4 – фильтровальная кассета; 5 – фильтровальный слой грубой очистки; 6 – фильтровальный слой тонкой очистки; 7 – разделительная сетка между слоями; 8 – перфорированное дно; 9 – вал, удерживающий фильтровальную кассету; 10 – подвижные опоры дна фильтровальной кассеты; 11 – полки, удерживающие фильтровальную кассету; 12 – перфорированные продувочные трубки; 13 – тяга для поднятия продувочных трубок; 14 – патрубки для засыпки нового фильтрующего материала

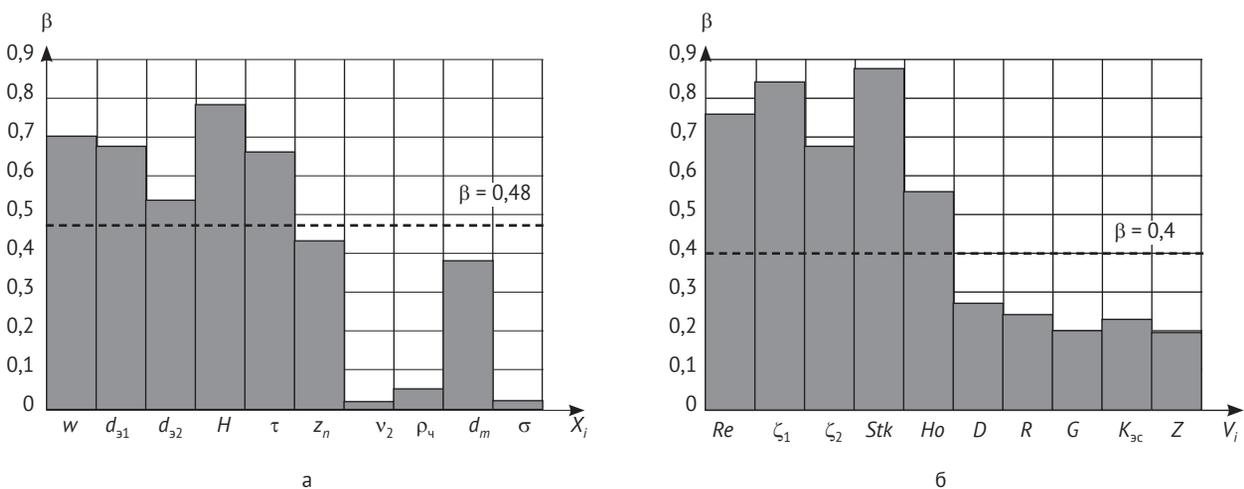


Рис. 3. Гистограмма рангов для комбинированного фильтровального элемента с несвязанной структурой слоя:
а – размерных величин; б – безразмерных комплексов

На гистограмме 3а w — скорость пылегазового потока, м/с; H — общая (состоящая из двух слоев равной высоты) высота фильтра, м; d_{31} — диаметр эквивалентный пространства слоя грубой очистки, м; d_{32} — диаметр эквивалентный пространства слоя тонкой очистки, м; τ — продолжительность фильтрования, с; z_n — начальная концентрация пыли в пылегазовом потоке, кг/м³; ν — кинематическая вязкость, м²/с; ρ_q — плотность частиц пыли, кг/м³; \bar{d}_m — средний медианный диаметр, м; σ — среднеквадратическое отклонение среднего медианного диаметра частиц пыли.

На гистограмме 3б безразмерных гидродинамических комплексов число Рейнольдса представляет собой выражение

$$Re = 0,45wd_3/(1 - \varepsilon)\varepsilon^{0,5}\nu,$$

где: ε — пористость зернистого слоя, м³/м³; d_3 — средний для двух слоев диаметр эквивалентный пространства, м.

Коэффициент гидравлического сопротивления ζ :

$$\zeta = K\lambda H/d_3,$$

где: λ — коэффициент сопротивления трения; K — коэффициент проскока.

Инерционный параметр Стокса

$$Stk = d_q^2\rho_q wC/18\mu_r d_3\varepsilon,$$

где: d_q — диаметр частиц пыли, м; C — поправка Кенингема–Милликена, учитывающая повышение подвижности частиц, размер которых сравним или меньше средней длины свободного пробега газовых молекул; ρ_r — плотность газа (воздуха), кг/м³; d_3 — усредненный диаметр частиц зерна слоев, м; μ — динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Критерий гомохронности — $Ho = w\tau/d_3$. Диффузионный параметр (число Пекле)

$$D = D/wd_3,$$

где D — коэффициент диффузии.

Параметр механизма касания равен $R = d_q/d_3$; седиментационный параметр — $G = Stk/Fr$, где Fr — критерий Фруда.

Параметр электростатических сил

$$K_{эд} = E_0 q/3\pi d_q w\mu,$$

где: E_0 — напряженность электрического поля, Н/Кл; q — заряд частицы пыли, Кл.

Концентрационный параметр пылегазового потока

$$z = z_n/\rho_q,$$

где z_n — начальная концентрация пыли в пылегазовом потоке, кг/м³.

Проведенное априорное ранжирование позволило исключить факторы, незначительно влияющие на процесс фильтрования, и составить для насыпного комбинированного фильтра, состоящего из двух слоев полимерных гранул, зависимость коэффициента проскока от исследуемых параметров в виде

$$K = f(H, w, d_{31}, d_{32}, \tau).$$

Коэффициент проскока рассчитывается как

$$K = 1 - \Theta$$

(Θ — эффективность пылеулавливания), и используется при малоразличимых значениях эффективности.

Полученное уравнение регрессии для процесса фильтрования пылегазового потока с полидисперсным твердым аэрозолем со следующими параметрами $z_n = 3 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, $\bar{d}_m = 10 \cdot 10^{-6}$ м; $\sigma = 0,2$ для определения общего коэффициента проскока после проверки модели на адекватность имеет вид

$$\ln K^{-1} = 1,28 - 0,09x_1 - 0,07x_2 - 0,038x_3 - 0,024x_4 + 0,03x_5. \quad (1)$$

В представленном уравнении (1) x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 соответствуют параметрам $H, w, d_{31}, d_{32}, \tau$, как и в следующих уравнениях регрессии.

Полученное уравнение регрессии для определения эффективности фильтра по отношению к частицам размером менее 2 мкм имеет вид

$$\ln K_{<2\text{мкм}}^{-1} = 6,675 + 0,625x_1 - 0,65x_2 + 2,75x_3 + 2,13x_4 - 0,35x_5. \quad (2)$$

Серии опытов были проведены для определения коэффициента проскока для фракции пыли от 2 до 5 мкм — уравнение (3) и для фракции пыли 7–10 мкм — уравнение (4):

$$\ln K_{2-5\text{мкм}}^{-1} = 5,89 + 0,063x_1 + 0,063x_2 + 0,19x_3 + 0,15x_4 - 0,11x_5, \quad (3)$$

$$\ln K_{7-10\text{мкм}}^{-1} = 5,02 + 0,13x_1 - 0,061x_2 + 0,029x_3 + 0,015x_4 - 0,7x_5. \quad (4)$$

Представленные уравнения регрессии позволяют прогнозировать эффективность работы фильтра в достаточно широком диапазоне параметров как фильтровальных структур, так и пылегазового потока [5].

4. Заключение

Представленная система очистки аспирационного пылегазового потока позволяет обеспечить стабильный высокоэффективный и пожаровзрывобезопасный режим работы системы аспирации. Замкнутый

цикл позволяет предотвратить выход горючего вещества при погрузке и выгрузке, изолировать поток с высоким содержанием взрывоопасного вещества. Шнековые транспортеры выполняют роль пламяпреградителей в системе пневмотранспорта. Эксплуатация фильтра в соответствии с установленным технологическим режимом позволяет поддерживать необходимый уровень очистки воздуха и решить вопрос утилизации отработанного фильтровального материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. — М.: Проспект, 2014. — 112 с.
2. Правила пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности ВНЭ 5–79. — М.: Химия, 1981.
3. Комбинированные фильтровальные перегородки для очистки пылегазовых потоков в производстве огнеупоров / Е.В. Романюк, Ю.В. Красовицкий, А.А. Смирных,

И.А. Чугунова // Новые огнеупоры. — 2014. — № 7. — С. 57–61.

4. Обеспыливание газов зернистыми слоями / Ю.В. Красовицкий, В.В. Дуров. — М.: Химия, 1991. — 192 с.
5. Совершенствование систем аспирации с использованием комбинированных фильтровальных структур: монография / Е.В. Романюк, Н.В. Пигловский, Ю.В. Красовицкий, Д.В. Каргашилов. — Воронеж, 2015. — 201 с.

REFERENCES

1. Tekhnicheskiiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti [Technical Regulations on fire safety requirements]. Moscow, Prospekt Publ., 2014. 112 p.
2. Pravila pozharnoy bezopasnosti pri ekspluatatsii predpriyatiiy khimicheskoy promyshlennosti VNE5–79 [Fire safety regulations in the operation of the chemical industry VNE5–79]. Moscow, Khimiya Publ., 1981.
3. Romanyuk E.V., Krasovitskiy Yu.V., Smirnykh A.A., Chugunova I.A. Kombinirovannyye fil'troval'nyye peregorodki dlya ochistki pylegazovykh potokov v proizvodstve ogneuporov [Combined peregorodki

filter for cleaning dust and gas streams in proizvodstve refractory]. Novye ogneupory [New refractories]. 2014, I, 7, pp. 57–61.

4. Krasovitskiy Yu.V., Durov V.V. Obespylivanie gazov zernistymi sloyami [De-dusting granular layers of gas]. Moscow, Khimiya Publ., 1991. 192 p.
5. Romanyuk E.V., Piglovskiy N.V., Krasovitskiy Yu.V., Kargashilov D.V. Sovershenstvovanie sistem aspiratsii s ispol'zovaniem kombinirovannykh fil'troval'nykh struktur [Improvement of aspiration systems using combined filtering structures]. Voronezh, 2015. 201 p.

The Use of Filter Layers with a Disjointed Structure for Cleaning of Dust and Gas Flaws in Industries with Combustible Dust

E.V. Romanyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Voronezh Institute of State Fire-Fighting Service Ministry of Emergency Situations of Russia

M.A. Pinaev, Student, Voronezh Institute of State Fire-Fighting Service Ministry of Emergency Situations of Russia

D.V. Kargashilov, Candidate of Technical Sciences, Head of Department, Voronezh Institute of State Fire-Fighting Service Ministry of Emergency Situations of Russia

The article considers the closed dust gas cleaning system after drying in the production of polyethylene under pressure. Pellets of polyethylene are used as a filter material in double layer filter and it allows to return filter materials as a raw in production. The developed scheme of double layer filter with a regeneration system is presented in the article. The authors propose regression equations allowing to predict the efficiency of dust collection for the present design.

Keywords: filter, dust collector, dust, polyethylene, drying.