

И. Х. Мингазетдинов, И. Г. Григорьева, С. А. Мальцева,
Ю. А. Тунакова

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ОТ ПОЛИМЕРНОЙ ПЫЛИ

Ключевые слова: вентиляция, фильтрация, регенерация.

Предложено фильтровальное устройство для пылеулавливания с использованием тканевого фильтроэлемента, обеспечивающего непрерывную регенерацию ткани. Отличительной особенностью предложенного устройства является соединение фильтровальной ткани в замкнутое кольцо в виде ленты Мебиуса, которое перемещается по системе роликов от внешнего привода и при движении проходит зоны регенерации. Рассмотрен методический подход к проектированию и расчету систем вентиляции. Отмечена возможность использования фильтровального устройства как в общей вытяжной системе вентиляции, так и в местных вытяжных вентиляционных устройствах для организации локальных средств очистки.

Key words: ventilation, filtration, regeneration.

A filtration device offers for catching of dust with the use of tissue filtration element providing the continuous regeneration of fabric. The distinctive feature of an offer device is connection of filter-mass in the reserved ring as a ribbon of Moebius, that moves by system of rollers from an external drive and at motion passes the zone of regeneration. The methodical going is considered near planning and calculation of the systems of ventilation. Possibility of the use of filtration device is marked both in the general drawing system of ventilation and in local drawing vent devices for organization of local facilities of cleaning.

С экономической и экологической точек зрения наиболее предпочтительными способами утилизации вторичного полимерного сырья представляется повторное использование и переработка в новые виды материалов и изделий. Стадия измельчения отходов является практически обязательной при переработке отходов, что отмечалось ранее [1,2], и характеризуется значительными выделениями полимерной пыли, например, при измельчении отходов из пластмасс выделяются пыли полипропилена, полиамида, полистирола, полиэтилена, полиэтилентерефталата и др. На данном технологическом этапе необходима очистка воздуха производственных помещений от полимерной пыли.

В качестве пылеуловителей в таких производствах используют фильтры каркасного типа [3], в которых фильтроэлементом являются различные волокнистые материалы, которые, обеспечивая качественную очистку, обладают существенным недостатком – ограниченным сроком службы из-за быстрого засорения ячеек и образования слоя осадка на входной поверхности. Вследствие этого требуется частая смена фильтрующих элементов или их периодическая регенерация. В типовых аппаратах промышленных фильтров для регенерации используется механическое встряхивание. Узел встряхивания является сложным механизмом с наличием подвижных элементов, которые изнашиваются в процессе работы, заклинивают, выходят из строя.

Указанные недостатки, в некоторой мере, нивелируются при использовании рулонных фильтров [4]. Рулонные фильтры могут быть в различных модификациях (рис. 1 а,б).

Фильтроэлементом в таких устройствах являются ткани, которые устанавливаются на подающем и приемном барабанах. Перематка

фильтровальной ткани осуществляется периодически, автоматически или вручную, при достижении определенного максимально допустимого перепада давлений на фильтрующей перегородке (обычно в 2-3 раза превышающего начальное давление). Использование компактных фильтров позволяет значительно увеличить площадь фильтрации и снизить удельную нагрузку загрязнителя на фильтрующую поверхность. После полной перематки фильтровального полотна оно не регенерируется, а подлежит сожжению или захоронению.

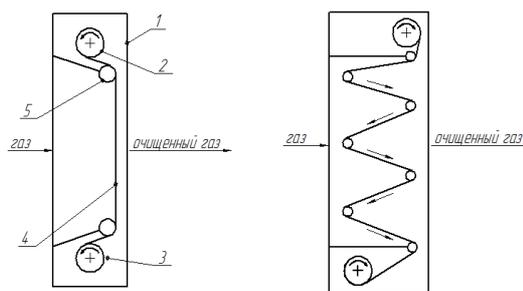


Рис. 1 - Рулонные фильтры обычного типа (а) и компактные (б)

Разработанное фильтровальное устройство для пылеулавливания с использованием тканевого фильтроэлемента обеспечивает непрерывную регенерацию ткани [5, 6]. Отличительной особенностью предложенного устройства является соединение фильтровальной ткани в замкнутое кольцо в виде ленты Мебиуса, которая перемещается по системе роликов от внешнего привода и при движении проходит зону регенерации.

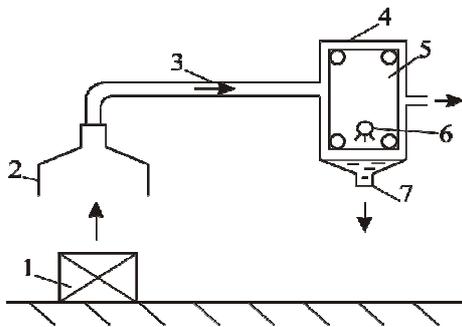


Рис. 2 - Устройство пылеулавливания с непрерывной регенерацией тканевого фильтроэлемента: 1 – источник выделения загрязняющих веществ; 2 – заборные устройства (зонты, вытяжная панель, бортовой отсос и др.); 3 – воздуховод; 4 – пылеулавливатель; 5 – рулонный фильтроэлемент; 6 – форсунка подачи регенерирующей жидкости; 7 – слив жидкости

Регенерация может быть гидравлической или пневматической. Большим достоинством такой схемы является непрерывная качественная регенерация ткани (рис. 3). В реальных условиях нагрузка на тканевый фильтроэлемент приходится в основном на наружные слои по отношению к всасываемому потоку загрязненного воздуха.

В случае оформления фильтровальной ткани в виде ленты Мебиуса в процесс фильтрации включается вся толщина ткани δ и эффективность очистки возрастает. В дополнение к этому при пневматической или гидродинамической регенерации за счет этого же фактора повышается эффективность очистки ткани.

Разработанное устройство может быть использовано как в общей вытяжной системе вентиляции так и в местных вытяжных вентиляционных устройствах для организации локальных средств очистки.

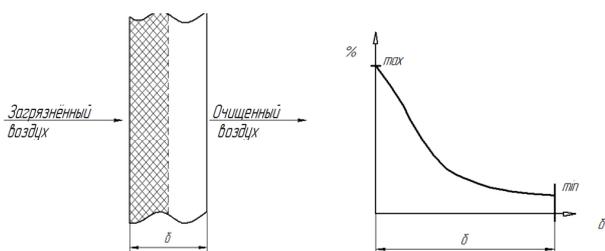


Рис. 3 - Изменение концентрации пылевой фракции по толщине ткани δ в конце цикла очистки

Проектирование и расчет систем вентиляции сводится к определению потерь в воздуховодах при данном расходе воздуха и последующем выбор типа вентилятора. Суммарные потери давления в воздуховодах определяются по соотношению:

$$\Delta P = Rl + \sum_{i=1}^m Z_i \quad (1)$$

Первое слагаемое Rl характеризует потери давления на трение, где R – потери давления на трение на расчетном участке вентиляционной сети на единицу длины; l – длина воздуховода.

Значение R определяется уравнением Дарси – Вейсбаха:

$$R = \frac{\lambda}{d_y} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

где λ – коэффициент сопротивления трению; d_y – эквивалентный диаметр воздуховода; ρ – плотность воздуха; v – скорость движения воздуха в воздуховоде.

Значение λ зависит от режима течения среды и для средних значения скоростей ($v \approx 7-9$ м/с) можно использовать формулу Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (3)$$

Второе слагаемое в соотношении (1) характеризует сумму потерь давления в местных сопротивлениях (повороты, тройники, сужения, расширения и др.), которые определяются из справочников. Основную долю местных потерь составляет потери давления на ткани, на которой реализуется процесс фильтрации. Для оценки потерь давления на фильтроэлементе примем, что перепад давления на ткани $\Delta P = P_1 - P_2$ будет переменным, изменяющимся от некоторого значения $\Delta P_{нач}$ (рис. 4) до допустимого значения $\Delta P_{доп}$, где P_1 – давление воздуха перед фильтровальной тканью, P_2 – давление воздуха после фильтровальной ткани, $\tau_{пред}$ – предельное время достижения сопротивления на ткани $\Delta P_{доп}$. Значения $\Delta P_{нач}$ и $\Delta P_{доп}$ и характер экспоненциальной кривой зависят от вида и плотности ткани ($R_{ф.тк.}$) и мощностью системы вентиляции. В любом случае, должно выполняться условие

$$\tau_p \leq \tau_{пред} \quad (4)$$

т.е. время пребывания ленты в зоне очистки не должно быть больше предельного значения. Выполнение этого условия должно обеспечиваться выбором скорости движения ленты v_l и длины рабочей части ткани l_p исходя из соотношения:

$$\tau_p = \frac{l_p}{v_l} \quad (5)$$

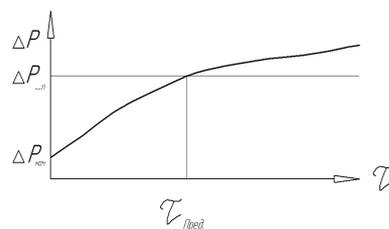


Рис. 4 - Изменение перепада давления на ленте во времени

Технологические параметры для предложенной схемы можно получить из следующих соотношений. Основное уравнение фильтрации [7] приводится в следующем виде:

$$v_{\phi} = \frac{dG_{\phi}}{F_{\phi} \cdot d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{\phi} + R_{oc})} \quad (6)$$

где v_{ϕ} – скорость фильтрации; F_{ϕ} – площадь фильтрования; $R_{\phi, тк}$, R_{oc} – сопротивление фильтровальной ткани и слоя осадка; μ – динамическая вязкость среды; G_{ϕ} – объем фильтрата.

В соотношении (6) сопротивление на фильтроэлементе представлено в раздельном виде: R_{ϕ} – сопротивление фильтровальной ткани, которое можно считать постоянной. Это будет справедливо, если размеры пор ткани значительно меньше среднего размера пылевой фракции. R_{oc} – сопротивление осадка будет величиной переменной из-за увеличения величины осадка.

$$R_{oc} = r_{oc} \delta_{oc} = r_{oc} X_{oc} G_{\phi} / F_{\phi} \quad (7)$$

где r_{oc} – удельное сопротивление осадка; δ_{oc} – толщина слоя осадка; X_{oc} – отношение объема осадка к объему фильтрата. Считая осадок несжимаемым ($r_{oc} = const$) и рассматривая процесс фильтрации при постоянном перепаде давлений – $\Delta P = const$, можно уравнение (6) записать в виде:

$$\frac{dG_{\phi}}{F_{\phi} \cdot d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu \left(R_{\phi} + r_{oc} \cdot X_{oc} \cdot \frac{G_{\phi}}{F_{\phi}} \right)} \quad (8)$$

Результат интегрирования (8) при $\Delta P = const$ в пределах от 0 до G_{ϕ} и от 0 до τ :

$$G_{\phi}^2 + 2 \frac{R_{\phi} \cdot F_{\phi}}{r_{oc} \cdot X_{oc}} \cdot G_{\phi} = 2 \frac{\Delta P \cdot F_{\phi}^2}{\mu \cdot r_{oc} \cdot X_{oc}} \tau \quad (9)$$

или $G_{\phi}^2 + 2 C G_{\phi} = K \tau$ (10)
где C и K коэффициенты фильтрования, определяемые опытным путем для конкретных систем.

Из уравнения (9) можно определить время τ на получение объема фильтрата G_{ϕ} через определенную поверхность фильтрования F_{ϕ} при перепаде давления ΔP :

$$\tau = \frac{\mu \cdot r_{oc} \cdot X_{oc}}{2 \Delta P} \left(\frac{G_{\phi}}{F_{\phi}} \right)^2 + \frac{R_{\phi} \cdot \mu}{\Delta P} \left(\frac{G_{\phi}}{F_{\phi}} \right) \quad (11)$$

Далее, используя приведенные расчетные соотношения и определив время фильтрации, можно выбрать время пребывания ленты в рабочей зоне и скорость движения ленты.

Возможно два режима работы устройства [5].

1. Дискретный, при котором l_p в течение некоторого времени остается неподвижной до достижения перепада $\Delta P_{доп}$. После этого фильтровальная лента перемещается на величину l_p и в процессе фильтрации участвует новый участок, а загрязненный участок перемещается в зону регенерации.

2. Непрерывный, при котором фильтровальная лента движется непосредственно с определённой скоростью $v_{л}$. Скорость $v_{л}$ необходимо выбирать таким образом, чтобы за время пребывания ленты в зоне фильтрации был

обеспечен диапазон в пределах $\Delta P \leq \Delta P_{доп}$ (рис.4), что соответствует условию: $\tau_p \leq \tau_{пред}$

При любой схеме работы устройства необходимо знать скорость перемещения фильтровальной ленты. Примем следующую модель перемещения ленты. Пусть фильтровальная лента имеет общую длину L . Соединение ленты в кольцо позволяет допустить, что L является длиной окружности кольца с размером $D_{экв}$, тогда:

$$L = \pi D_{экв} \quad (12)$$

Рабочая зона ленты l_p составляет только какую-то часть длины ленты L определяемую коэффициентом использования ленты:

$$K_{л} = l_p / L, \quad (13)$$

$$\text{Отсюда } l_p = K_{л} \pi D_{экв} \quad (14)$$

Если вращение кольца ленты осуществляется с угловой скоростью ω , то линейная скорость перемещения ленты будет:

$$v_{л} = \omega \cdot \frac{D_{экв}}{2} \quad (15)$$

Время пребывания фильтровальной ленты в зоне фильтрации будет

$$\tau_p = \frac{l_p}{v_{л}} \quad (16)$$

Используя (14) и (15) получим значение угловой скорости вращения ленты:

$$\omega = \frac{2 K_{л} \cdot \pi}{\tau_p} \quad (17)$$

или, с учетом $\omega = 2 \pi n$, где n – число оборотов, то

$$n = K_{л} / \tau_p \quad (18)$$

Полученные соотношения позволяют обоснованно выбирать параметры и характеристики ленточного тканевого фильтра. Исходя из особенностей технологического процесса и характеристик загрязнителя (производительности, схемы вентиляции, фракционного состава и концентрации загрязнителя) выбирается структура и вид фильтровальной ткани. По соотношению (11) рассчитывается время фильтрации и при заданных конструктивных параметрах l_p и L определяется необходимое число оборотов кольцевой ленты.

Таким образом, оформление ленты в виде кольца Мебиуса и непрерывная регенерация позволяет осуществлять эффективную очистку вентиляционных выбросов в производстве полимерных изделий.

Литература

1. Э.В. Гоголь, И.Х. Мингазетдинов, Г.И. Гумерова, О.С. Егорова, С.А. Мальцева, И.Г. Григорьева И.Г., Ю.А. Тунакова, *Вестник Казанского технологического университета*, **16**, 10, 163-169 (2013).
2. Э.В. Гоголь, И.Х. Мингазетдинов, Г.И. Гумерова, О.С. Егорова, С.А. Мальцева, И.Г. Григорьева И.Г., Ю.А. Тунакова, *Вестник Казанского технологического университета*, **16**, 10, 223-226 (2013).
3. А.С. Тимонин, *Инженерно-экологический справочник*, Изд-во Н. Бочкаревой, Калуга, том 1, 2003, С.917.

4. С.В.Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф.Козьяков и др. *Охрана окружающей среды*. Изд-во Высшая школа, Москва, 1983, С.264.
5. Патент на полезную модель № 47252 Бюл. № 24, (2005).
6. И.Г. Григорьева, И.Х. Мингазетдинов, *Журнал экологической и промышленной безопасности*, Изд-во «Экоцентр», Казань, 2, 39-40 (2011).
7. Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др., *Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетики, подобие, моделирование, проектирование: Механические и гидромеханические процессы*, Изд-во Легос, Москва, том 2, 2002, С.600.

© **И. Х. Мингазетдинов** - – канд. техн. наук, проф. каф. общей химии и экологии КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ;
И. Г. Григорьева – доцент той же кафедры, grig406@yandex.ru; **С. А. Мальцева** – канд. хим. наук, доц. той же кафедры, smaltseva16@yandex.ru; **Ю. А. Тунакова** – д-р хим. наук, проф. каф. технологии пластических масс КНИТУ, juliaprof@mail.ru.