

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ ПЕРЕГОРОДОК ТРУБЧАТЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ

И.И. ШИГАПОВ

(Димитровградский институт технологии управления и дизайна
Ульяновского государственного технического университета)

Трубчатые текстильные фильтры (ТТФ) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности и народного хозяйства (при очистке воды от взвешенных частиц, при фильтрации растворов в производстве цветных телевизоров [1]; в качестве аэраторов [2] в очистных сооружениях сточных вод и во многих других случаях).

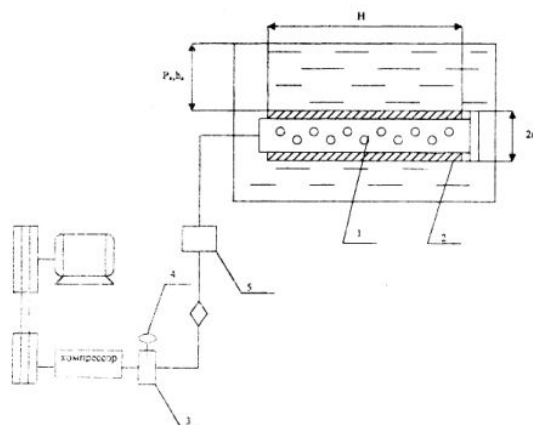


Рис. 1

На рис. 1 представлена схема аэрации загрязненной сточной воды в ванне (аэротенке) с помощью ТТФ (аэратора), представляющего собой пластмассовую дырчатую трубу 1, с намотанной на нее пористой перегородкой 2. В этом случае сжатый воздух из компрессора поступает в ресивер 3. Давление сжатого воздуха измеряется с помощью манометра 4, а его расход – газовым счетчиком 5. Затем воздух выходит через пористую перегородку 2 (намотку) аэратора в виде мелких пузырьков и насыщает сточную воду кислородом. Последний создает необходимые условия для жизнедеятельности микроорганизмов, перерабатывающих органические загрязне-

ния, вызывая образование ила, выпадающего в осадок.

Количество подаваемого в аэротенки воздуха зависит от объема сточной воды в аэротенке и степени ее загрязнения. Вполне очевидно, что количество аэраторов в аэротенке зависит от производительности Q (секундного расхода воздуха) аэратора.

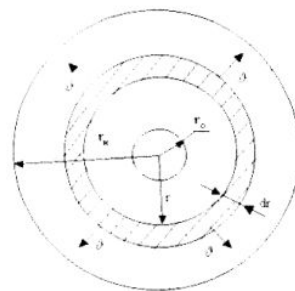


Рис. 2

На рис. 2 изображен поперечный разрез аэратора. Выделим в пористой перегородке (намотке) элементарный цилиндр толщиной dr . Тогда секундный расход воздуха через указанный цилиндр:

$$Q = \vartheta S, \quad (1)$$

где ϑ – скорость движения воздуха через элементарный цилиндр, м/с; S – боковая поверхность цилиндра, м².

Предположим, что скорость прохождения воздуха сквозь пористую перегородку подчиняется закону Дарси [3]. В этом случае

$$\vartheta = \frac{k_p dp}{\rho g dr}, \quad (2)$$

где k_p – коэффициент воздухопроницаемости пористой перегородки, м/с;

ρ – плотность сжатого воздуха, проходящего через пористую перегородку, кг/м³; $g = 9,81$ м/с² – ускорение земного притяжения; p – перепад давления на пористой перегородке, Па.

Поскольку $s = 2\pi rH$, то

$$Q = \frac{k_p}{\rho g} \frac{dp}{dr} 2\pi rH. \quad (3)$$

Приращение объема воздуха в элементарном цилиндре:

$$\Delta Q = dQ = \frac{dQ}{dr} dr = \frac{2\pi k_p H}{\rho g} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dp}{dr} \right) dr. \quad (4)$$

$$\Delta Q = \frac{2\pi k_p H}{\rho g} \left(\frac{dp}{dr} + r \frac{d^2 p}{dr^2} \right) dr.$$

Будем считать, что при установившемся режиме $\Delta Q = 0$. Тогда

$$\frac{2\pi k_p H}{\rho g} \left(\frac{dp}{dr} + r \frac{d^2 p}{dr^2} \right) dr = 0. \quad (5)$$

Для выполнения этого равенства необходимо, чтобы

$$\frac{dp}{dr} + r \frac{d^2 p}{dr^2} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{d^2 p}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dp}{dr} = 0. \quad (6)$$

$$c_1 = \frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r_h}}, \quad c_2 = p_0 - c_1 \ln r_0 = p_0 - \frac{(p_0 - p_a) \ln r_0}{\ln \frac{r_0}{r_h}}, \quad c_2 = \frac{p_a \ln r_0 - p_0 \ln r_h}{\ln \frac{r_0}{r_h}}, \quad (8)$$

$$p = \frac{(p_a - p_0) \ln r + p_a \ln r_0 - p_0 \ln r_h}{\ln \frac{r_0}{r_h}}, \quad p = \frac{p_0 \ln \frac{r}{r_h} + p_a \ln \frac{r_0}{r}}{\ln \frac{r_0}{r_h}}.$$

Это однородное дифференциальное уравнение второго порядка, решаемое при начальных условиях:

при $r = 0$ имеем $p = p_0$,

при $r = r_h$ имеем $p = p_a$.

Введем новую переменную $u = \frac{dp}{dr}$.

Тогда

$$\frac{d^2 p}{dr^2} = \frac{du}{dr}, \quad \frac{1}{r} \frac{dp}{dr} = \frac{u}{r},$$

$$\frac{du}{dr} + \frac{1}{r} u = 0, \quad \frac{du}{u} = -\frac{dr}{r}, \quad (7)$$

$$\ln u + \ln r = \ln c; \quad \ln ur = \ln c_1, \quad ur = c_1,$$

$$u = \frac{dp}{dr}, \quad r \frac{dp}{dr} = c_1, \quad dp = \frac{c_1 dr}{r},$$

$$p = c_1 \ln r + c_2;$$

$$\text{при } r = r_0 \quad \text{имеем } p_0 = c_1 \ln r_0 + c_2,$$

$$\text{при } r = r_h \quad \text{имеем } p_a = c_1 \ln r_h + c_2,$$

$$p_0 - p_a = c_1 \ln r_0 - c_1 \ln r_h = c_1 \ln \frac{r_0}{r_h},$$

Скорость подачи воздуха через аэратор:

$$\vartheta = \frac{k_p dp}{\varrho g dr} = \frac{k_p}{\varrho g} \left(\frac{p_0 \frac{r_h}{r} - p_a \frac{r}{r_0}}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right) \quad (9)$$

$$\vartheta = \frac{k_p}{\varrho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{r \ln \frac{r_0}{r_h}} \right) = \frac{k_p}{r \varrho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r}} \right)$$

$$Q = |\vartheta_h| s = \frac{k_p}{r_h \varrho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right) 2\pi r_h H = \frac{2\pi H k_p}{\varrho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r}} \right) \quad (11)$$

Из этой формулы определим коэффициент воздухопроницаемости пористой перегородки:

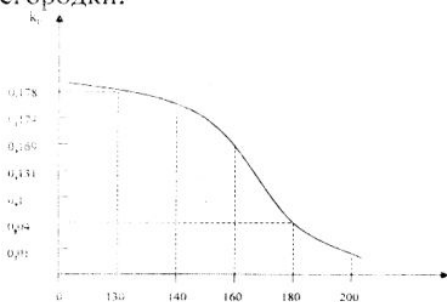


Рис. 3

$$k_p = \frac{Q \varrho g}{2\pi H} \left| \frac{\ln \frac{r_0}{r_h}}{p_0 - p_a} \right| \quad (12)$$

Скорость подачи воздуха с наружной поверхности аэратора:

$$\vartheta_h = \frac{k_p}{r_h \varrho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right) \quad (10)$$

Секундный расход воздуха через наружную поверхность аэратора:

Нами была исследована зависимость коэффициента воздухопроницаемости пористых перегородок ТТФ от их структуры и наружного радиуса намотки r_h . Результаты представлены в табл. 1 и на рис.3.

Таблица 1

№	p_0	$r_h, \text{ м}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$k_p, \text{ м/с}$
1	0,25	0,130	0,5/60	$0,178 \cdot 10^{-6}$
2	0,37	0,140	0,5/60	$0,174 \cdot 10^{-6}$
3	0,75	0,160	0,5/60	$0,169 \cdot 10^{-6}$
4	1,25	0,180	0,5/60	$0,04 \cdot 10^{-6}$
5	2,00	0,200	0,5/60	$0,01 \cdot 10^{-6}$

ВЫВОДЫ

Коэффициент воздухопроницаемости пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров зависит от наружного диаметра намотки и уменьшается с его увеличением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коломиец А.Я. Исследование структуры намотки трубчатых текстильных фильтров: Дис...канд. техн. наук. – Л., 1983.
2. Ласков Ю.М и др. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учебное пособие для вузов / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1983.
3. Андросов В.Ф., Кленов В.Б., Роскин Е.С. Текстильные фильтры. –М.: Легкая индустрия, 1977.

Рекомендована кафедрой ткачества. Поступила 17.11.03.