

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ
ПОРИСТЫХ ПЕРЕГОРОДОК
ТРУБЧАТЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ**

**RESEARCH OF AIR PERMEABILITY
OF POROUS PARTITIONS
OF TUBULAR TEXTILE FILTERS**

*Х.Х. ГУБЕЙДУЛЛИН, И.И. ШИГАПОВ, А.В. ПОРОСЯТНИКОВ,
С.С. ЛУКОЯНЧЕВ, О.С. КАМАЛДИНОВА
KH.KH GUBEYDULLIN, I.I. SHIGAPOV, A.V. POROSYATNIKOV,
S.S. LUKOYANCHEV, O.S. KAMALDINOVA*

(Технологический институт (филиал)
Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии им. П.А.Столыпина)
(Institute of Technology (branch)
of Ulyanovsk State Agricultural Academy named after Pyotr Stolypin)
E-mail: tiugsha@gmail.ru

Нами исследована зависимость коэффициента воздухопроницаемости пористых перегородок ТТФ от их структуры и наружного радиуса намотки. В связи с этим трубчатые текстильные фильтры могут быть с успехом использованы в качестве аэраторов (распылителей воздуха) при очистке сточных вод. Воздухопроницаемость пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров может быть охарактеризована коэффициентом проницаемости перегородок, который зависит от радиуса (толщины) намотки, при этом зависимость коэффициента проницаемости пористой перегородки от радиуса ее намотки носит линейный характер.

We studied the dependence of the coefficient of air permeability of porous baffles TTF from their structure and outer radius of the winding. In this regard, tubular textile filters can be successfully used as an aerator (spray air) in wastewater treatment. The permeability of the porous walls of the tubular textile filters can be characterized by the permeability of the walls, which depends on the radius (thickness) of the winding, the dependence of the coefficient of permeability of the porous wall from the radius of the winding is linear.

Ключевые слова: аэрация, кислород, воздухопроницаемость, пористость, фильтры, проницаемость.

Keywords: aeration, oxygen, permeability, porosity, filters, permeability.

Аэрация – это процесс получения пузырьков воздуха с целью насыщения сточных вод кислородом. Сжатый воздух в аэротенках по трубам распыляется с помощью аэраторов, то есть с помощью труб с отверстиями или продольными щелями. Чем меньше диаметр пузырьков воздуха,

выходящего в очищаемую жидкость, тем интенсивнее идет процесс аэрации.

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 производитель-

ности (секундного расхода воздуха) Q аэратора [4].

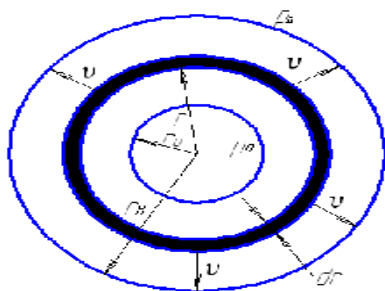


Рис. 1

На рис. 1 изображен поперечный разрез аэратора. Выделим в пористой перегородке (намотке) элементарный цилиндр толщиной dr . Тогда секундный расход воздуха через указанный цилиндр:

$$Q = vS, \frac{M^3}{c}, \quad (1)$$

где: v – скорость движения воздуха через элементарный цилиндр, $\frac{M}{c}$; S – боковая поверхность цилиндра, m^2 .

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

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

где k_p – коэффициент воздухопроницаемости пористой перегородки, $\frac{M}{c}$; ρ – плотность сжатого воздуха, проходящего через пористую перегородку, $\frac{кг}{м^3}$; $g = 9,81$ – ускорение земного притяжения, $\frac{M}{c^2}$; p – перепад давления на пористой перегородке, Па.

Поскольку $S = 2\pi rH$, то имеем:

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

Приращение объема воздуха в элементарном цилиндре:

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

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

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:

$$\frac{dp}{dr} + r \frac{d^2 p}{dr^2} = 0, \quad (6)$$

или

$$\frac{d^2 p}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dp}{dr} = 0. \quad (7)$$

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

при $r = 0$ имеем $p = p_0$;

при $r = r_n$ имеем $p = p_a$.

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

Тогда, разделяя переменные, находим:

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

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

Интегрируя уравнение, получим:

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

$$u = \frac{dp}{dr}, \quad r \frac{dp}{dr} = c_1, \quad dp = \frac{c_1 dr}{r}, \quad (8)$$

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

При $r = r_0$ имеем:

$$p_0 = c_1 \ln r_0 + c_2,$$

где r – текущий радиус намотки; r_0 – диаметр дырчатого патрона; p_0 – внутреннее давление воздуха внутри трубы.

При $r = r_h$ имеем:

$$p_a = c_1 \ln r_h + c_2,$$

где r_h – наружный диаметр дырчатого патрона; p_a – внешнее давление воздуха при выходе из дырчатого патрона.

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

Тогда начальные условия определяются по следующим формулам:

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

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

$$c_2 = \frac{p_a \ln r_0 - p_0 \ln r_h}{\ln \frac{r_0}{r_h}}.$$

Распределение давления по радиусу пористой перегородки определяется по

$$Q = |v_H| s = \left| \frac{kp}{r_h \rho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right) \right| 2\pi r_h H = \frac{2\pi H k p}{\rho g} \left| \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right) \right|, \frac{m^3}{c}. \quad (13)$$

Из этой формулы можно определить коэффициент воздухопроницаемости пористой перегородки [6]:

$$k_p = \frac{Q \rho g}{2\pi H} \left| \frac{\ln \frac{r_0}{r_h}}{p_0 - p_a} \right|, \frac{m}{c}. \quad (14)$$

формулам:

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

$$p = \frac{p_0 \ln \frac{r}{r_h} + p_a \ln \frac{r_0}{r}}{\ln \frac{r_0}{r_h}}. \quad (9)$$

Скорость подачи воздуха через аэратор:

$$v = \frac{k_p dp}{\rho g dr} = \frac{k_p}{\rho g} \left(\frac{p_0 \frac{r_h}{r} \frac{1}{r_h} - p_a \frac{r}{r_0} \frac{r_0}{r^2}}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right), \frac{m}{c}, \quad (10)$$

$$v = \frac{k_p}{\rho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right) = \frac{kp}{r \rho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right). \quad (11)$$

Скорость выхода воздуха через наружную поверхность аэратора:

$$v_H = \frac{k_p}{r_h \rho g} \left(\frac{p_0 - p_a}{\ln \frac{r_0}{r_h}} \right), \frac{m}{c}. \quad (12)$$

Секундный выход воздуха через наружную поверхность аэратора:

Нами была исследована зависимость коэффициента воздухопроницаемости пористых перегородок ТТФ от их структуры и наружного радиуса намотки r_h (табл. 1) [5].

№	P_0	$r_n, \text{м}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$k_p, \text{м}/\text{с}$
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	$0,01 \cdot 10^{-6}$

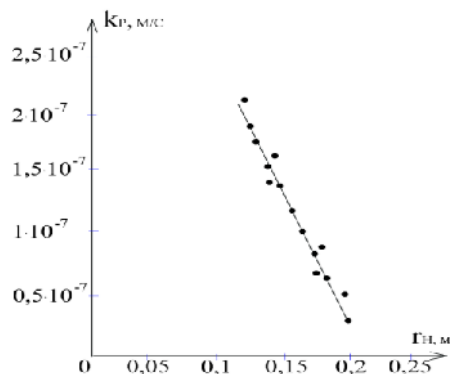


Рис. 2

На рис. 2 показана зависимость коэффициента воздухопроницаемости от наружного радиуса r_n намотки пористой перегородки, построенная по данным эксперимента. Она носит линейный характер.

ВЫВОДЫ

Трубчатые текстильные фильтры могут быть с успехом использованы в качестве аэраторов (распылителей воздуха) при очистке сточных вод. Воздухопроницаемость пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров может быть охарактеризована коэффициентом проницаемости перегородок, который зависит от радиуса (толщины) намотки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Губейдуллин Х.Х., Панин И.Н., Шигапов И.И., Поросятников А.В. Разработка и исследование фильтровальных перегородок плоских и трубчатых текстильных фильтров // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №1. С.159...164.
2. Шигапов И.И., Кадьрова А.М. Очистка сточных вод на животноводческих фермах // Аграрная наука. – 2012, №6. С.30...32.
3. Губейдуллин Х.Х., Шигапов И.И., Панин А.И., Поросятников А.В., Лукоянчев С.С. Технологии и технические средства для очистки сточных

вод // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №2. С.121...126.

4. Гафин М.М., Губейдуллин Х.Х., Шигапов И.И. Утилизация и комплексное использование жидких навозных стоков // Сельский механизатор. – 2014, №2 (60). С.26...27.

5. Губейдуллин Х.Х., Исайчев В.А., Шигапов И.И. Механическая и биологическая очистка животноводческих ферм с применением спирально-винтовых механизмов // Научный вестник Технологического института – филиала Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2013, №11. С.113...116.

6. Shigapov I.I. Study of the air permeability of the porous barriers in tubular textile filters // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, № 2. С.107...109.

REFERENCES

1. Gubejdullin H.H., Panin I.N., Shigapov I.I., Porosjatnikov A.V. Razrabotka i issledovanie fil'troval'nyh peregorodok ploskih i trubchatyh tekstil'nyh fil'trov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №1. S.159...164.
2. Shigapov I.I., Kadyrova A.M. Ochistka stochnyh vod na zhivotnovodcheskih fermah // Agrarnaja nauka. – 2012, №6. S.30...32.
3. Gubejdullin H.H., Shigapov I.I., Panin A.I., Porosjatnikov A.V., Lukojanchev S.S. Tehnologii i tehnicheckie sredstva dlja ochistki stochnyh vod // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №2. S.121...126.
4. Gafin M.M., Gubejdullin H.H., Shigapov I.I. Utilizacija i kompleksnoe ispol'zovanie zhidkih navoznyh stokov // Sel'skij mehanizator. – 2014, №2 (60). S.26...27.
5. Gubejdullin H.H., Isajchev V.A., Shigapov I.I. Mehanicheskaja i biologicheskaja ochistka zhivotnovodcheskih ferm s primeneniem spiral'novintovyh mehanizmov // Nauchnyj vestnik Tehnologicheskogo instituta – filiala Ul'janovskoj GSXA im. P.A. Stolypina. – 2013, №11. S.113...116.
6. Shigapov I.I. Study of the air permeability of the porous barriers in tubular textile filters // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2004, № 2. S.107...109.

Рекомендована кафедрой технологии производства, переработки и экспертизы продукции АПК. Поступила 30.09.15.