

**СТРУКТУРА МОТАЛЬНОЙ ПАКОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ПРОХОЖДЕНИЕ
ПУЗЫРЬКОВ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ НЕЕ**

**THE STRUCTURE OF THE WINDING PACKAGES
FOR WASTEWATER TREATMENT,
ALLOWING THE PASSAGE OF AIR BUBBLES THROUGH IT**

И.Н. ПАНИН, С.Д. НИКОЛАЕВ, О.В. КАЩЕЕВ, Н.А. НИКОЛАЕВА
I.N. PANIN, S.D. NIKOLAEV, O.V. KASCHEYEV, N.A. NIKOLAEVA

(Российский государственный университет им. А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))
(Russian State University named after A. N. Kosygin (Technology. Design. Art))
E-mail: nsd0701@mail.ru

В статье предложено для очистки сточных вод использовать экологически безопасные для человека аэраторы на базе мотальных паковок, полученные на мотальной машине при использовании сомкнутой и спиралевидной намоток на профильный каркас. Использована полипропиленовая нить, позволяющая получить требуемые показатели воздухопроницаемости. Эффективность использования данных паковок показана при анализе движения пузырьков воздуха через аэратор при очистке сточных вод.

The paper proposed for wastewater treatment the use of ecologically safe for humans aerators on the basis of the winding package obtained at the winding machine when using closeness and spiral laser profile on the frame. Used polypropylene yarn, allowing to obtain the required performance of air permeability. The effectiveness of such packages are shown in the analysis of the movement of bubbles of air through the aerator in wastewater treatment.

Ключевые слова: мотальная паковка, структура, воздухопроницаемость, пористость, полипропилен, сомкнутая намотка.

Keywords: winding package, structure, breathability, porosity, polypropylene, closed winding.

Большое внимание уделяется новым технологиям и материалам, применяемым в системах экологической безопасности человека. К таким материалам относятся и аэраторы, формируемые на базе мотальных паковок, применяемые при очистке сточных вод [1...5]. Структура намотки мотальных паковок (сомкнутая и спиралевидная намотки нитей на профильный каркас) из полипропиленовых нитей позволяет создавать требуемую пористость и воздухопроницаемость, а следовательно, и требуемые размеры пузырьков воздуха, подаваемых в стоки. Подача воздуха в сточные воды во многом определяет степень окисления ор-

ганических загрязнений, которая, в свою очередь, определяется концентрацией растворенного в воде кислорода и эффективностью барботажа (перемешивания) сточных вод.

Многообразие аэраторов (мембранного и пневмоэкструзионного типа) не позволяет однозначно ответить на вопрос об оптимальных условиях аэрации стоков, а именно – выбор оптимальных структур диспергирующих слоев аэраторов неоднозначен. Условия закладки аэраторов в аэротенках (глубина установки аэраторов, их расположение и их количество), которые обеспечивали бы максимальную передачу

кислорода воздуха в сточные воды и их барботаж (дополнительное перемешивание сточных вод), также недостаточно очевидны.

Для решения этих задач и определения оптимальных условий аэрации стоков проведем теоретический анализ движения пузырьков воздуха в воде, на выходе из намотки аэратора сомкнутой структуры. Для этого рассмотрим схему сил, действующих на пузырек воздуха в воде (рис. 1).

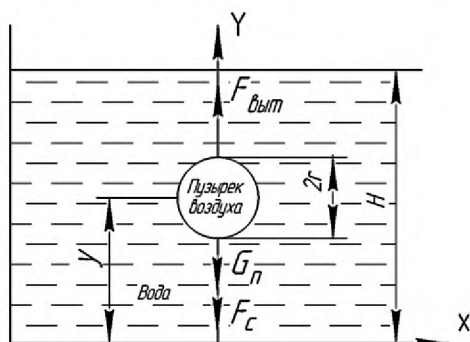


Рис. 1

На пузырек воздуха радиусом r действует: выталкивающая сила $F_{\text{выт}}$; сила сопротивления движению пузырька F_c ; вес пузырька $G_{\text{п}}$. Первая сила действует вертикально вверх, вторая и третья – вертикально вниз.

Скорость подъема пузырька воздуха $v_{\text{п}}$ м/с, будет зависеть от глубины закладки аэраторов и величины давления подаваемого в систему воздуха. Примем условия и обозначения:

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{вод}} g V_{\text{п}}$$

Силы, действующие на пузырек воздуха в воде, где $\rho_{\text{вод}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ плотность воды; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение земного притяжения; $V_{\text{п}} = \frac{4}{3} \pi r^3$ – объем пузырька воздуха, м^3 ; r – радиус пузырька воздуха, м; m – масса пузырька воздуха, кг.

Вес пузырька H равен:

$$G_{\text{п}} = \rho_{\text{воз}} g V_{\text{п}},$$

где $\rho_{\text{воз}}$ – плотность воздуха, кг/м^3 .

Сила сопротивления движению равна:

$$F_c = k_c v_{\text{п}} = k_c \frac{dy}{dt},$$

где k_c – коэффициент сопротивления воды движению пузырька, Н/м; $v_{\text{п}}$ – скорость подъема пузырька, м/с.

Согласно второму закону Ньютона можно составить уравнение движения пузырька воздуха в воде:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = F_{\text{выт}} - G_{\text{п}} - F_c. \quad (1)$$

Подставив в уравнение (1) расчетные значения входящих величин сил, действующих на пузырек воздуха в воде, имеем:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = \rho_{\text{вод}} g \frac{4}{3} \pi r^3 - \rho_{\text{воз}} g \frac{4}{3} \pi r^3 - k_c \frac{dy}{dt}, \quad (2)$$

или

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + k_c \frac{dy}{dt} = \frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_{\text{вод}} - \rho_{\text{воз}}). \quad (3)$$

Поскольку масса воздуха в пузырьке составляет:

$$m = \rho_{\text{воз}} V_{\text{п}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{\text{воз}}, \text{ кг},$$

то уравнение подъема пузырька воздуха в воде примет вид:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{k_c dy}{m dt} = \frac{4}{3} \pi r^3 g \frac{(\rho_{\text{вод}} - \rho_{\text{воз}})}{m},$$

или

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{3k_c}{4\pi r^3 \rho_{\text{воз}}} \frac{dy}{dt} = \frac{g(\rho_{\text{вод}} - \rho_{\text{воз}})}{\rho_{\text{воз}}}. \quad (4)$$

В уравнении (4) радиус пузырька r , плотность воздуха $\rho_{\text{воз}}$ зависят от величины y (глубины расположения аэраторов в аэротенке), или расстояния центра пузырька от дна аэротенки, поэтому его интегрирование связано с большими трудностями.

Для решения данного уравнения предположим, что вначале $r = ay$, то есть с увеличением y (при подъеме пузырька к урезу воды) радиус пузырька линейно возрастает.

Очевидно, что плотность воздуха $\rho_{\text{воз}}$ в этом случае в пузырьке будет убывать, так как возрастает его объем, давление воды на

	1,0137	0,955	0,90	0,794
Плотность воздуха в пузырьке кг/м ³	1,225	1,167	1,111	1,006

Учитывая это, будем считать, что давление воздуха в пузырьке $\rho_{\text{воз}} = \text{const}$, тогда уравнение (4) примет вид:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{3k_c}{4\pi a^3 y^3 \rho_{\text{воз}}} \frac{dy}{dt} = \frac{g(\rho_{\text{вод}} - \rho_{\text{воз}})}{\rho_{\text{воз}}}. \quad (5)$$

С учетом того, что $r = ay$, запишем:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{b}{y^3} \frac{dy}{dt} = c, \quad (6)$$

где $b = \text{const}$ и $c = \text{const}$.

Причем:

$$b = \frac{3k_c}{4\pi a^3 \rho_{\text{воз}}}; c = \frac{g(\rho_{\text{вод}} - \rho_{\text{воз}})}{\rho_{\text{воз}}};$$

$$y=y(t); y'=y'(t).$$

Решая данное уравнение, видим что при $t=0$ $y(0)=0$; $y'(0)=1$ м/с; скорость подъема пузырька воздуха в начале движения.

Давление на воздушный пузырек столба воды можно определить из уравнения:

$$P=P_{\text{Л}}+P_y+P_a, \quad (7),$$

где $P_{\text{Л}} = \frac{2\sigma}{r}$ – давление Лапласа, Па; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; $P_y = \rho_{\text{вод}} g(H-y)$ – гидростатическое давление, Па; $P_a = 10^5$ Па – атмосферное давление.

Следовательно, в начале подъема пузырька величина гидростатического давления P_y уменьшается, а радиус пузырька воздуха r возрастает, так как давление воздуха

него уменьшается. Но это уменьшение плотности воздуха в пузырьке весьма незначительно.

Так, в работе [6] показано изменение плотности воздуха в пузырьке от давления на него воды:

внутри пузырька практически остается постоянным.

В дальнейшем давление воздуха внутри пузырька превысит действующее на него давления водяного столба P , и он лопнет, рассыпавшись на мелкие пузырьки (галтели).

При проектировании аэротенков целесообразно применять аэраторы, формируемые на базе мотальных паковок, и расположить их так глубоко, чтобы разрушение крупных пузырьков воздуха происходило внутри сточных вод, а не на поверхности (на урезе воды). В этом случае сточная вода будет наиболее интенсивно насыщаться кислородом воздуха, способствуя обеспечению лучших условий жизнедеятельности микроорганизмов активного ила, обеспечивающих очистку сточных вод.

Решение уравнения (6) относительно второй производной (y'') аналитическими методами затруднено и для этого целесообразно применить графический метод по следующему алгоритму:

$$y'' = f(t; y; y'), \quad \frac{dy}{dt} = \text{tg}\phi, \quad (8)$$

где ϕ – угол, который касательная к кривой образует с положительным направлением оси t .

Радиус кривизны искомой кривой будет равен:

$$R = \frac{(1+y'^2)^{3/2}}{y''},$$

откуда

$$y'' = \frac{(1+y'^2)^{3/2}}{R}.$$

Так как

$$y' = \operatorname{tg}\phi,$$

то

$$1 + y'^2 = 1 + \operatorname{tg}^2\phi = \frac{1}{\cos^2\phi},$$

или

$$(1 + y'^2)^{3/2} = \sqrt{\frac{1}{\cos^6\phi}} = \frac{1}{\cos^3\phi},$$
$$y'' = \frac{1}{R / \cos^3\phi}. \quad (9)$$

Подставляя теперь в выражение (8) полученные значения для y' и y'' , получим:

$$\frac{1}{R / \cos^3\phi} = f(t, y, \operatorname{tg}\phi), \quad (10)$$

и

$$R = \frac{1}{\cos^3\phi / f(t, y, \operatorname{tg}\phi)}. \quad (11)$$

Таким образом, можно определить зависимость равноускоренного движения пузырька воздуха от изменяющихся величин в любой момент времени его подъема в воде.

Очевидно, что наилучшие условия барботаж (перемешивания) сточных вод будут обеспечивать аэраторы, структура диспергирующего слоя которых имеет сквозные поры минимальных размеров, расположенных по спиральям Архимеда, что позволяет разогнать пузырьки воздуха по касательной к поверхности аэраторов и устранить "залежи активного ила" на дне аэротенков под аэраторами. Такой структурой обладают только текстильные аэраторы, формируемые спиралевидной и сомкнутой намотками полипропиленовых нитей на профильный каркас.

ВЫВОДЫ

1. Структура текстильных аэраторов, формируемых сомкнутой и замкнутой намотками полипропиленовых нитей на профильные каркасы обеспечивает заданную пористость и воздухопроницаемость, а следовательно, заданные параметры и размеры пузырьков воздуха, подаваемых в сточные воды.

2. В начальный момент времени подъема пузырька воздуха в воде величина гидростатического давления уменьшается, а его радиус увеличивается, так как давление воздуха внутри пузырька остается практически неизменным.

3. Разрыв пузырька воздуха на более мелкие части происходит тогда, когда давление воздуха внутри пузырька превысит действующее на него давление водяного столба.

4. При проектировании аэротенков целесообразно размещать аэраторы на такой глубине, при которой выходящие пузырьки воздуха распались бы на более мелкие внутри толщи воды, что обеспечит более интенсивную массопередачу кислорода воздуха микроорганизмам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин И.Н., Лапшенкова В.С., Морозов С.И., Николаев С.Д., Разумеев К.Э., Снежков С.В., Сумарукова Р.И., Цимбалюк Е.П. Текстильные фильтры на базе специальных мотальных паковок. – М.: МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2009.

2. Николаев С.Д., Зайцев В.П., Панин И.Н. О тонкости очистки фильтрата в производительности трубчатых текстильных фильтров // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, №5. С.94...96.

3. Панин И.Н. Разработка и исследование структур текстильных паковок специального назначения. Дис. ... докт. техн. наук. – М.: МТИ им.А.Н.Косыгина, 1996.

4. Панин А.И. Экспериментально-теоретическое исследование формирования мотальных паковок для создания и внедрения перспективных текстильных материалов: Дис....докт. техн. наук. – МГУДТ, 2016.

5. Щербаков В.П. Прикладная механика нити. – М.: МГТУ им.А.Н.Косыгина, 2001.

6. Казаневский В.П. Аэродинамика в природе и технике. – М.: Изд-во: Просвещение, 1985.

REFERENCES

1. Panin I.N., Lapshenkova V.S., Morozov S.I., Nikolaev S.D., Razumeev K.Je., Snezhkov S.V., Sumarukova R.I., Cimbalyuk E.P. Tekstil'nye fil'try na baze special'nyh motal'nyh pakovok. – M.: MGTU im.A.N.Kosygina, 2009.

2. Nikolaev S.D., Zajcev V.P., Panin I.N. O tonkosti ochistki fil'trata v proizvoditel'nosti trubchatyh tekstil'nyh fil'trov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2005, №5. S.94...96.

3. Panin I.N. Razrabotka i issledovanie struktur tekstil'nyh pakovok special'nogo naznachenija. Dis. ... dokt. tehn. nauk. – M.: MTI im.A.N.Kosygina, 1996 .

4. Panin A.I. Jeksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie formirovanija motal'nyh pakovok dlja sozdaniya i vnedrenija perspektivnyh tekstil'nyh materialov: Dis....dokt. tehn. nauk. – MGUDT, 2016.

5. Shherbakov V.P. Prikladnaja mehanika niti. – M.: MGTU im.A.N.Kosygina, 2001.

6. Kazanevskij V.P. Ajerodinamika v prirode i tehnike. – M.: Izd-vo: Prosveshhenie, 1985.

Рекомендована кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий.
Поступила 06.02.16.
