

ГИДРОТЕХНИКА

Վ. Ս. ՏԱՐԿԻՅԱՆ, Ա. Զ. ՇԻՏՅԱՆ, Ա. Ա. ՏԱՐԳՅԱՆ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ОСВЕЩЕНИЯ  
 СУСПЕНЗИИ НА ВОДООЧИСТНЫХ ФИЛЬТРАХ

При фильтрации малоконцентрированных суспензий через пористый слой фильтра в нем происходят процессы отложения и переноса загрязнений, которые описываются уравнениями фильтрации, материального баланса и кинетики отложения [1]. Рассмотрим работу фильтра с постоянным расходом воды (скорость фильтрации  $v = \text{const}$ ). Если пренебречь диффузионным переносом веществ по сравнению с конвективным, то дифференциальное уравнение материального баланса примет вид:

$$v \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial b}{\partial t} + \pi_0 \frac{\partial c}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где  $c$  — объемная концентрация загрязнений в водной среде;  $b$  — удельное объемное отложение загрязнений в слое загрузки;  $\pi_0$  — начальная пористость загрузки;  $x$  и  $t$  — координата и время.

Кинетика отложения загрязнений может быть описана следующим уравнением:

$$\frac{\partial b}{\partial t} = \alpha b_0 c, \quad (2)$$

где  $b_0$  — предельное объемное отложение;  $\alpha$  — коэффициент скорости отложения.

Процесс отложения и переноса загрязнений в пористой среде протекает в две стадии [2]. В первой стадии продолжительность  $t_0$  на поверхности загрузки еще не достигнута предельная емкость отложения вещества ( $b < b_0$ ), поэтому начальные и граничные условия будут:

$$c_1(0, t) = c_0; \quad b_1(x, 0) = 0, \quad (3)$$

где  $c_0$  — исходная концентрация суспензии.

Вторая стадия характеризуется тем, что при  $t > t_0$  образуется некоторая зона с координатой  $x_0$ , в пределах которой  $b = b_0$ , а  $c = c_0$ . Эта зона ограничена подвижной границей, перемещающейся от сечения  $x = 0$  вглубь слоя загрузки. Для второй стадии крайние условия имеют вид:

$$\begin{aligned} c_2(x_0, t) &= c_0; & b_2(x_0, t) &= b_0; \\ c_2(x, t_0) &= c_1(x, t_0); & b_2(x, t_0) &= b_1(x, t_0). \end{aligned} \quad (4)$$

Решая (1), (2) при краевых условиях (3), (4) (с учетом  $c_0 \ll b_0$ ), находим изменение концентрации и удельного объемного отложения веществ:

для первой стадии —

$$c_1 = c_0 \exp\left(-\alpha \frac{b_0}{v} x\right), \quad 0 \leq x \leq l; \quad (5)$$

$$b_1 = b_0 \frac{t}{t_0} \exp\left(-\alpha \frac{b_0}{v} x\right), \quad t_0 = \frac{1}{\alpha c_0}, \quad (6)$$

а для второй —

$$c_2 = c_0 \exp\left[-\alpha \frac{b_0}{v} (x - x_0)\right], \quad x_0 \leq x \leq l; \quad (7)$$

$$b_2 = b_0 \exp\left[-\alpha \frac{b_0}{v} (x - x_0)\right], \quad x_0 = \frac{c_0 v}{b_0} (t - t_0), \quad (8)$$

где  $l$  — толщина слоя загрузки.

В процессе очистки на выходном сечении фильтра ( $x = l$ ) концентрация загрязнений, содержащихся в воде, не должна превышать предельно допустимую  $c \leq c_s$ . Задаваясь величиной  $c_s$  и  $l$  из (7), можно определить продолжительность работы фильтра. Имеем:

$$t_s = t_0 \left(1 - \ln \frac{c_s}{c_0}\right) + \frac{b_0 l}{c_0 v}. \quad (9)$$

При фильтрации суспензии проницаемость пористой среды изменяется, что приводит к увеличению напора воды  $h$  над фильтром. Поэтому продолжительность работы фильтра лимитируется не только по  $c_s$ , но и по предельному напору воды  $h_s$  над фильтром. Изменение  $h$  для первой и второй стадий можно представить следующим образом:

$$h_1 = \int_0^l i dx - l, \quad i = \frac{\mu v}{\gamma k}; \quad (10)$$

$$h_2 = \int_0^{x_0} i_1 dx + \int_{x_0}^l i_2 dx - l, \quad i_2 = \frac{\mu v}{\gamma k}, \quad (11)$$

где  $l$ ,  $i_1$  — гидравлические уклоны зон массообмена и насыщения;  $\mu$  — динамический коэффициент вязкости;  $\gamma$  — объемный вес воды;  $k$ ,  $k_2$  — проницаемости зон массообмена и насыщения.

Проницаемости, следуя Д. М. Минцу, можно представить в следующем виде:

$$k = k_0 \left(1 - \frac{b}{n_0}\right)^3; \quad k_* = k_0 \left(1 - \frac{b_0}{n_0}\right)^3, \quad (12)$$

где  $k_0$  — начальная проницаемость загрузки.

Для получения аналитической зависимости  $h = h(t)$ , осредним  $b$  для первой стадии по всему объему загрузки, а для второй стадии — по объему зоны массообмена. Тогда получим:

$$\bar{b}_1 = \frac{v}{\alpha l} \cdot \frac{t}{t_0} \left[ 1 - \exp\left(-\alpha \frac{b_0}{v} t\right) \right]; \quad (13)$$

$$\bar{b}_2 = \frac{v}{\alpha(l-x_0)} \left[ 1 - \exp\left[-\alpha \frac{b_0}{v} (l-x_0)\right] \right]. \quad (14)$$

Из (10)–(14) найдем закономерность  $h(t)$  для обеих стадий:

$$h_1 = \frac{\mu v}{\gamma k_0} t \left[ 1 - \frac{c_0 v}{n_0 l} t \left[ 1 - \exp\left(-\alpha \frac{b_0}{v} t\right) \right] \right]^{-3} - t; \quad (15)$$

$$h_2 = \frac{\mu v}{\gamma k_0} \left[ \left(1 - \frac{b_0}{n_0}\right)^{-3} x_0 + \left(1 - \frac{v}{\alpha n_0 (l-x_0)} \left[ 1 - \exp\left[-\alpha \frac{b_0}{v} (l-x_0)\right] \right] \right)^{-3} (l-x_0) \right] - t. \quad (16)$$

Зная  $h_1$ , методом подбора можно из выражения (16) определить  $h_2$ . В вышеприведенных зависимостях величины  $c_0$ ,  $v$ ,  $\mu$ ,  $\gamma$  и  $l$  являются исходными, а параметры  $\alpha$ ,  $b_0$ ,  $n_0$ ,  $k_0$  — неизвестными, которые определяются из эксперимента. Параметры  $n_0$  и  $k_0$  определяются по известной методике. Для определения  $\alpha$  и  $b_0$  необходимо иметь значения выходных концентраций  $c_{21}$  и  $c_{22}$  в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ . Тогда из (7) будем иметь:

$$\alpha = \frac{\ln c_{22} / c_{21}}{c_0 (t_2 - t_1)}; \quad (17)$$

$$b_0 = \frac{v c_0}{l} \left[ t_1 - t_0 + (t_2 - t_1) \frac{\ln c_0 / c_{21}}{\ln c_{22} / c_{21}} \right]. \quad (18)$$

Полученные аналитические зависимости позволяют прогнозировать изменение  $c$  и  $b$  от  $x$  и  $t$ , а также определить продолжительность работы загрузочного фильтра.

ԶՐԱԶՏԻՉ ՖԻՆՏԵՐՈՒՄ ԱՌԻՄՊԵՆԶԻԱՆԵՐԻ ՊԱՐԶԵՑՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍԻ  
ՇԻՄԱԿԱՆ ՕՐԻՆԱԶՄԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո լ փ ո լ մ

Դիտված էն բևնիչ ֆիլտրերում լուծված է նուրբ սարքալուծված նյութեր պարունակող ջրի ծծանցման ֆիզրոդինամիկական և ֆիզիկաքիմիական պրոցեսները: Քերված էն աշվային բանաձևերը, որոնք թույլ էն տալիս որոշել ֆիլտրի աշխատանքի տևողությունը տրված սահմանային ճնշման և ֆիլտրատի իսպասարելի խտություն համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. — М. Стройиздат, 1961. — 155 с.
2. Верисин Н. Н., Родзиллер Н. Д. Очистка нефтяных вод методом фильтрации — Нефтяное хозяйство, 1956, № 10, с. 52—56.