

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ ЗАГРУЗОК ВОДООЧИСТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Поляков В.Л.

Институт гидромеханики НАНУ, Киев

Розроблено методики теоретичного обґрунтування оптимальних у технологічному відношенні розмірів плоского і циліндричного завантажень водоочисних фільтрів. Показано, що при високій адгезійній здатності фільтруючого матеріалу суттєво ефективніше плоскорадіальне фільтрування.

Ключові слова: *фільтр, завантаження, плоскорадіальне фільтрування, тривалість фільтроцикла, швидкість, методика, технологічні часи.*

Разработаны методики теоретического обоснования оптимальных в технологическом отношении размеров плоской и цилиндрической загрузок водоочистных фильтров. Показано, что при высокой адгезионной способности фильтрующего материала существенно эффективнее плоскорадialное фильтрование.

Ключевые слова: *фильтр, загрузка, плоскорадialное фильтрование, длительность фильтроцикла, скорость, методика, технологические времена.*

Techniques were developed for theoretical substantiation of technologically optimal sizes for planar and cylindrical filter media. Planar radial filtration was shown to be much more effective at high adhesion ability of filter porous material.

Key words: *filter, planar radial filtration, filter run, rate, technique, technological times.*

Геометрические свойства загрузки водоочистного фильтра могут оказывать существенное влияние на продолжительность его непрерывного действия, непродуктивные затраты осветленной воды. Принимая во внимание сравнительно высокую стоимость разделения суспензий фильтрованием, практический интерес представляет рациональное использование дефицитного фильтрующего материала. В технологическом отношении предпочтительнее фильтры, которые способны дольше обеспечивать получение фильтрата высокого

качества. Поэтому при их проектировании важно правильно выбрать форму загрузки (плоская, цилиндрическая) и ее размеры (высота, радиусы). Надежным такой выбор в разнообразных условиях будет только, если при этом опираться на адекватные математические модели фильтрования и их эффективные решения. В данной работе анализ значимости геометрических параметров загрузок двух типов базируется на точных и приближенных решениях одномерной и осесимметричной задач фильтрования при постоянной гидравлической нагрузке [1, 2]. На их основе разработаны методики, которые предназначены для определения технологических времен. Причем особое внимание уделено важнейшему из них, а именно, длительности фильтроцикла t_f . При моделировании фильтрования большое значение имеет аккуратный учет тесной связи, существующей между массообменными и фильтрационными процессами. Чаще всего она описывается степенными функциями [3]

$$\alpha = \alpha_V V^l, \quad \beta = \beta_V V^q, \quad (1)$$

где α , β – коэффициенты скоростей прилипания взвешенных и отрыва осажденных частиц суспензии; V – скорость фильтрования, α_V , β_V , l , q - эмпирические константы. Таким образом, даже при постоянной нагрузке скорость V в цилиндрическом слое загрузки будет меняться в радиальном направлении.

Вышеупомянутые инженерные методики ниже представлены частично. Даны только их базовые уравнения, которые вытекают из приближенных решений соответствующих математических задач. Искомыми величинами в них являются время защитного действия загрузки t_p и время достижения потерями напора в загрузке предельно допустимой величины t_h . Указанные уравнения выведены с использованием двух критериев, которые контролируют концентрацию взвеси в фильтрате (не должна превышать нормативное значение C_*) и потери напора в загрузке (конструктивно ограничены значением Δh_*).

Итак, в случае прямоточного (вертикального) фильтрования для расчетов относительных технологических времен \bar{t}_p , \bar{t}_h рекомендуются следующие уравнения

$$2 \exp\left(-\frac{2\bar{\alpha}_{V0}\bar{L}_V^l}{2+\bar{\beta}_{V0}\bar{L}_V^q\bar{t}_p}\right) - \exp(-\bar{\alpha}_{V0}\bar{L}_V^l) = \bar{C}_*, \quad (2)$$

$$\int_0^{\bar{L}_V} \frac{d\eta}{\left\{1 - [\gamma C_0 \bar{S}(\eta, \bar{t}_h; \bar{L}_V)]^{m_1}\right\}^{m_2}} = \chi_V \frac{\Delta h_*}{\bar{L}_V}. \quad (3)$$

Здесь

$$\bar{S}(\eta, \bar{t}_h; \bar{L}_V) = \frac{S(\eta, t_h; L_V)}{n_0 C_0} = \frac{2\bar{\alpha}_{V0}\bar{L}_V^l \bar{t}_h}{2+\bar{\beta}_{V0}\bar{L}_V^q \bar{t}_h} \exp\left(-\frac{2\bar{\alpha}_{V0}\eta \bar{L}_V^{l-1}}{2+\bar{\beta}_{V0}\bar{L}_V^q \bar{t}_h}\right), \quad (4)$$

$$\bar{\alpha}_{V0} = \alpha_V L_{Vm}^l \left(\frac{Q}{W}\right)^{l-1}, \quad \bar{\beta}_{V0} = \beta_V n_0 L_{Vm}^q \left(\frac{Q}{W}\right)^{q-1}, \quad \bar{L}_V = \frac{L_V}{L_{Vm}},$$

$$\bar{t}_{p,h} = \frac{Q t_{p,h}}{n_0 W}, \quad \bar{C}_* = \frac{C_*}{C_0}, \quad \chi_V = \frac{k_0 W}{Q L_{Vm}^2};$$

L_{Vm} – минимальная в примерах высота слоя загрузки; Q и W – фиксированные в примерах производительность фильтра и объем фильтрующего материала; γ – отношение содержания осадка к содержанию в нем твердых частиц; C_0 – исходная объемная концентрация взвешенного вещества; n_0 , k_0 – пористость и коэффициент фильтрации чистой загрузки. Следует подчеркнуть, что первоначально уравнения относительно \bar{t}_p , \bar{t}_h включали высоту L_V только в качестве масштаба длины в безразмерных переменных и параметрах. Однако, ввиду ее целенаправленного варьирования в расчетной части данной работы пришлось указанные уравнения трансформировать с тем, чтобы в них параметр \bar{L}_V присутствовал уже в явном виде. Аналогичные уравнения были получены и исходя из известного точного решения этой же математической задачи. Здесь они не приводятся из-за ограниченного объема статьи.

При плоскорadiaльном фильтровании (ПРФ) подобные (2), (3) уравнения имеют такой размерный вид

$$2 \exp \left[-2\alpha_V Q^{l-1} \cdot (2\pi L_r)^{q-l+1} \int_{r_e}^{r_0(r_e, L_r)} \frac{r^{q-l+1} dr}{2(2\pi L_r r)^q + \beta_V t} \right] - \exp[-\tilde{\alpha}_V(r_e, L_r)] = \bar{C}_* \quad (5)$$

$$n_0^{m_1 m_2} \int_{r_e}^{r_0(r_e, L_r)} \frac{r^{q-l+1} dr}{r [n_0^{m_1} - \gamma^{m_1} S^{m_1}(r, t_h; r_e, L_r)]^{m_2}} = \frac{2\pi k_0 L_r}{Q} \Delta h_* \quad (6)$$

Здесь

$$S(r, t_h; r_e, L_r) = \frac{2\alpha_V Q^l (2\pi L_r)^{q-l} t_h}{2(2\pi L_r r)^q + \beta_V Q^q t_h} \times \exp \left[-2\alpha_V Q^{l-1} (2\pi L_r)^{q-l+1} \int_r^{r_0(r_e, L_r)} \frac{\xi^{q-l+1} d\xi}{2(2\pi L_r \xi)^q + \beta_V t_h} \right], \quad (7)$$

$$r_0(r_e, L_r) = \sqrt{r_e^2 + \frac{W}{\pi L_r}},$$

$$\tilde{\alpha}_V(r_e, L_r) = \alpha_V \left(\frac{Q}{2\pi L_r} \right)^{l-1} \frac{r_0^{2-l}(r_e, L_r) - r_e^{2-l}}{2-l},$$

L_r – высота цилиндрической загрузки. Основополагающее приближенное решение соответствующей осесимметричной задачи пригодно при любых значениях показателей степени в выражениях (1). Вместе с тем было найдено частное строгое решение данной, но только при $q=0$. На базе этого решения также были выведены уравнения относительно t_p , t_h , которые в статье не даются.

Был проведен обстоятельный количественный анализ значимости высот L_V , L_r и радиусов r_e , r_0 для технологического процесса фильтрования. Ниже демонстрируются некоторые результаты многочисленных расчетов. Изначально были зафиксированы следующие реальные значения модельных параметров: $\beta_V = 0.03 \text{ ч}^{-1} (q=0)$ или $\text{м}^{-1} \text{ч}^{-2} (q=1)$, $Q = 10 \text{ м}^3 \text{ ч}^{-1}$, $W = 1 \text{ м}^3$

$$n_0 = 0.4, \quad k_0 = 10 \text{ м} \cdot \text{ч}^{-1}, \quad \gamma = 15, \quad C_0 = 2.5 \cdot 10^{-5}, \\ C_* = 2.5 \cdot 10^{-6}, \quad \Delta h_* = 1.25 \text{ м}.$$

Высоты изменялись в пределах от $0.25 \text{ м} (L_{vm} = 0.25 \text{ м})$ до 2 м .
 Вообще в вычислениях принимались и крайние $(-0.3, 0.875)$, и среднее (0.3333) из возможных значения показателя l в выражении для ключевого массообменного функционального коэффициента α .
 Здесь, однако, представлены два из множества рисунков, которые отвечают среднему l .

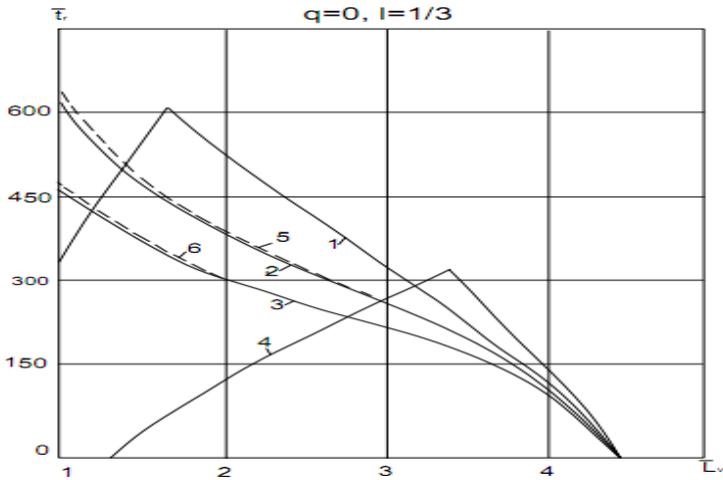


Рис.1. Зависимость $\bar{t}_f(\bar{L}_v)$:

1-4 – приближенные; 5, 6 – точные; 1 - $\alpha_v = 30$, 2, 6 - $\alpha_v = 40$,

$$3, 5 - \alpha_v = 50, \quad 4 - \alpha_v = 20 \text{ м}^2 \text{ Н}_2 \text{ О м}^{\frac{4}{3}} \text{ час}^{\frac{2}{3}}$$

На рис.1 изображены кривые зависимостей всех технологических времен $(\bar{t}_p, \bar{t}_h, \bar{t}_f)$ от относительной высоты \bar{L}_v . Расчеты выполнялись для вертикального фильтрования при $q = 0$ и различных значениях α_v подбором на базе приближенных (сплошные линии) и точных (пунктирные) уравнений. В случае $\alpha_v = 20, 30$ приближенные и точные кривые сливаются. Данный рисунок лишней раз подтверждает высокую точность вышеупомянутого простого

приближенного решения. На рис.2 показана зависимость $t_f(L_r)$ применительно к ПРФ. Семейство графиков определялось из приближенных уравнений (5), (6) при $q=1$ (отрыв осажденных частиц существенно зависит от скорости фильтрации). Оба представленных рисунка позволяют сделать важные выводы. Так, очевидно, что неудачный выбор формы и высоты загрузки может привести к существенному сокращению продолжительности непрерывной работы фильтра. Существенно бóльшая длительность фильтроцикла (до 50 %) будет обеспечена, если использовать плоскорadiaльные фильтры с фильтрующим материалом, обладающим высокой сорбционной способностью.

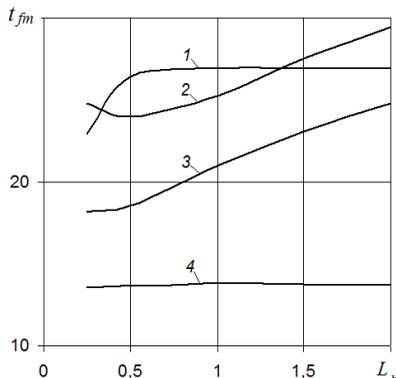


Рис.2. Зависимость $t_{fm}(L_q)$:

$$1 - \alpha_v = 50, 2 - \alpha_v = 60, 3 - \alpha_v = 70, 4 - \alpha_v = 40$$

1. Поляков В.Л. Инженерный расчет фильтрации суспензии через двухслойную загрузку при линейной кинетике массообмена // Химия и технология воды. – 2011. – 33, № 4. – С.367-380.

2. Поляков В.Л. Теоретический анализ плоскорadiaльного фильтрации суспензии // Доп. НАН України. – 2013. – № 12. – С.59-66.

3. Сенявин М.М., Венецианов Е.В., Аюкаев Р.И. О математических моделях и инженерных методах расчета процесса очистки природных вод фильтрацией // Водные ресурсы. – 1977. – № 2. – С.157-170.