



# Тонкости водоочистки

## О фильтрах для тонкой фильтрации воды

Оборудование металлургических производств часто требует тонкой фильтрации воды. И хотя промышленность поставляет многие типоразмеры фильтров для тонкой фильтрации, нельзя сказать, что проблема тонкой фильтрации промышленной воды полностью решена. Одним из важных инженерных решений по тонкой фильтрации воды являются фильтры двухступенчатой или многоступенчатой фильтрации, разработанные и поставляемые компанией ОКЕАНМАШЭНЕРГО.

**Виталий Кузьминский,  
Виктор Кухарь,  
Дмитрий Кудрявцев,  
Александр Чегляков**

Разнообразные фильтры, поставляемые промышленностью, разработаны и серийно выпускаются для некоторых средних условий по загрязнению в воде. В то же время в реальном производстве эти условия могут коренным образом отличаться от средних. Присутствие в воде нефтепродуктов даже в небольших количествах, органических соединений, микроорганизмов, наличие облитерации ячеек существенно влияет на процесс тонкой фильтрации, способствует ускоренному загрязнению сетки и, что особенно важно, усложняет, а иногда и делает невозможной ее последующую очистку.

Многоступенчатая фильтрация

способствует нормальной работе самого уязвимого звена — мелкой сетки, но требует больших затрат на дополнительные фильтры предварительной фильтрации и более сложного обслуживания.

Компания ОКЕАНМАШЭНЕРГО, как разработчик, изготовитель и поставщик фильтров, видит как одно из важных направлений решения проблемы тонкой фильтрации воды создание фильтров двухступенчатой или многоступенчатой фильтрации. ОКЕАНМАШЭНЕРГО приступает к поставке таких фильтров.

Ниже представлены наши подходы при создании таких фильтров, которые, как мы рассчитыва-

ем, будут полезными при выборе и эксплуатации двухступенчатых фильтров тонкой фильтрации.

Рассмотрим фильтрацию воды через обычный одноступенчатый и двухступенчатые фильтры (рисунок 1).

Примем следующие исходные данные:

- расходы воды через оба фильтра одинаковые и равны  $Q$ ;
- обоими фильтрами фильтруется вода из одного и того же источника, в которой объемная концентрация  $\alpha$  твердых частиц с размерами от  $a_{\min}$  до  $a_{\max}$  описывается какой-то зависимостью:

$$\alpha = \alpha(a), \quad (1)$$

представленной на рисунке 2;

- сетка 1 одноступенчатого фильтра (рисунок 1а) и сетка 3 второй ступени двухступенчатого фильтра (рисунок 1б) имеют одинаковые ячейки — такие, которые пропускают максимальные частицы с размерами  $a_1 = a_{22}$ ;

сетка 2 первой ступени двухступенчатого фильтра (рисунок 1б) пропускает максимальные частицы с размерами  $a_{21}$ ;

- принимаем, что размеры ячеек сеток равны размерам максимальных частиц, пропускаемых сеткой.

Будем считать, что каждая из трех сеток будет засорена и нуждается в чистке при достижении на ней некоторого допустимого перепада давления  $\Delta p$  за время  $t_1$ ,  $t_{21}$  и  $t_{22}$  соответственно, при этом каждой из сеток будут отобраны объемы грязи  $V_1$ ,  $V_{21}$ ,  $V_{22}$ .

Для таких условий справедливыми будут соотношения:

$$V_1 = v_1 \cdot S_1 \cdot t_1 \int_{a_1}^{a_{\max}} \alpha(a) da; \quad (2)$$

$$V_{21} = v_{21} \cdot S_{21} \cdot t_{21} \int_{a_{21}}^{a_{\max}} \alpha(a) da; \quad (3)$$

$$V_{22} = v_{22} \cdot S_{22} \cdot t_{22} \int_{a_{22}}^{a_{21}} \alpha(a) da; \quad (4)$$

где  $v_1$ ,  $v_{21}$ ,  $v_{22}$  — скорость протекания воды (скорость фильтрации) через соответствующую сетку;

$S_1$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  — площади соответствующих сеток.

Обозначим определенные интегралы в выражениях (2), (3), (4):

$$I_1 = \int_{a_1}^{a_{\max}} \alpha(a) da; \quad I_{21} = \int_{a_{21}}^{a_{\max}} \alpha(a) da; \quad I_{22} = \int_{a_{22}}^{a_{21}} \alpha(a) da; \quad (5)$$

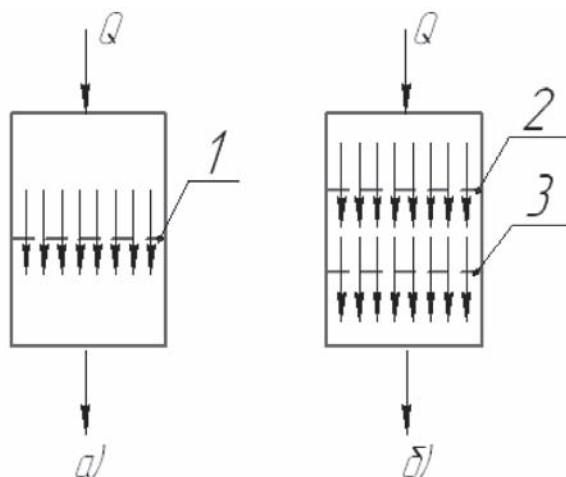


Рисунок 1. Схема фильтров:

а) одноступенчатый фильтр; б) двухступенчатый фильтр

1 — сетка одноступенчатого фильтра; 2 — сетка первой ступени двухступенчатого фильтра; 3 — сетка второй ступени двухступенчатого фильтра

и запишем следующее очевидное выражение:

$$I_1 = I_{21} + I_{22} \quad (6)$$

Будем считать, что условные толщины слоев грязи  $h_1$ ,  $h_{21}$  и  $h_{22}$  при полном засорении соответствующих сеток, когда на них отобраны объемы грязи  $V_1$ ,  $V_{21}$ ,  $V_{22}$ , соответственно будут пропорциональны такой усредненной крупности частиц  $a_{1cp}$ ,  $a_{21cp}$  и  $a_{22cp}$ , отобранных соответствующей сеткой, которые делают справедливыми соотношения:

$$0,5I_1 = \int_{a_{11}}^{a_{12}} \alpha(a) da; \quad 0,5I_{21} = \int_{a_{211}}^{a_{212}} \alpha(a) da; \quad 0,5I_{22} = \int_{a_{221}}^{a_{222}} \alpha(a) da. \quad (7)$$

то есть, предельные толщины условных слоев грязи  $h_1$ ,  $h_{21}$  и  $h_{22}$  будут определяться из выражений:

$$h_1 = k \cdot a_{1cp}, \quad h_{21} = k \cdot a_{21cp}, \quad h_{22} = k \cdot a_{22cp}, \quad (8)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Подставив в выражения (2), (3) и (4) полученные из (8) выражения

$$V_1 = k \cdot a_{1cp} \cdot S_1, \quad V_{21} = k \cdot a_{21cp} \cdot S_{21}, \quad V_{22} = k \cdot a_{22cp} \cdot S_{22},$$

получим зависимости для определения времени предельного засорения сеток:

$$t_1 = \frac{k \cdot a_{1cp}}{v_1 \cdot I_1}; \quad t_{21} = \frac{k \cdot a_{21cp}}{v_{21} \cdot I_{21}}; \quad t_{22} = \frac{k \cdot a_{22cp}}{v_{22} \cdot I_{22}}; \quad (9)$$

Скорости фильтрации  $v_1$  и  $v_{21}$  через сетки одноступенчатого фильтра и первой ступени двухступенчатого фильтра могут быть выбраны по эмпирической зависимости

$$v = v(a), \quad (10)$$

представленной графически на рисунке 3. Эта зависимость определена, исходя из некоторых усредненных данных по количеству и крупности загрязнений из расчета, чтобы очистка фильтра происходила с некоторым реальным интервалом  $t$  ( $t \approx 1$  час), допустимым для конструкции фильтра. При этом учитывается, что отклонения могут быть значительными.

Площади сеток  $S_1$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  связаны с расходом  $Q$  через сетку и скоростями фильтрации  $v_1$ ,  $v_{21}$  и  $v_{22}$  очевидным соотношением:

$$S = \frac{Q}{v} \quad (11)$$

Окончательно размер ячейки сетки первой ступени и площади

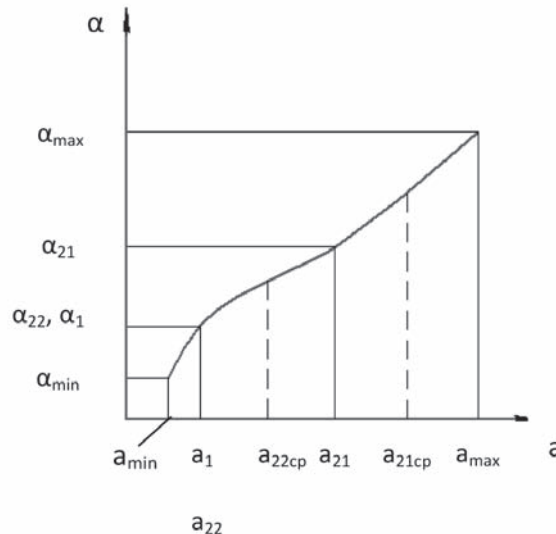


Рисунок 2. Объемная концентрация твердых включений по крупности

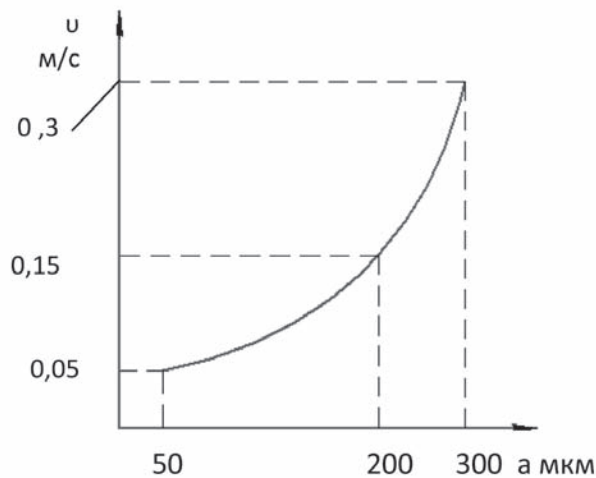


Рисунок 3. Рекомендуемая скорость фильтрации для общих условий

сеток первой и второй ступени фильтра с двухступенчатой очисткой выбираются из расчета, чтобы время их засорения было одинаковым, равным некоторой величине  $t$ , то есть, чтобы выполнялось условие:

$$t_{21} = t_{22} = t, \quad (12)$$

которое с учетом выражений (9) примет вид:

$$v_{21} \cdot I_{21} \cdot a_{22cp} = v_{21} \cdot I_{22} \cdot a_{21cp} \quad (13)$$

Параметры сетки второй ступени известны из принятых исходных данных: ячейка сетки второй ступени пропускает максимальные частицы с размерами  $a_{22} = a_1$ , из соотношения (10) — рисунок 3 — определяется скорость фильтрации  $v_{22} = v_1$ , из соотношения (11) — площадь сетки  $S_{22} = S_1$ .

Сетку первой ступени необходимо выбрать с такой ячейкой, через которую проходили бы твердые частицы с некоторым размером  $a_{21}$ , при этом должно выполняться условие (13). Здесь придется прибегнуть к методу итераций:

- принимаем в первом приближении некоторую величину ячейки  $a_{21} > a_{22}$  ( $a_{21} \approx 4a_{22}$ );

- по принятому  $a_{21}$  вычисляем определенные интегралы  $I_1$ ,  $I_{21}$  и  $I_{22}$  из выражений (5);

- используя метод итераций, находим из выражений (7)  $a_{1cp}$ ,  $a_{21cp}$  и  $a_{22cp}$ ;

- проверяем правильность предварительного выбора ячейки сетки первой ступени  $a_{21}$  по условию (13); если условие не выполняется, задаем новое значение  $a_{21}$  и расчет повторяем до выполнения указанного условия.

Дальше из эмпирических за



зависимостей выбираем коэффициент пропорциональности  $k$  и определяем время засорения сеток фильтра из выражений (9).

Представленное исследование показывает пути определения основных параметров двухступенчатого фильтра тонкой очистки.

С использованием приведенных зависимостей и алгоритма выполнения расчетов могут быть определены все параметры двухступенчатого фильтра: размеры ячеек сеток первой и второй ступени  $a_{21}$  и  $a_{22}$ , скорости фильтрации и площади сеток первой и второй ступеней  $S_{21}$  и  $S_{22}$ , время засорения сеток первой и второй ступеней  $t = t_{21} = t_{22}$ .

Следует, однако, отметить, что рассмотренная методика расчетов использует как обязательный элемент эмпирические зависимости. Дело в том, что получение теоретических зависимостей в связи с бесконечным многообразием загрязнений по размерам, форме, физическим свойствам не представляется возможным.

Поэтому одним из направлений получения данных для выбора фильтра тонкой очистки мы рассматриваем использование в каждом конкретном условиях специального автоматизированного экспресс-стенда ОКЕАНМАШЭНЕРГО.

Экспресс-стенд подсоединяется к водоводу, для которого подбирается фильтр тонкой очистки, и работает некоторое время в автоматическом режиме. В экспресс-стенде установлены расчетные сетки первой и второй ступени, подобраны скорости фильтрации и скорости очистки сеток. В процессе эксперимента все параметры при необходимости могут меняться.

В результате эксперимента мы получаем достоверные уточненные данные для выбора или проектирования фильтра для конкретных условий.

Исследования с экспресс-стендом для выбора параметров фильтров тонкой очистки, представленным на рисунке 4, успешно проведены в конце 2009 года на коксохимическом производстве (КХП) компании АРСЕЛОРМИТТАЛ КРИВОЙ РОГ. Полученные результаты позволили спроектировать двух-

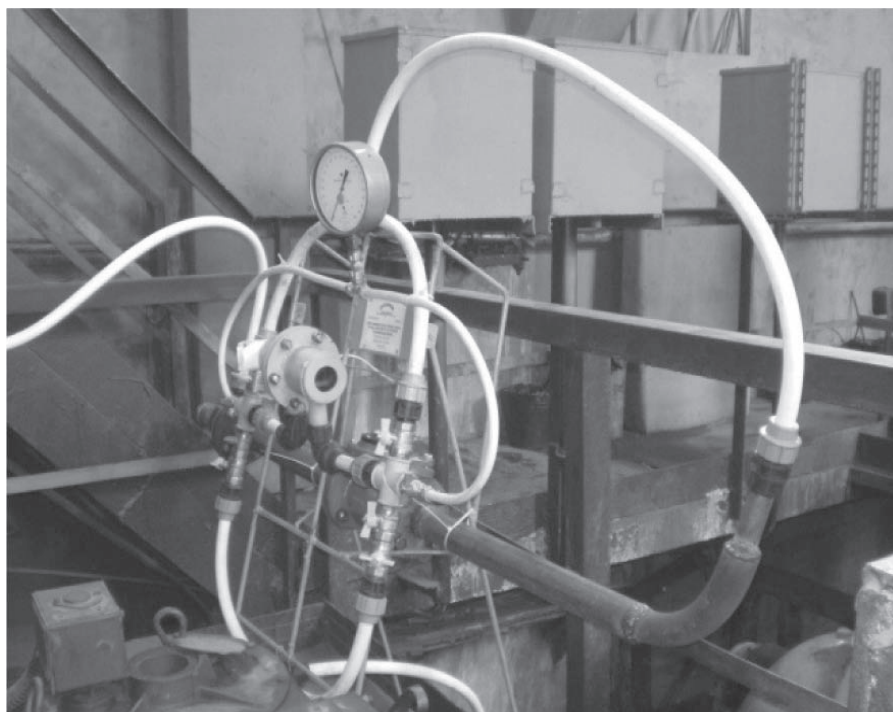


Рисунок 4. Экспресс-стенд на месте проведения исследований

ступенчатый фильтр тонкой очистки с оптимальными параметрами для бензольного отделения КХП.

### Выводы

Одним из путей решения проблемы тонкой фильтрации технической воды является создание двухступенчатых фильтров тонкой очистки.

Двухступенчатые фильтры тонкой очистки обладают преимуществами, как перед одноступенчатыми фильтрами, так и перед комплексами последовательно установленных фильтров.

Очевидно, что при правильно выбранных параметрах сеток и скоростей фильтрации сетки двухступенчатого фильтра будут засоряться медленнее сетки одноступенчатого фильтра, их очистка будет проводиться реже. Анализ показывает, что это отличие может быть существенным.

Но самым важным преимуществом двухступенчатых фильтров является то, что в двухступенчатом фильтре самая мелкая сетка нагружается загрязнениями менее интенсивно, чем такая же сетка в одноступенчатом фильтре, так как часть нагрузки мелкой сетки берет на себя более крупная сетка первой ступе-

ни. Это особенно важно с точки зрения дальнейшей очистки сетки обратным потоком воды, так как наиболее проблематичной является именно очистка обратным потоком загрязненной мелкой сетки. И чем меньше грязевая нагрузка на мелкую сетку при фильтрации, тем легче решается эта проблема и тем надежней работа фильтра тонкой очистки.

Надежным методом получения достоверных данных для подбора или создания фильтра тонкой очистки для конкретных условий является предварительное проведение исследований с экспресс-стендом на месте применения фильтра.

Двухступенчатые фильтры тонкой очистки ОКЕАНМАШЭНЕРГО на 90% унифицированы с соответствующими фильтрами грубой очистки. Поэтому применение таких фильтров намного выгодней применения двух последовательно установленных фильтров.

Компания ОКЕАНМАШЭНЕРГО может поставлять двухступенчатые фильтры тонкой очистки с предварительным (при необходимости) исследованием воды у заказчика с помощью собственного экспресс-стенда.