

УДК 622.464

**В.М. Герасимов**

## **ФИЛЬТРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД ВОЛОКНИСТЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

*Рассмотрен механический способ очистки сточных и оборотных вод мембранными и трубчатыми фильтрами. В качестве фильтрующего материала используются волокнистые полимерные среды с регулируемой плотностью и размерами пор.  
Ключевые слова: горные предприятия, сточные и оборотные воды, фильтрование, волокнистые полимерные материалы, мембранные и трубчатые фильтры.*

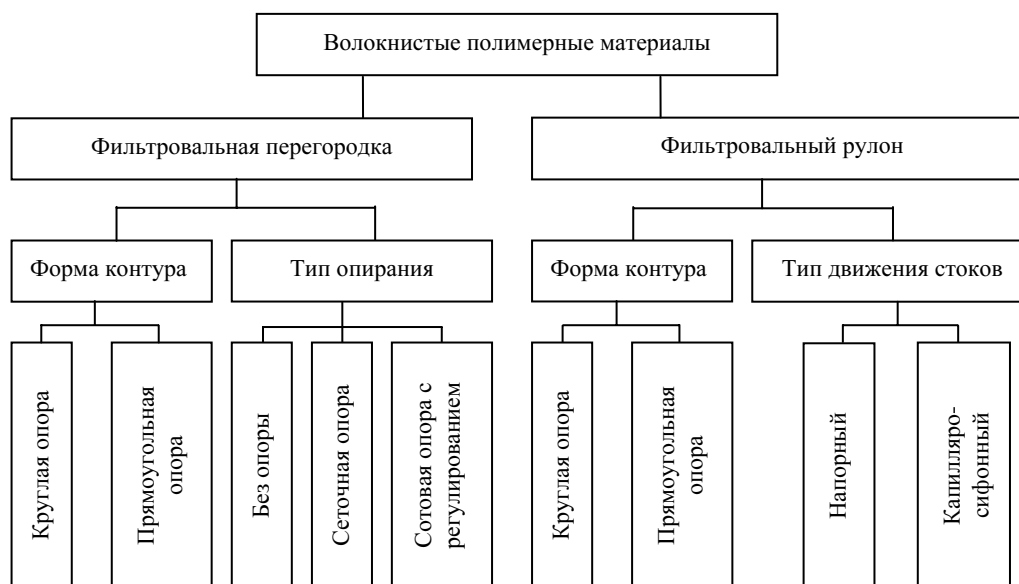
Экологическая безопасность горных работ устанавливает повышенные требования к качественной очистке оборотных и сточных вод. Известны гравитационный, физико-химические, электрический, механический способы очистки загрязненных вод, используемые при разработке и обогащении полезных ископаемых. Механическое разделение суспензий на дисперсную твердую фазу и дисперсионную жидкость с помощью мембранных разделительных перегородок является экологически чистым процессом и имеет тенденцию к совершенствованию благодаря использованию разнообразных пористых сред. Существенное влияние на выбор оптимального материала фильтрованной перегородки оказывают гранулометрический и физический составы взвешенных частиц, насыщенность твердым суспензий, параметры фильтрования.

Из многообразия пористых материалов предпочтение отдается средам, обладающим высокой пористостью, долговечностью высокой устойчивостью к химическим и биологическим воздействиям, гидрофобностью, низкой стоимостью. Важнейшим свойством фильтрованных материа-

лов является способность к изменению структуры, а, следовательно, изменению пористости и размеров пор как в процессе их изготовления, так и при эксплуатации.

К материалам, обладающим этим свойством, относятся волокнистые полимерные среды, сформированные и скрепленные на иглопробивных машинах. Основой волокон являются полиэфир, полиамид, полиэтилен, полипропилен, имеющие разрывные напряжения 400—650 МН/м<sup>2</sup>. Синтетические волокна диаметром 10—30 мкм и длиной 50—100 мм образуют в процессе изготовления гетеропористую структуру материала с размерами пор 40—150 мкм в одном слое. Многослойность структуры полимерной среды при высоте материала 0,003—0,007 м существенно уменьшает размеры капилляров, создавая непрямолинейные траектории движения дисперсионной среды, вследствие чего происходит осаждение дисперсной фазы размерами в 1,6—2,4 раза меньше средних размеров пор как в глубине волокнистой среды, так и на ее поверхности.

Волокнистые полимерные материалы, изготавливаемые на иглопробивных машинах, имеют объемную плотность 50—200 кг/м<sup>3</sup>, пористость



#### **Фильтрованные устройства с волокнистыми полимерными материалами**

80—90 %, ширину до 2,5 м, длину до 100 м. Такие материалы обладают высокой технологичностью: соединению клеевыми составами или расплавлением волокон, пропитке гидрофобными смолами, резке, упаковке. Благодаря высокой задерживающей способности волокнистые среды нашли применение в жидкостных и воздушных фильтрах различных отраслей промышленности. Расширяется использование волокнистых материалов в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности в качестве фильтров, дренажей, армирующих и защитных прослоек. Высоконадежные системы оборотного водоснабжения должны включать комплексные переходы осветления загрязненных вод с использованием механического способа фильтрования.

Волокнистые полимерные материалы могут принимать разнообразные формы в фильтрованных устройствах, среди них наиболее распространены мембранные перегородки и цилиндрические рулоны, на основе

которых разработаны классы фильтров (рис. 1).

В вещественный состав дисперсной фазы промышленных стоков горных предприятий входят минеральные вещества, которые состоят из смеси нерудных, в основном глинистых минералов (40—50 %), рудных минералов: кварца (20—30 %), полевого шпата (5—10 %), окислов и гидроокислов железа, а также органические вещества. По гранулометрическому составу преобладают грубодисперсные (45—55 %), тонкодисперсные (30—38 %) взвешенные частицы, которые требуется отделить от воды [1].

В известных расчетах фильтрованных мембран с глубинным отложением дисперсной фазы используется критерий Гагена-Пуазейля о представлении пор в виде цилиндрических капилляров. Считая модель пористой полимерной среды, состоящей из цилиндрических капилляров можно определить начальную пористость

$$P_o = N_o \cdot \pi \cdot r_o^2 / F, \quad (1)$$

где  $N_o$  — количество капилляров;  $r_n$  — средний начальный радиус капилляров, мкм;  $F$  — площадь перегородки, мкм<sup>2</sup>.

Пористость твердого осадка в фильтрованном материале при полном заполнении

$$\Pi_T = N_o \cdot \pi \cdot r_k^2 / F, \quad (2)$$

где  $r_k$  — радиус капилляров после заполнения взвешенными частицами, мкм.

Скорость фильтрования имеет квадратичную зависимость от объема фильтрата [2]

$$V_r = \frac{\Delta P \cdot r_n^2 \cdot \Pi_o F}{8\mu \cdot t_o} (1 - 0,5K_1 \cdot Q)^2, \quad (3)$$

где  $\mu$  — вязкость фильтрата;  $t_o$  — высота фильтровальной перегородки;  $K_1$  — коэффициент, зависящий от содержания твердой фазы в фильтрате и параметров волокнистой мембраны;  $Q$  — объем фильтрата.

В случае заполнения твердым осадком всего объема фильтровального материала скорость фильтрования определяется формулой

$$V_r = \frac{\Delta P \cdot r_k^2 \cdot \Pi_T \cdot F}{8\mu \cdot t_o}. \quad (4)$$

После заполнения объема фильтровального материала твердыми частицами процесс фильтрования переходит в стадию образования осадка на поверхности фильтровальной перегородки. Пористость поверхностного осадка можно приближенно считать равной пористости  $\Pi_T$ . По мере отложения осадка в порах волокнистого материала и на поверхности снижается скорость фильтрования.

Деформация мембраны при действии перепада давлений  $\Delta P$  имеет упругую и остаточную составляющие. Для упругого деформирования волокнистого материала в пределе  $\varepsilon = 12\%$  изменениями геометрических размеров мембраны можно пренеб-

речь. При высоких значениях перепада давлений используется опорная перфорированная жесткая пластина, предотвращающая пластическое растяжение материала мембраны.

Повышенное поверхностное давление фильтра на волокнистую перегородку создает деформацию ее сжатия, что вызывает изменение физических показателей: плотности, пористости. Исследованиями установлено, что плотность волокнистого материала при сжатии подчиняется закону

$$\rho = \rho_o \sqrt[1 - \left( \frac{\Delta \rho}{0,15K \cdot \rho_o \cdot t_o \cdot g} \right)^{1/n}], \quad (5)$$

где  $\rho_o$  — начальная плотность волокнистого материала;  $K$  — поправочный коэффициент;  $g$  — ускорение свободного падения.

Пористость  $\Pi$  в процессе сжатия находится в зависимости от относительной деформации

$$\Pi = \frac{\Pi_o - \varepsilon}{1 - \varepsilon}, \quad (6)$$

где  $\varepsilon = (\rho - \rho_o) / \rho$ .

Особый интерес представляет фильтрование промышленных стоков через волокнистый материал с регулируемой плотностью посредством сжатия. Коэффициент изменения пористости фильтровального волокнистого материала, сжатого между пластинами определяется по формуле

$$K_{\Pi} = \frac{\Pi}{\Pi_o} = \frac{N \cdot r^2}{N_o \cdot r_n^2}, \quad (7)$$

где  $N$  — количество капилляров при сжатии;  $r$  — радиус капилляров в процессе сжатия.

Из графика изменения радиуса пор, линейного для материала  $\rho = 110 \text{ кг/м}^3$ , следует, что при деформации 80% средний радиус пор уменьшается до 10 мкм (рис. 2).

При этом увеличивается количество пор (7) за счет сближения слоев; так для деформации  $\varepsilon = 60\%$  количество пор увеличивается в 4 раза, радиус уменьшается в 2 раза. Образование новых пор в процессе сжатия способствует сохранению высокого коэффициента фильтрации.

Таким образом, увеличивая степень сжатия волокнистого материала, можно существенно повысить задерживающую способность фильтровальной мембраны к дисперсной фазе [3].

Устройства для очистки промышленных стоков с продольным расположением фильтровального материала относительно тока жидкости объединены под названием трубчатых фильтров. Наиболее производителен напорный тип движения стоков через фильтровальный рулон. Для установившегося потока жидкости вдоль пористого материала коэффициент проницаемости  $K_{пр}$  определяется по формуле [4].

$$K_{пр} = Q \cdot \mu \cdot L / \tau \cdot F \cdot \Delta P, \quad (8)$$

где  $L$  — длина фильтровального рулона;  $\tau$  — время фильтрации.

Процесс отложения твердой фазы в волокнистом рулоне носит неравномерный характер. Наибольшей задерживающей способностью обладает локальный участок, расположенный у

входа дисперсионной среды, где осаждаются частицы, близкие по размерам с размерами пор. Поэтому в трубчатых фильтрах можно размещать волокнистые рулоны не по всей длине, а на отдельных участках, образуя систему рулонных перегородок. Чтобы обеспечить непрерывность процесса фильтрации на участках разность давлений при напорном движении фильтрата должна быть не меньше

$$\Delta P = \mu \cdot R_{\phi} \cdot V_3, \quad (8)$$

где  $R_{\phi}$  — общее сопротивление всех перегородок трубчатого фильтра.

Используя на участках фильтра волокнистые материалы разной плотности от  $70 \text{ кг/м}^3$  до  $150 \text{ кг/м}^3$  и разной длины можно обеспечить одинаковый расход фильтрата, а при высоких значениях напора устанавливать перфорированные опорные пластины, фиксирующие расстановку фильтровальных рулонов в трубопроводе.

Результаты лабораторных и промышленных испытаний мембранных и трубчатых фильтров с волокнистыми полимерными материалами показали высокую эффективность очистки промышленных стоков от взвешенных частиц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зубченко Г.В.* Рациональное использование водно-земельных ресурсов при разработке россыпей / Г.В. Зубченко, Г.А. Сулин. — М.: Недра, 1980. — 238 с.
2. *Жужиков В.Л.* Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий / В.Л. Жужиков. — М.: Химия, 1971. — 440 с.
3. *Патент 2094089 РФ, МКИ В 01.Д 29/01.* Фильтр для очистки жидкости / В.М. Герасимов — 1997.
4. *Коллинз Р.* Течение жидкостей через пористые материалы / Р. Коллинз. — М.: Мир, 1964 — 350 с. **ГАЗ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

*Герасимов В.М.* — доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, член-корр. РАЕН, заведующий кафедрой Читинского государственного университета, e-mail: root@chitgu.ru.