

## ОБ ОЧИСТКЕ ВОДЫ ФИЛЬТРОВАНИЕМ

*Ж.И. Осмонов*

---

Изложены основные понятия и вопросы очистки воды от взвешенных веществ фильтрованием.

*Ключевые слова:* исходная вода; взвешенные вещества; фильтры; фильтрующая загрузка; фильтрат; скорость фильтрования.

Полное или частичное удаление из воды взвешенных веществ фильтрованием осуществляется открытыми или напорными фильтрами, состоящими из корпуса фильтрующего слоя, дренажной или распределительной системы, системы подачи на фильтр осветляемой воды и отвода промывной воды. Дренажная система обычно служит также для распределения по площади фильтра промывной воды.

Интенсивность процесса фильтрования характеризуется скоростью фильтрования, представляющей собой частное от деления расхода фильтруемой воды на площадь фильтрующего слоя. Скорость фильтрования выражают в м/ч, т.е. количеством воды в м<sup>3</sup>, фильтруемой через 1–2 м площади фильтрующего слоя в течение 1 ч [1].

Фильтрование воды через фильтрующий слой происходит под действием разности давлений на входе в фильтр и на выходе из него. Разность давлений для открытого фильтра равна

разности отметок поверхности воды в фильтре и пьезометрического напора в трубе, отводящей фильтрат.

Разность давлений воды до и после фильтрующего слоя называется потерей напора в фильтрующем слое. Потеря напора в начальный момент работы фильтра, называемая начальной потерей напора, равна потере напора при фильтровании чистой, не содержащей взвешенных веществ, воды через чистый фильтрующий слой. Начальная потеря напора в фильтрующем слое зависит от скорости фильтрования воды, её вязкости, размера и формы пор фильтрующего слоя, его толщины.

По мере загрязнения фильтрующего слоя задерживаемыми из воды взвешенными веществами потеря напора возрастает до некоторой величины, характеризующей сопротивление предельно загрязнённого фильтрующего слоя [2].

Фильтрующий слой может состоять из не связанных друг с другом зерен фильтрующего ма-

териала либо представлять собой жесткий каркас в виде сетки, ткани или пористой керамики.

По достижении предельной потери напора или при ухудшении качества фильтра фильтрующий слой нужно очистить от задержанных загрязнений промывкой или другим способом.

По характеру фильтрующего слоя фильтры разделяются согласно [3] на: зернистые, в которых фильтрующий слой состоит из зёрен песка, дробленного кварца, антрацита, мрамора, магнетита и др; сетчатые, в которых фильтрующим слоем служит сетка с отверстиями, достаточно малы для задержания из воды взвеси; тканевые, в которых фильтрующим слоем служит ткань; намывные, в которых фильтрующий слой образуется из вводимых в воду фильтрующих порошков, откладывающихся в виде тонкого слоя на каркасе фильтра, а каркасом могут служить пористая керамика, металлическая сетка, синтетическая ткань.

Наиболее широкое распространение в промышленном и коммунальном водоснабжении получили зернистые фильтры. Сетчатые фильтры применяют главным образом для глубокой очистки воды, микросетчатые – для удаления из воды планктона.

Тканевые фильтры находят применение в полевом водоснабжении; намывные – при очистке маломутных вод для небольших предприятий или посёлков и для очистки воды плавательных бассейнов.

Зернистые фильтры по скорости фильтрации разделяют на медленные, скорые и сверхскоростные.

Скорые фильтры могут быть напорными и открытыми. Медленные фильтры – открытыми, сверхскоростные фильтры – напорными.

Фильтрующий слой скорых фильтров может состоять из однородной по размеру и удельному весу зёрен загрузки и неоднородной загрузки.

В медленных фильтрах фильтруемая вода обычно движется через фильтрующий слой сверху вниз. В скорых фильтрах направление движения также происходит через фильтрующий слой сверху вниз. В скорых фильтрах направление движения фильтрующей воды через фильтрующий слой может быть различным. В обычных и двухслойных фильтрах фильтруемая вода движется сверху вниз; в контактных осветлителях – снизу вверх; в двухпоточных фильтрах АКХ – снизу вверх и сверху вниз. В последних фильтрах она отводится из фильтра через дренажную систему, расположенную в фильтрующем слое.

По мере загрязнения фильтрующего слоя задерживаемыми из воды взвешенными веществами потеря напора в нём будет возрастать, а скорость фильтрации при неизменном напоре снижаться.

Фильтры могут работать с переменной или с постоянной скоростью фильтрации. Постоянство скорости фильтрации обеспечивается специальными условиями – регуляторами скорости фильтрации.

Через некоторый период времени от начала работы фильтра потеря напора в фильтрующем слое увеличится настолько, что скорость фильтрации станет ниже расчётной и производительность фильтра снижается.

Для восстановления пропускной способности фильтра его фильтрующий слой должен быть очищен от задержанных из воды загрязнений. В медленных фильтрах это достигается обычно удалением верхнего слоя загрязнённого песка с последующей его промывкой; в скорых фильтрах промывка фильтрующего слоя производится непосредственно в самих фильтрах.

Продолжительность работы фильтра между чистками или промывками называется продолжительностью фильтроцикла. Она зависит от характера и количества содержащихся в воде взвешенных веществ, от скорости фильтрации, крупности и пористости фильтрующей загрузки. В скорых фильтрах для промывки фильтрующего слоя через него пропускают осветлённую воду снизу вверх с интенсивностью, достаточной для взвешивания фильтрующей загрузки в восходящем потоке промывной воды.

Водоснабжение малых и сельских населённых мест, как правило, базируется на подземных водах. Основным препятствием непосредственного использования этих вод во многих случаях является наличие в них солей железа. Только в Московской обл. около 50 % всех подземных вод имеют повышенную концентрацию железа (от 1 до 6 мг/л). Применяемые в настоящее время в сельском строительстве обезжелезивающие установки малой и средней производительности, включающие в качестве основного сооружения напорные песчаные фильтры ( типовые проекты Мосгипротранса), имеют ряд недостатков [4, с. 25–26].

Одним из существенных недостатков этих установок является необходимость использования в них в качестве фильтрующего материала хорошо отсортированного кварцевого песка. Приобретение этого материала, его доставка, приготовление нужных фракций непосредственно на месте

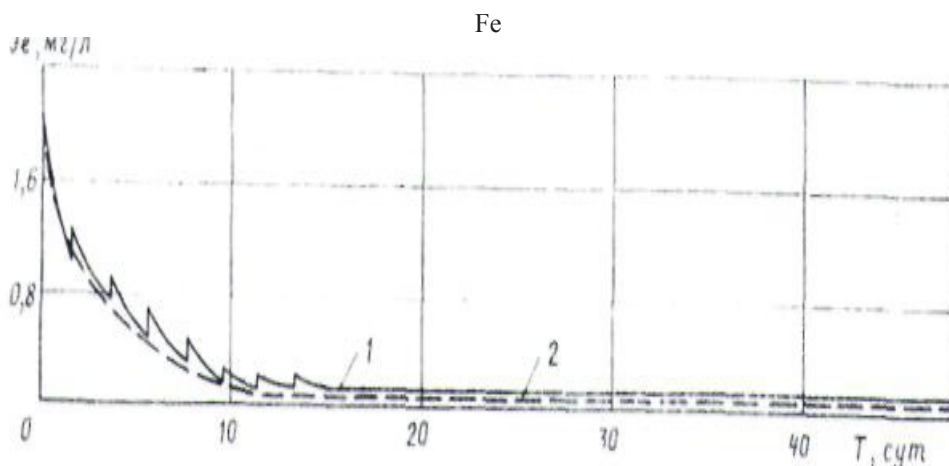


Рисунок 1 – Изменение содержания общего железа в фильтрате для моделей, нагруженных:  
1 – кварцевым песком; 2 – пенополиуретаном

и сама загрузка фильтров вызывают значительные трудности как при строительстве и наладке установок, так и в процессе их эксплуатации.

Для малых водозаборов необходимо создание обезжелезивающих установок полной заводской готовности, доставляемых к месту строительства в комплекте с фильтрующей загрузкой. Это позволило бы максимально ускорить строительство сельских объектов водоснабжения, пуск в эксплуатацию которых часто задерживается именно из-за отсутствия нужного фильтрующего материала. Такая задача вызывает необходимость поиска новых материалов, применение которых для указанных целей оказалось бы наиболее эффективным. В этой связи большой интерес представляют выпускаемые в настоящее время химической промышленностью синтетические полимерные материалы, в частности, пенополиуретана (ППУ). ППУ имеет пленочную пространственную структуру, отличается высокой пористостью. Объемный вес его составляет  $40 \text{ кг/м}^3$ , т.е. в 40 раз меньше кварцевого песка. Выпускается ППУ промышленностью серийно в виде отдельных блоков размером в плане  $200 \times 100 \text{ см}$ .

Проведенные в последние годы в НИИ КВОВ АКХ им. К.Д. Памфилова исследования показали, что пористость открытоячеистого пенополиуретана достигает практически максимально возможной величины (96–98 %) [2]. Это обуславливает его более высокие фильтрационные свойства по сравнению с зернистыми загрузками. Кроме того, было установлено, что наряду со значительно большей пористостью удельная поверхность фильтрующей среды из

ППУ примерно такая же, как у загрузки из кварцевого песка. В частности, для ППУ-40-1,2 при крупности пор  $1,2 \text{ мм}$  удельная поверхность поровых каналов равна  $35,5 \text{ см}^{-1}$  при пористости 96,7 %, а для кварцевого песка с крупностью загрузки  $1,16 \text{ мм}$  удельная поверхность составляет  $35 \text{ см}^{-1}$  при пористости 42 %.

Наличие такой особенности ППУ позволило предположить, что эффект осветления в этом материале будет происходить аналогично тому, как он проходит в зернистой среде кварцевого песка. Указанные исследования подтвердили это предположение. Было показано [2], что открытоячеистый пенополиуретан является весьма перспективным фильтрующим материалом для очистки воды от взвешенных и коллоидных примесей.

Исследования фильтрующей загрузки из открытоячеистого пенополиуретана проводились, однако, применительно к очистке воды от загрязнений, характерных для поверхностных источников. В то же время значительный интерес представляет оценка возможности и целесообразности использования ППУ как фильтрующего материала для целей обезжелезивания подземных вод. Указанное направление, разрабатываемое МосгипроНИИсельстроем при участии НИИ КВОВ, является самостоятельной задачей, так как закономерности процесса безреагентного обезжелезивания подземных вод по своей физико-химической природе значительно отличаются от закономерностей удаления взвешенных веществ поверхностных источников.

Экспериментальные исследования, включающие сравнительную оценку ППУ и кварцевого

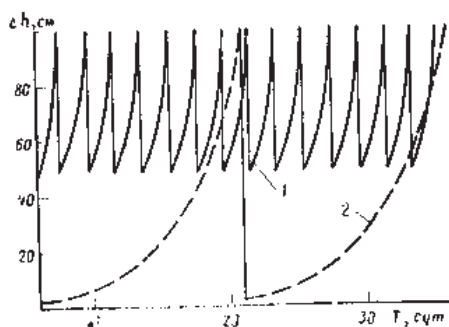


Рисунок 2 – Изменение потерь напора для загрузки из: 1 – кварцевого песка; 2 – пенополиуретана

песка в процессах очистки подземных вод от железа, были осуществлены на одном из действующих водозаборных узлов Московской обл. Опыты проводились на фильтрационных моделях размером 90×90 мм, выполненных из оргстекла, что позволило вести и визуальные наблюдения. Обогащение воды необходимым количеством кислорода происходило при изливе воды в модели с высоты 0,5 м. Максимальная высота слоя воды над фильтрующей загрузкой составляла 1 м.

Качество исходной подземной воды в опытах характеризовалось следующими основными показателями:

Содержание железа, мг/л:	
общее	3,1;
окисное	0,2;
Жесткость, мг×эquiv/л	8,7;
Щелочность, мг×эquiv/л....	7,5;
Окисляемость, мг/л	5,0;
pH	7,4.

На рисунке 1 представлены кривые изменения содержания общего железа в фильтрате для моделей, загруженных ППУ и кварцевым песком. Скорость фильтрования в экспериментах была принята одинаковой – 10 м/ч; высота слоя загрузки как ППУ, так и песка составляла 1 м. В опытах применялся пенополиуретан марки ППУ-40-1,2 с крупностью пор 1,2 мм, эквивалентный диаметр кварцевого песка составлял 1,16 мм. Как видно на рисунке 1, при загрузке из ППУ так же, как и при загрузке из кварцевого песка происходит процесс “зарядки” (постепенное снижение концентрации железа до 0,3 мг/л) [3]. Время “зарядки” для обеих загрузок оказалось практически одинаковым и составило при-

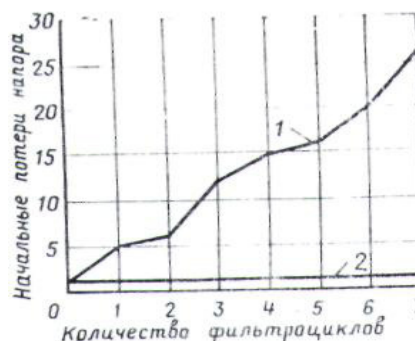


Рисунок 3 – Изменение начальных потерь напора в загрузке из пенополиуретана – водовоздушная промывка; 2 – регенерация отжимом

мерно 160 ч. Этого и следовало ожидать, так как оба фильтрующих материала обладают примерно одинаковой удельной поверхностью поровых каналов. По завершении периода “зарядки” наблюдалось дальнейшее снижение содержания общего железа в фильтрате, и на протяжении всего фильтроцикла оно не превышало 0,1 мг/л.

Такой стабильный эффект обезжелезивания наблюдался весь период работы моделей, который продолжался более 2000 ч. Отдельные кратковременные “подскоки” содержания железа до 0,35–0,4 мг/л (т.е. несколько выше допустимых ГОСТом “Вода питьевая”) были отмечены в загрузке из ППУ только непосредственно после проведения регенерации.

Динамика изменения потерь напора демонстрируется кривыми на рисунке 2. Здесь показан ряд характерных фильтроциклов для загрузок из ППУ и кварцевого песка. На рисунке 2 отчетливо видно различие в величинах начальных потерь напора для этих загрузок и темпе их прироста. Если для кварцевого песка принятая в опытах предельная величина потерь напора (1 м) достигается через 40–50 ч (~1,5–2 сут.), то для ППУ продолжительность фильтроцикла, обусловленная достижением предельно допустимой величины потерь напора, составляет 300 ч (~12–13 сут.), т.е. в 6–8 раз больше, чем у песка. Такое различие объясняется существенной разницей пористости этих материалов, так как известно, что потеря напора в фильтрующей среде обратно пропорциональна величине пористости в третьей степени. Эта особенность ППУ создает дополнительные преимущества использования данного фильтрующего материала. Увеличение продолжительности фильтроцикла позволит существенно сократить потребление воды

на промывку загрузки и снизить трудовые затраты на эксплуатацию установок.

При использовании блочного пенополиуретана в качестве фильтрующей загрузки возникает весьма важный вопрос о способе его регенерации. В отличие от зернистых материалов блочные полимерные материалы при промывке сохраняют свою монолитность. Они не взвешиваются в восходящем потоке воды, нет соударения частиц зерен, и отсутствует ряд других факторов, имеющих место при промывке фильтров с зернистой загрузкой. Поэтому была проведена серия опытов, имеющих целью выбрать способ регенерации ППУ. Прежде всего, был опробован метод обычной регенерации – промывка загрузки обратным током воды. Этот метод, вполне приемлемый для регенерации песка, оказался совершенно не пригодным для загрузки из ППУ: осадок практически не удалялся из поровых каналов материала. В опытах подверглись исследованию и более интенсивные методы, такие как водовоздушная промывка и, учитывая эластичные свойства ППУ, отжим.

Параметры водовоздушной промывки были приняты в соответствии с рекомендациями СНиП применительно к зернистым материалам. Режим промывки: продувка воздухом с интенсивностью  $20 \text{ л/с} \times \text{м}^2$  в течение 2 мин, совместная водовоздушная промывка с интенсивностью подачи воздуха  $20 \text{ л/с} \times \text{м}^2$  и воды  $3 \text{ л/с} \times \text{м}^2$  в течение 5 мин и подача воды с интенсивностью  $6 \text{ л/с} \times \text{м}^2$  в течение 5 мин.

На рисунке 3 представлены данные об изменении начальных потерь напора в загрузке из ППУ при водовоздушной промывке и регенерации отжимом. Как видно на рисунке 3, водовоздушная промывка не обеспечивает полной регенерации пенополиуретановой загрузки.

Остаточные “загрязнения” и, соответственно, начальные потери напора от фильтроцикла к фильтроциклу возрастают. Эффективной в этом случае оказалась регенерация отжимом, которая обеспечивала практически полное восстановление фильтрующей способности блоков из ППУ. Результаты исследований показали, что оптимальным режимом отжатия является 20–25-кратный пропуск загрузки через горизонтальные валки при орошении блоков чистой водой. Затраты воды на регенерацию фильтрующей загрузки составляли 0,3–0,5 % от производительности фильтра.

Таким образом, открытоячеистый пенополиуретан является весьма перспективным и эффективным фильтрующим материалом для использования в установках обезжелезивания подземных вод.

Применение блочного ППУ создает надежные предпосылки для разработки простых в строительстве и эксплуатации установок обезжелезивания подземных вод полной заводской готовности для систем водоснабжения сельских и малых населенных мест.

#### *Литература*

1. Жужиков В.А. Фильтрование. М.: Химия, 1980.
2. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. М.: Стройиздат, 1971.
3. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. М.: Стройиздат, 1964.
4. Гольдин М.И., Чельшева Л.Д., Перлина А.М., Мельцер В.З. Пенополиуретан как фильтрующий материал в установках обезжелезивания подземных вод малых населенных мест // Водоснабжение и санитарная техника. 1982. №6.