

Абдурасулов И.А., Тагибаев Д.Д., Осмонов Ж.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ ИЗ ОТКРЫТОЯЧЕИСТОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА

I. A. Abdurasulov, D.D. Tagibaev, Zh.I. Osmonov

STUDY FILTERING CHARGE OF THE OPEN CELLULAR POLYURETHANE

УДК: 628.16 (043)

В статье рассматривается функция открытоячейстого пенополиуретана в фильтрующей загрузке водоочистных фильтров.

In this paper we consider the function open-cell polyurethane foam filter water treatment filter loading.

На практике использования фильтрующих загрузок водоочистных фильтров, по структурным показателям, значительный интерес представляет открытоячейстый пенополиуретан (ППУ), пористость которого составляет максимально возможную величину (97-98%) при достаточно большой удельной поверхности пор материала. Промышленность ряда стран выпускает ряд марок ППУ, различающихся крупностью пор. Блочная структура поропласта ППУ позволяет создать многослойные фильтры с наиболее рациональным движением жидкости от

Для разработки алгоритма были использованы основополагающие положения теории фильтрования малоцентрированных суспензий [1], а также выведенные зависимости пересчета полученных при технологическом моделировании процесса фильтрования значений параметров фильтрования для пенополиуретана различной крупности пор [2].

Рассматриваемая задача относится к классу задач условной минимизации с ограничениями в виде равенств и неравенств. Для ее решения был разработан алгоритм, идея которого заключается в следующем. Задавшись первоначальными значениями X_1 , удовлетворяющими условиям оптимизации, задаются небольшим значением скорости V , при котором заведомо выполняются условия данные. Для этих значений рассчитываются значения параметров их фильтрования $B, A, a/B, l_0$. С помощью этих параметров вычисляются значения t_3 и t_n для заданной скорости. Так как $t_3 > t_3^{min}$ и $t_n > t_n^{min}$, то скорость увеличивается на величину предварительно заданного шага, и вычисления t_3 и t_n повторяются до тех пор, пока не произойдет нарушение хотя бы одного из ограничений. В этом случае производится перераспределение значений x_1 при сохранении величины их суммы.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает пенополиуретан нескольких типов, имеющих различную крупность пор и соответственно различные фильтрационные показатели. Для условий очистки природной воды, обработанной коагулянтм подходят четыре марки пенополиуретана с крупностью пор 0,8; 1,2; 1,8 и 3,2 мм. Поэтому задачей расчета явился выбор фильтрующей загрузки из этих марок ППУ.

По конструктивным соображениям расчет целесообразно вести для следующих значений суммарной высоты слоя загрузки: 0,45; 0,9; 1,4; 1,8 м. Два первых значения высоты (0,45 и 0,9 м) наиболее целесообразны при проектировании многопоточных фильтров, а два последних (1,4 и 1,8 м) - для двухступенчатой схемы очистки воды фильтрованием.

Поскольку оптимальная предельная потеря напора для фильтров из ППУ заранее неизвестна, расчет был проведен для значений $H_{пр}$, в пределах от 0,5 до 3 м вод. ст. с шагом 0,5 м.

При расчетах принималось $t_H = 12$ ч, $K_{он} = 1,2$ и, следовательно, $l = 14,4$ ч. Проведенные расчеты показали, что величина исходной концентрации взвеси в воде практически не сказывается на оптимальном распределении толщин слоев загрузки фильтра.

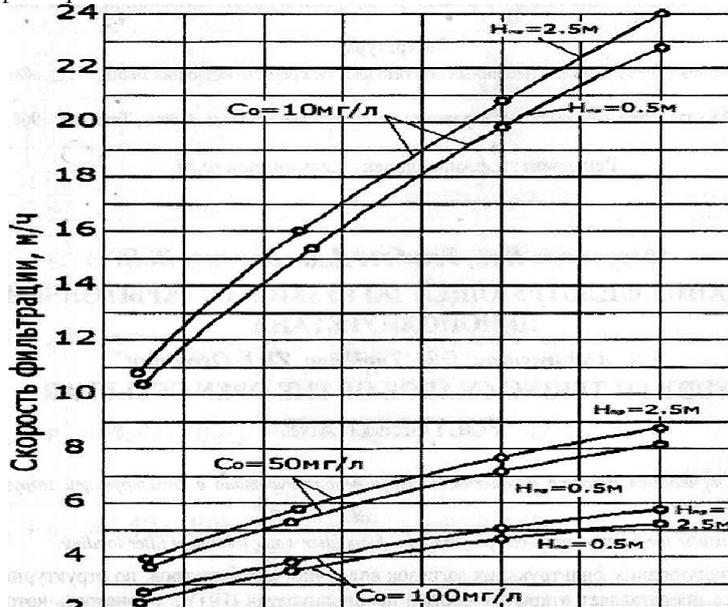


Рис. 1. Зависимость максимальной скорости фильтрации от толщины слоя.

На рис.1 представлены графики полученных значений загрузки при различных значениях C_0 и $N_{пр}$ максимальных скоростей фильтрации в зависимости от суммарной высоты загрузки для различных значений условной исходной концентрации взвеси и величины предельной потери напора.

Как видно из рис.1, величина предельной потери напора слабо влияет на допустимую скорость фильтрации. Так, при увеличении H с 0,5 до 2,5 м скорость фильтрации повышается всего на 4-6%, кроме того, проведенные расчеты показали, что при увеличении суммарной высоты слоя загрузки скорость фильтрации растет медленнее, чем высота загрузки. Это обстоятельство указывает на целесообразность разработки многопоточных фильтров с загрузкой из открытоячеистых поропластов.

На рис. 2 представлено распределение толщин слоев загрузки многослойного фильтра для суммарной высоты загрузки, равной 1,8 м. Из полученного графика видно, что для достижения максимальной скорости фильтрации при $N_{пр}=0,5$ м загрузка должна состоять из отдельных слоев всех четырех марок пенополиуретана, однако доля крупнопористых слоев, первых по ходу движения воды, относительно невелика и составляет менее 25%. Большая часть слоя должна состоять из самого мелкопористого материала с крупностью пор 0,8 мм.

С увеличением предельной потери напора доля крупнопористого материала еще более уменьшается и при величине отношения $N_{пр}/x_c=2$ весь слой следует выполнять из самого мелкопористого материала. При дальнейшем увеличении предельной потери напора скорость не может быть повышена без уменьшения времени защитного действия фильтрующего слоя.

Таким образом, точка А на рис. 2, которая соответствует минимальному значению H для однослойной загрузки, является оптимальной, так как характеризуется максимально возможной при заданных ограничениях скоростью фильтрации, и хотя этой же скоростью характеризуются все точки на оси $N_{пр}$ справа от точки А, энергетические затраты в точке А меньше, чем во всех этих точках. Точка А удобна из конструктивных соображений, так как однослойная загрузка существенно упрощает конструкцию фильтров, особенно многопоточных.

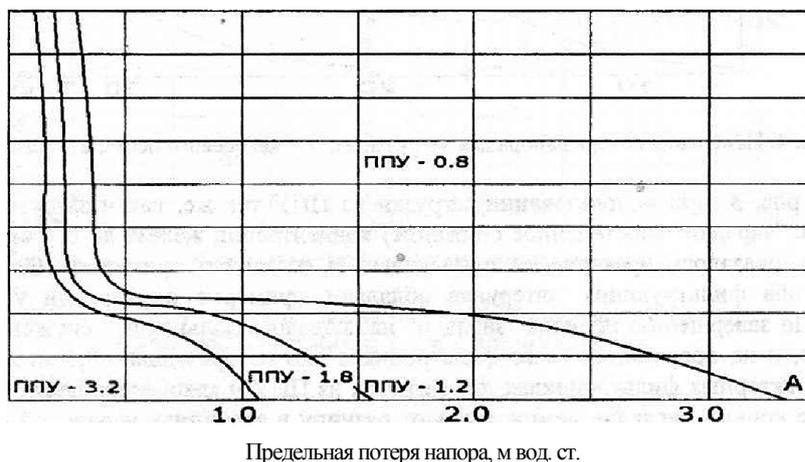


Рис. 2. Распределение слоев загрузки многослойного фильтра в зависимости от предельной потери напора при заданной общей высоте слоя загрузки 1,8 м.

Водоснабжение малых и сельских населенных мест, как правило, базируется на подземных водах. Основным препятствием непосредственного использования этих вод является наличие в них солей железа. Только в Московской области 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, имеют ряд недостатков.

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

Для малых водозаборов крайне желательно создание обезжелезивающих установок полной заводской готовности, доставляемых к месту строительства в комплекте с фильтрующей загрузкой. Это позволило бы максимально ускорить строительство в сельских объектах водоснабжения, пуск в эксплуатацию которых часто задерживается именно из-за отсутствия нужного фильтрующего материала. В этой связи большой интерес представляет возможность использования для этой цели открытоячеистого пенополиуретана общего назначения 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 1м. В опытах применялся пенополиуретан марки ППУ-40-1,2 с крупностью пор 1,2 мм, $d_{зкв}$ кварцевого песка составлял 1,16 мм.

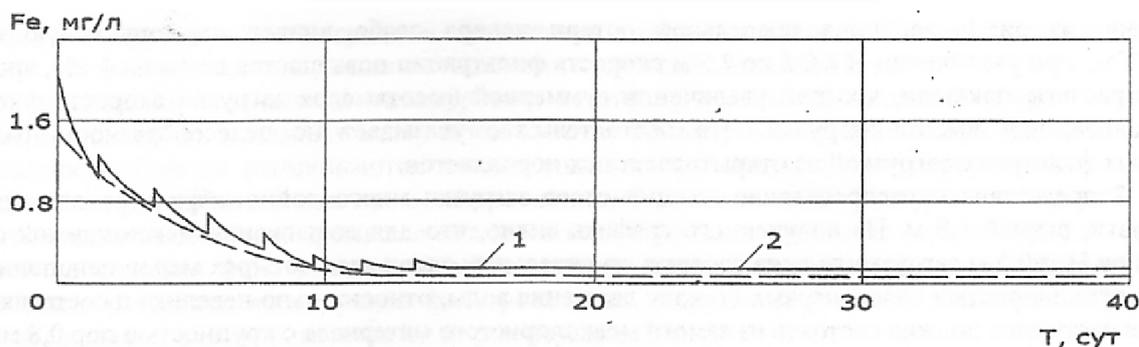


Рис. 3. Изменение содержания общего железа в фильтрате для моделей, нагруженных: 1 - кварцевым песком; 2 - пенополиуретаном.

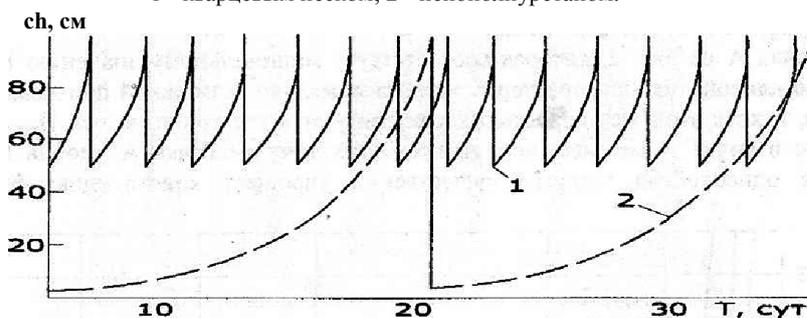


Рис. 4. Изменение потерь напора для загрузки из: 1 - кварцевого песка; 2 - пенополиуретана.

Как видно из рис. 3, при использовании загрузки из ППУ так же, как и загрузки 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 примерно 160 ч. Этого и следовало ожидать, так как оба фильтрующих материала обладают примерно одинаковой удельной поверхностью поровых каналов. По завершению периода "зарядки" наблюдалось дальнейшее снижение содержания общего железа в фильтрате, и на протяжении всего фильтроцикла оно не превышало 0,1 мг/л. Динамика изменения потерь напора в характерных фильтроциклах для загрузок из ППУ и кварцевого песка представлена на рис. 4. Экспериментальные кривые наглядно демонстрируют разницу в величинах начальной потери напора и темпе прироста потери напора для исследуемых фильтрующих сред. Если для кварцевого песка принятая в экспериментах предельная величина потери напора, (1м) достигалась через 40-50 ч, то для ППУ продолжительность фильтроцикла, обусловленная достижением предельно допустимого значения напора, составляет около 300 ч, т.е. в 6-8 раз больше, чем у песка. Такое различие обусловлено существенной разницей величины пористости этих фильтрующих материалов, так как известно, что потеря напора в фильтрующей среде обратно пропорциональна величине пористости в третьей степени. Эта особенность пенополиуретановой загрузки создает значительные преимущества использования данного фильтрующего материала, поскольку увеличение продолжительности фильтроцикла позволяет существенно сократить потребление воды на промывку загрузки и снизить затраты на эксплуатацию водоочистных установок.

При использовании блочного ППУ (и особенно для процесса обезжелезивания воды) 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, не происходит соударения частиц зерен и отсутствует ряд других факторов, имеющих место при промывке фильтров с зернистой загрузкой. В связи с этим была проведена серия опытов с целью выбора наиболее целесообразного способа регенерации ППУ.

Прежде всего, был опробован метод обычной регенерации загрузки - промывка обратным током воды. Этот метод, вполне приемлемый для регенерации зернистых загрузок, оказался совершенно непригодным для загрузки из ППУ, поскольку накопившиеся отложения практически не удалялись из поровых каналов материала. Были испытаны более интенсивные методы регенерации: водовоздушная промывка и, учитывая эластичные свойства ППУ, отжим.

Параметры водовоздушной промывки были приняты в соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.02-84 применительно к зернистым материалам. Режим промывки: продувка воздухом с интенсивностью 20 л/см² в течение 2 мин, совместная водовоздушная промывка с интенсивностью подачи воздуха 20 л/с.м² и воды 3 л/с.м² в течение 5 мин и подача воды с интенсивностью 6 л/с.м² в течение 5 мин.

На рис. 5 представлены данные об изменении начальной потери напора в загрузке из ППУ при водовоздушной промывке и регенерации отжимом. Как видно из рис.5, водовоздушная промывка не обеспечивает долговременной 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 ППУ. Результаты исследований показали, что оптимальным режимом отжатия является 20-25-кратный пропуск загрузки через горизонтальные валки при орошении загрузки чистой водой. Затраты воды на регенерацию загрузки составляли 0,3-0,5%. Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о перспективности использования блочного пенополиуретана для разработки установок обезжелезивания подземных вод полной заводской готовности для систем водоснабжения сельских и малых населенных мест.

Гигиеническое разрешение для использования при подготовке питьевой воды к настоящему времени получил только один вид пенополиуретана - открытоячеистый ППУ, отверделый эпоксидной смолой. Такой материал не может быть регенерирован отжимом (как, например, в барабанном фильтре, рис.6 /4/) и может быть использован только при применении водовоздушной промывки.

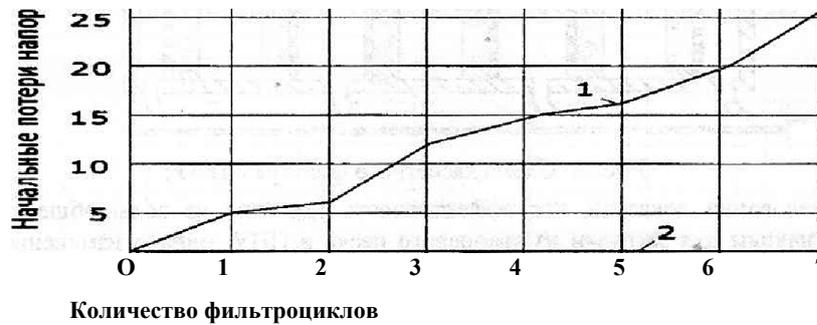


Рис. 5. Изменение начальных потерь напора в загрузке из пенополиуретана:
1 - водовоздушная промывка; 2 - регенерация отжимом.

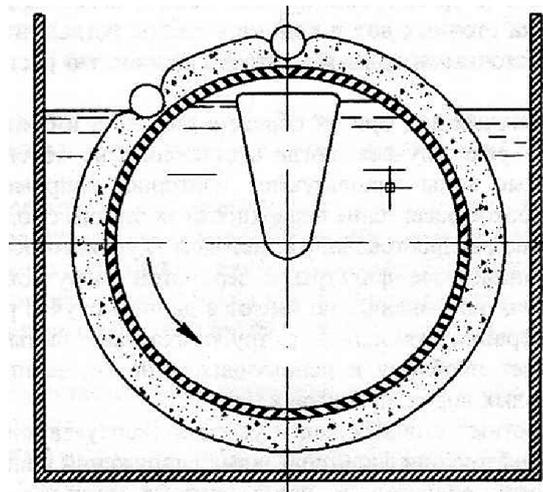


Рис. 6. Схема барабанного фильтра с ППУ.

На основе крупноячеистого ППУ (с крупностью зерен от 2 до 5 мм) была разработана и испытана конструкция фильтра для обезжелезивания подземных вод, который может быть реализован в установках заводского изготовления для водоснабжения малых населенных мест.

Как показали проведенные исследования, наилучшие технологические преимущества, как фильтрующий материал, имеет открытоячеистый пенополиуретан (ППУ), пористость загрузки которого достигает 96-98%. Однако реализация этих преимуществ на практике осложняется трудностями, связанными с промывкой подобной фильтрующей загрузки, поскольку она имеет не зернистую, а объемную структуру. Кроме того, этот материал недолговечен в водной среде и не отвечает гигиеническим требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам, используемым в технологии подготовки питьевой воды.

При использовании блочного пенополиуретана возникает достаточно сложный 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 отдельных зерен и других явлений, имеющих место при промывке восходящим потоком воды фильтров с зернистой загрузкой. Поэтому возможными способами промывки являются водовоздушная промывка (при которой не происходит существенной деформации фильтрующей загрузки), отжим и отсос загрязнений с использованием вакуума. Было разработано несколько конструкций фильтровальных сооружений с использованием ППУ в качестве фильтрующей среды и с различными видами ее регенерации (Рис.7.)

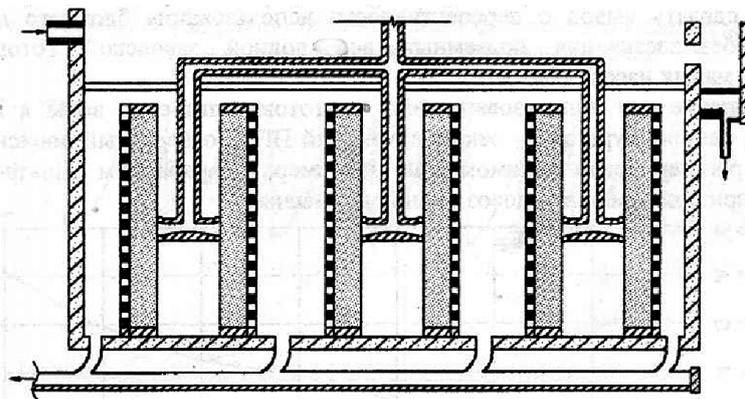


Рис.7. Схема кассетного фильтра с ППУ.

Проведенные исследования показали, что эффективность удаления из воды общего железа и "время зарядки" примерно одинаковы для загрузки из кварцевого песка и ППУ, однако изменение потери напора в загрузке из ППУ существенно ниже. Соответственно продолжительность фильтроцикла при одинаковой скорости фильтрования для фильтрующей среды из пенополиуретана была в 7-8 раз большей по сравнению с кварцевым песком.

В последние годы все большую актуальность приобретает проблема предотвращения загрязнения водных объектов поверхностными сточными водами с городских территорий: дождевыми, тальными и поливочными. Эти воды загрязнены минеральными и органическими веществами, находящимися во взвешенном и растворенном состоянии. Условия спуска сточных вод в водные объекты регламентируются "Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами", которые полностью распространяются и на ливневую канализацию.

Для очистки поверхностных сточных вод при их сбросе в водоемы, в большинстве случаев, достаточно применения отстаивания. Однако в ряде случаев, когда отстаивание не обеспечивает требуемого эффекта очистки или поверхностные сточные воды используются повторно, например, в системах технического водоснабжения, требуется более глубокое осветление поверхностных сточных вод.

Фильтрация является наиболее распространенным методом глубокого осветления воды, в том числе и поверхностных сточных вод. Традиционные фильтры с зернистой загрузкой обеспечивают удаление из поверхностного стока основной массы загрязнений, но имеют в данном случае ряд недостатков: малая производительность и сложность регенерации, связанная с трудоемкостью частых операций по регенерации фильтрующего материала. Не решает проблему и использование новых зернистых материалов с развитой поверхностью зерен: керамзита, горелых пород, цеолитов и пр.

Качественный состав поверхностных сточных вод и условия эксплуатации сооружений для их очистки предъявляют особые требования к конструкции фильтровальных сооружений и виду фильтрующего материала.

Значительное содержание нефтепродуктов в поверхностных сточных водах требует применения фильтрующих материалов с олеофильными свойствами. В Мосводоканале НИИПроекте проведены исследования по изучению возможности применения полимерных нетканых фильтрующих материалов: полипропилена, лавсана, сипрона, капрона, вазопрона и некоторых других. На основании этих исследований создана установка "Кристалл" для очистки сточных вод автопарков от взвешенных веществ и нефтепродуктов. Существенным недостатком установки является необходимость частой выгрузки фильтрующего материала для его регенерации. Кроме того, установка "Кристалл" предназначена для обработки весьма небольших объемов воды.

На основании исследований, проведенных во ВНИИВО в лабораторных и производственных условиях, разработано несколько конструкций фильтров с загрузкой в виде измельченного пенополиуретана с размером частиц 10-15 мм. Исследования показали, что достаточно высокая степень осветления (80-90%) достигается при высоте слоя загрузки 1,5 м и скорости фильтрования 10-15 м/ч. Регенерация фильтрующей загрузки из гранулированного пенополиуретана осуществлялась двумя способами: отжатием задержанных загрязнений и водовоздушной промывкой.

Однако и рассмотренная конструкция фильтра с загрузкой из гранул пенополиуретана не отвечает требованиям, предъявляемым к фильтрам, используемым для доочистки поверхностных сточных вод. Такие фильтры должны иметь не только максимально возможную грязеемкость, но и небольшую высоту вследствие высотного расположения очистных сооружений. Этого можно достичь за счет устройства тонкослойных многопоточных фильтров, в которых достигается предельное насыщение слоев фильтрующей среды. Создать подобную конструкцию при использовании зернистых фильтрующих материалов (в том числе и гранулированного пенополиуретана) практически невозможно из-за необходимости использования большого числа удерживающих сеток.

Новые возможности в данном конкретном случае водоочистки открывает использование листового пенополиуретана.

Анализ экспериментальных исследований, а также визуальные наблюдения показали, что регенерация фильтрующего материала с помощью вакуум-насоса обеспечивает практически полное восстановление его поглощающей способности. Удаление основной массы задержанных примесей (примерно 95-98%) достигается за 1-2 прохода вакуумной насадки по поверхности фильтрующего материала. При регенерации фильтрующего материала вместе с загрязнениями отсасывается некоторое количество воды, объем этой воды в среднем составляет 0,03-0,05% общего количества очищаемой воды. Время регенерации фильтрующего материала составило 2-3 мин, а загрязненность промывной воды взвешенными веществами 30-60 г/л.

Проведенные исследования позволили разработать конструкцию многопоточного фильтра с фильтрующими перегородками, выполненными из листового открытоячеистого пенополиуретана (Рис.7). Фильтр представляет собой емкость, в которой попарно расположены плоские вертикальные фильтрующие элементы, экипированные эластичным пенополиуретаном. Регенерация фильтрующих элементов осуществляется отсосом загрязнений с помощью вакуум-насоса. При этом возможно двоякое применение системы регенерации: либо на специальном устройстве после изъятия фильтровальных перегородок из корпуса фильтра, либо непосредственно в фильтре с помощью специальной системы трубок с вакуумными насадками, выполненной в виде гребенки, осуществляющей возвратно-поступательное движение по поверхности фильтрующего материала.

Для рационального конструирования подобных фильтров необходимо определение оптимальной толщины слоя листового пенополиуретана, обеспечивающей максимальную производительность многопоточного фильтра, приходящуюся на единицу объема устройства. Теоретическое решение этой задачи выполнено исходя из достижения максимальной грязеемкости фильтрующей среды многопоточного фильтра. Известно, что при отсутствии отрыва ранее задержанных загрязнений в толще фильтрующей среды под действием гидродинамических сил потока очищаемой воды, концентрация загрязнений по толщине фильтрующего слоя меняется по экспоненциальному закону:

$$\frac{\partial C}{\partial X} = -k C, \quad (6.1.)$$

где C - концентрация загрязнений в воде; X - расстояние от поверхности фильтрующей среды.

В этих условиях (отсутствие отрыва ранее задержанных частиц) плотность насыщения загрузки осадком ρ должна быть пропорциональна концентрации загрязнений C . Тогда, формула 6.1. приобретает вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial X} = -b \rho, \quad (6.2.)$$

где b - параметр, характеризующий распределение отложений в толще фильтрующей среды. Проинтегрировав формулу 6.2., получаем:

$$\rho = \rho_{np} e^{-bx} \quad (6.3.)$$

где ρ_{np} - предельная плотность насыщения первого по ходу движения воды слоя фильтрующей среды.

Для определения реального значения параметра b при доочистке поверхностных сточных вод через открытоячеистый пенно полиуретан с крупностью пор 0,4 мм проведено изучение распределения отложений по глубине слоя пенополиуретана. Результаты показали, что загрязнения в порах распределяются весьма неравномерно, накапливаясь даже к концу фильтроцикла, в основном в первом десятисантиметровом слое загрузки, что характерно для процесса фильтрования с образованием пленки на поверхности фильтрующего слоя.

Такое распределение загрязнений соответствует значению параметра b , равного 60. Следовательно, формула 6.3. в наших условиях имеет вид:

$$\rho = \rho_{np} e^{-60x}. \quad (6.4.)$$

Интегрируя выражение 6.4. с учетом найденного для наших условий значения параметра b , имеем выражение для определения объема отложений, накопившихся в слое 1:

$$W_1 = \int_0^1 \rho_{np} e^{-60x} dx = \frac{\rho_{np}}{60} (1 - e^{-60}). \quad (6.5.)$$

Принимая полную высоту слоя, равную 1 м, определяем относительное количество загрязнений, накопившихся в заданном слое, по отношению к общему количеству загрязнений во всем слое загрузки:

$$W = \frac{1 - e^{-1b}}{1 - e^{-b}} = \frac{1 - e^{-6 \cdot 1}}{1 - e^{-6}} \quad (6.6.)$$

Полученные результаты расчета представлены в таблице 5.2., из которой следует, что на слой загрузки всего 2 см приходится около 70% загрязнений, а на слой 4 см - более 90% отложения.

Характерной конструктивной особенностью многопоточных фильтров является наличие технологического проема между отдельными слоями той или иной ширины. В рассматриваемом случае, когда регенерация слоев осуществляется отсосом с помощью вакуума, ширина такого проема, а следовательно, и возможная используемая толщина слоя может быть принята, равной 6 см. Таким образом, объем загрязнений, накопившихся в многопоточном фильтре, определяется по формуле:

$$\Sigma W = \Delta W \frac{100}{1 + 6} \quad (6.7.)$$

Полученные результаты представлены на рис.5.17. (за единицу принята грязеемкость однослойного фильтра с глубиной 1 м). Из графика видно, что максимальная грязеемкость загрузки достигается при толщине слоя 3 см. Однако в диапазоне толщины слоя загрузки 2-4,5 см величина грязеемкости изменяется незначительно (в пределах 5%). По конструктивным соображениям принимаем наименьшую толщину слоя, позволяющую достичь столь значительную грязеемкость фильтра, т.е. 2 см. Грязеемкость такого фильтра будет примерно в 9 раз превышать грязеемкость однослойного фильтра при одинаковых их габаритах, что позволяет в несколько раз увеличить продолжительность фильтроцикла и уменьшить количество необходимых регенераций фильтрующего материала. При толщине слоя фильтрующего элемента, равной 20 мм, можно конструктивно разместить до 12 таких элементов на 1 м длины фильтра. Следовательно, суммарная скорость фильтрации, приходящаяся на 1 м² площади фильтра при предельной потере напора 0,5 м составит 10-25 м/ч.

На основе выполненных исследований разработаны новые конструкции фильтровальных устройств для очистки поверхностного стока с использованием открытоячеистого листового пенополиуретана, в том числе барабанный фильтр /4/, представленный на рис. 6 и кассетный фильтр /6/, представленный на рис 7.

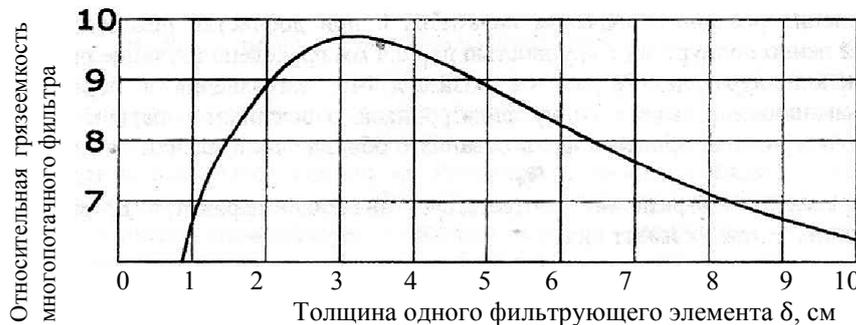


Рис. 10. Изменение грязеемкости многопоточного фильтра в зависимости от толщины фильтрующего элемента. Кассетные фильтры с листовым пенополиуретаном внедрены на сооружениях очистки поверхностного стока.

Выводы

1. Разработан алгоритм расчета многослойных водоочистных фильтров с загрузкой из ППУ для автоматизации проектирования водоочистных станций.
2. Выполнены исследования процесса обезжелезивания подземных вод на фильтрах с загрузкой из блочного ППУ, показавших высокую эффективность данного процесса по сравнению с традиционно применяемыми фильтровальными сооружениями с зернистой загрузкой.
3. Разработана и испытана конструкция многослойного фильтра с использованием листового пенополиуретана, специально предназначенная для доочистки поверхностного стока.

Литература:

1. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. - М.: Стройиздат, 1964.
2. Минц Д.М., Мельцер В.З. Гидравлическое сопротивление зернистой пористой среды в процессе коагуляции. Доклады АН СССР. Изд. АН СССР, том 192, № 2. - М., 1970.
3. Гольдин М.И., Чельшева Л.Д., Перлина А.М., Мельцер В.З. Пенополиуретан как фильтрующий материал в установках обезжелезивания подземных вод малых населенных мест. ВиСТ.-Х» 6,1982.
4. Авторские свидетельства на изобретения N N 589703, 639573, 640473, 692139, 697145, 700956, 719661, 775872, 788481, 829136, 842046, 850134, 891116, 904755, 1089060, 1223584, 1230137, 1238352, 1256265, 1263299, 1266037, 1502115, 1699132.
5. Мельцер В.З., Казарян В.А., Залетова Н.А., Саркисян Х.К. Доочистка поверхностных сточных вод фильтрованием через листовую пенополиуретан. ВиСТ,- №1,1986.

Рецензент: к.т.н. Бейшекеев К.К.