

## **ФИЛЬТРЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН С МНОГОСЛОЙНОЙ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ОБОЛОЧКОЙ**

*А.И. Митрахович, канд. техн. наук, доцент*

*В.М. Макоед, вед. науч. сотр.*

*РУП «Институт мелиорации», г. Минск*

*А.П. Майорчик, канд. техн. наук, доцент*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

*Аннотация:* В статье изложены результаты исследования разработанной конструкции фильтра водозаборных скважин с многослойной водоприемной оболочкой из волокнисто-пористых полиэтиленовых пластин различной пористости. Определены их физико-механические и фильтрационные характеристики. Установлено влияние расположения пластин относительно водоприемной поверхности скважины на кольматаж песчаными грунтами. Приведены данные экспериментальной проверки многослойных фильтров на скважине в производственных условиях, которые показали увеличение дебета скважины на 25% по сравнению с однослойным фильтром.

*Ключевые слова:* водозаборная скважина, многослойная водоприемная оболочка, пористость материала, коэффициент фильтрации, кольматация, дебет скважины.

### **Введение**

Обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной социальной проблемой Беларуси. Это нашло отражение в Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2016-2020 годы, утвержденной постановлением Совета министров РБ 21.04.2016 №326 /1/. Особенно неблагоприятная обстановка сложилась с водоснабжением сельских жителей, где обеспеченность централизованными системами составляет всего 68,9 %. В решении общих проблем питьевого водоснабжения важная роль отводится вопросам применения оптимальных вариантов конструкций водозаборных скважин, которые представляют собой в основном стальную обсадную трубу с водоприемными фильтрующими оболочками из латунной сетки или проволоочной обмотки из нержавеющей стали. В сложных гидрогеологических условиях такие фильтры могут существенно снижать дебит скважины из-за кольматажа фильтрующих оболочек песчаными частицами или железистыми отложениями [1], [2].

Перспективными при сооружении высокодебитных скважин считались многослойные гравийные фильтры, которые значительно увеличивали срок службы скважин, исключали их пескование и повышали удельный дебит. Конструкция такого фильтра включала каркас из

стальных труб, проволочную обмотку и три слоя гравийной обсыпки различной крупности: первый слой (на трубе) – крупной фракции, второй – средней и третий – мелкой фракции. Они закреплялись с помощью связующего – водорастворимого клеевого состава, который после опускания в скважину растворялся и удалялся. Недостатком таких фильтров являлась сложность изготовления и установки, большой вес, проблема защиты от воздействия влаги.

И хотя на практике применяется много других конструкций фильтров, в настоящее время продолжают работы по созданию таких фильтров, которые устойчиво и надежно работали бы в различных гидрологических условиях. В девяностые годы в качестве водоприемной поверхности фильтров начали применять волокнисто-пористые полиэтиленовые пластины различной плотности, из которых создать многослойный фильтр гораздо легче, чем из гравия [3].

### **Объекты, методики и результаты лабораторных исследований**

Технология изготовления пластин путем пневмоэкструзии разработана институтом механо-полимерных систем АН БССР в сотрудничестве с Белорусским НИИ мелиорации и водного хозяйства. Она состоит в том, что полиэтилен низкой плотности высокого давления переводится в экструдере в расплавленное состояние и с помощью сжатого до 4,5 атм. и нагретого до 210-280°C воздуха наносится в виде волокон на холодную формообразующую поверхность или предыдущий слой, которые спекаются в местах контакта, образуя прочный материал. Изменяя технологические параметры и длительность процесса распыления экструзии полиэтилена можно получить материал с различными свойствами и необходимой толщины. Физико-механические характеристики пластин (толщина, размеры пор, диаметры волокон) можно регулировать в большом диапазоне и создавать оболочки с различной текстурой. Это позволяет изготавливать фильтры, аналогичные гравийным, но менее энергоемкие и более технологичные в изготовлении и строительстве. Основываясь на этом, были проведены исследования по определению применения волокнисто-пористых полиэтиленовых пластин в качестве многослойной фильтрующей оболочки водозаборных скважин /4/.

Структура волокнисто-пористого материала представляет собой сочетание элементарных волокон, хаотически расположенных, и образующихся между ними порами. Установлено, что размеры, количество волокон и пор меняется в широких пределах при изменении параметров технологического режима.

Основными структурными параметрами волокнисто-пористых материалов полиэтиленовых фильтров, определяющими их физико-механические фильтрационные и защитные свойства, являются средний диаметр элементарных волокон  $d_{э.в.}$ , толщина  $\delta$  и пористость  $n$ .

Измерения диаметров элементарных волокон в исследуемых образцах полиэтиленовых фильтров выполнялись с помощью стереоскопического микроскопа (БМИ).

Исследовались образцы фильтров из полиэтиленового мелкопористого и крупнопористого материала. Установлено, что мелкопористый материал довольно однороден по диаметру волокон. Большую часть материала составляют волокна диаметром 0,1-0,25 мм. Средний 50 % диаметр волокон равен 0,12 мм.

Крупнопористый материал: диаметр волокон 0,207-0,46 мм; средний диаметр 0,365 мм.

Толщина образцов составляла 5,85мм – для крупнопористого и 3,66мм – для мелкопористого материала.

Диаметр пор исследуемых пластин находился в пределах 0,11-0,36мм – для крупнопористого и 0,04–0,16мм – для мелкопористого материала.

Для исследования поровой структуры фильтров можно пользоваться методом, разработанным Н.Г. Бугаев /5/, — это просыпания калиброванных частиц через образец фильтра. Если на фильтр насыпать тонким слоем грунт состоящий из частиц диаметром  $d$ , то через фильтр просыпятся все частицы, попавшие на поры  $d^o > d$  (без сводообразования) или  $d^o > k_d$  (со сводообразованием),  $k$  - критерий сводообразования. При этом, число частиц, просыпавшихся через фильтр, пропорционально площади пор, диаметр которых больше диаметра частиц. Изменяя диаметр частиц, от максимального (когда ни одна частица не просыпается через фильтр), до минимального (когда все частицы просыпаются), получают распределение площади пор по диаметрам  $d^o_{cp}$  исследуемого фильтра.

Исследования показали, что увеличение толщины фильтра более 10-20 диаметров элементарного волокна не приводит к заметному улучшению защитных свойств фильтра. Увеличивая толщину материала (количество слоев) можно добиться лишь уменьшения средних размеров пор.

Пористость материала определялась аналитически по плотности полиэтилена и по плотности пластин (объемной массе) и составила 72% - для крупнопористого и 41,1% - для мелкопористого материала.

Водопроницаемость - одна из важнейших характеристик фильтрующего материала, т.к. одним из основных требований, предъявляемым к ним, является их более высокая водопроницаемость по сравнению с водопроницаемостью контактирующего с ними грунта при применении на водозаборных скважинах.

Исследование водопроницаемости (коэффициента фильтрации) образцов фильтров проводилось на чистой воде, на фильтрационной установке типа прибора Дарси. Проведена серия опытов по определению коэффициентов фильтрации мелкопористых и крупнопористых образцов и их комбинаций.

По результатам исследований было установлено, что в образцах фильтров, средний диаметр элементарных волокон которых менее 0,5мм, при скорости фильтрации  $V$  до 3 см/с

имеет место линейная зависимость между  $V$  и  $J$ , а коэффициент фильтрации  $K_{\Phi}$ , который определялся по зависимости  $V = K_{\Phi} * J$  и приводился к температуре 10°C по формуле:

$$K_{\Phi 10} = \frac{V_{\Phi}}{J * t}$$

где  $t = 0,7 + 0,03t$  - температурный коэффициент.

Значения  $K_{\Phi}$ , вычисленные по данной зависимости, составили 1528м/сут – для крупнопористого материала толщиной 0,58см и 417м/сут – для мелкопористого толщиной 0,36см.

Поскольку, многослойные фильтры состоят как минимум из двух слоев фильтрующего материала, проведена серия опытов по определению коэффициента фильтрации и потерь напора при их совместной работе и различном расположении по отношению к поддерживающей решетке в фильтрационном приборе (или к поверхности трубы скважины): мелкопористый внизу и наоборот. Установлено, что при расположении крупнопористого материала на решетке потери напора на фильтре практически в два раза меньше, чем при расположении наоборот - мелкий снизу, крупный сверху. Коэффициент фильтрации при этом составил в первом случае 885м/сут, во втором – 362м/сут.

Для обеспечения дальнейшей стабильной работы водозаборных скважин большое значение имеет правильный подбор конструкции и параметров фильтра к конкретным гидрогеологическим условиям места строительства. Функция фильтра скважины состоит в том, чтобы защищать ее от пескования, не подвергаясь при этом механической кольматации и сохраняя высокую водопрпускную способность. Так как фильтр из полиэтиленового фильтрующего материала имеет сложную объемную структуру, поры разного размера и формы, подбор оптимальных параметров такого фильтра к конкретным гидрогеологическим условиям имеет свои особенности. Высокопроизводительная работа водозаборной скважины возможна только в случае отсутствия механической кольматации отверстий или пор фильтра частицами водоносной породы. Процесс кольматации на контакте фильтра и грунта можно представить следующим образом. В зависимости от соотношения размера пор фильтра и частиц грунта часть грунта просыпается через фильтр, часть задерживается в фильтре, кольматируя его поры. В результате этого процесса вблизи фильтра образуется переходной слой, водопроницаемость которого отличается от водопроницаемости ненарушенного грунта.

Исследования механической кольматации фильтров выполнялись экспериментально на фильтрационной установке. Контактный слой представлял собой фильтрующий материал и слой грунта над ним. При этом значения расчетного коэффициента фильтрации контактного слоя

принимали равными значениям коэффициента фильтрации грунта между пьезометрами, а значения коэффициента фильтрации фильтра на чистой воде определяли предварительно.

Экспериментальные исследования выполнены при стационарной фильтрации. Опыты проводились с двумя песками - мелкозернистым ( $d_{60}=0,5$ ,  $\eta=2,03$ ) и среднезернистым промытым ( $d_{60}=1,3$ ,  $\eta=5,0$ ),

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

где  $d_{10}$  коэффициент неоднородности, а  $d_{60}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{10}$  – диаметр частиц, меньше которого в песке содержится 60, 50 и 10 % частиц по весу соответственно.

Замеры расхода и снятие показаний пьезометров проводились после стабилизации и прекращения выноса песка через фильтр. Опыты с каждым грунтом проводились для мелкопористого материала и комбинаций двух фильтров при различном их положении.

Анализ полученных результатов позволяет отметить следующее:

- мелкопористый материал при работе в промытом крупнозернистом песке имеет коэффициент фильтрации порядка 10-13 м/сут, т.е. интенсивно кольматируется;

- двойной слой материала при работе в таком же песке приводит к увеличению коэффициента фильтрации до 15-20м/сут, при этом расположение слоев также сказывается на кольматации фильтра, а именно:

- а) двойной слой материала с расположением – мелкопористый – крупнопористый (по отношению к поверхности наружной трубы скважины) приводит к увеличению  $K_f$  (крупнопористый на решетке).

Отсюда следует, что повышения производительности скважин можно достичь применением многослойного фильтра, состоящего из нескольких слоев материала различной пористости, а также подбором фильтрующих обсыпок. Вопрос этот весьма сложный и требует проведения более детальных исследований.

### **Производственные испытания фильтров оболочек**

Проведено производственное испытание многослойных фильтров на скважине, которая построена в г.п. Уречье Любанского района Минской области. Скважину бурили роторным способом с сапропелевым раствором. Диаметр бурения 294 мм. Глубина скважины 25 м. Литологический разрез представлен кварцевыми песками: в верхней части до глубины 15м - мелкозернистыми, ниже - средне- и крупнозернистыми. Фильтр выполнен на эксплуатационной колонне из металлических труб диаметром 152 мм, длина фильтра 4м. Скважность фильтрового каркаса 15-17%, диаметр перфорированных отверстий - 20 мм. Водоприемная поверхность фильтра состоит из двух слоев полиэтиленовых пористых пластин; мелкопористой с

коэффициентом фильтрации 350-400 м/сут и крупнопористой  $K_f=1500$ м/сут, коэффициент фильтрации двухслойного фильтра (из двух образцов) - 950м/сут. На трубчатый каркас фильтра укладывалась крупнопористая пластина и сверху - мелкопористая. Пластина обматывалась проволокой диаметром 3 мм с шагом 20 мм. В начале и на конце пластин выполнена сплошная обмотка проволокой на длину 20 см. С обеих сторон фильтра поставлены фонари высотой 7 см для предохранения от повреждения оболочки фильтра при его опускании в скважину. После установки фильтровой колонны в скважину произведена промывка фильтра чистой водой и выполнена гравийная обсыпка отсортированным гравием с диаметром фракций 2-5 мм. Объем засыпки -  $1\text{ м}^3$ , интервал гравийной обсыпки 7-25 м.

Статический уровень подземных вод находился на глубине 7 м.

Прокачка скважины проводилась эрлифтом в течение 36 часов. Дебит скважины составил  $10\text{ м}^3/\text{ч}$  (или удельный дебит  $q = 5,2\text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1\text{ м}^2$  фильтра). Сравнение ее эффективности с другими скважинами, построенными ОАО «Слуцкпромбурвод», фильтры которых оборудованы однослойной полиэтиленовой оболочкой, проводили по приведенному удельному расходу  $1\text{ м}^2$  поверхности фильтра.

Скважина №: 515339/94, д. Метявичи, Солигорского р-на: дебит  $12\text{ м}^3/\text{ч}$ , глубина скважины 40 м, диаметр фильтра  $D_f - 168$  мм, длина фильтра  $L_f - 9$ м, удельный дебит  $q$  на  $1\text{ м}^2$  поверхности -  $2,5\text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$ .

Скважина № 52215/95, д. Прилукская Слобода, Минский р-н:  $Q=10\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $D_f - 168$ мм,  $L_f = 15$ м, глубина скважины 98м,  $q = 1,2\text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$  фильтра.

Скважина № 52212/95 д. Толкячевичи, Узденский р-н:  $Q= 8\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $D_f - 219$ мм,  $L_f=5$ м, глубина скважины 49м,  $q = 2,3\text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$  фильтра.

Из приведенного выше видно, что удельный дебит скважины с многослойной фильтрующей оболочкой в 2-4 раза больше, чем скважин с однослойным фильтром. Применение предлагаемой конструкции фильтра позволит существенно снизить затраты на строительство скважин за счет возможного уменьшения ее диаметра и экономии дорогостоящих материалов – проволоки из нержавеющей стали, латунной сетки, фильтрующей засыпки из промытого песка.

## **ВЫВОДЫ**

1. Разработана конструкция фильтра водозаборной скважины, водоприемная поверхность которой состоит из двух слоев волокнисто-пористой полиэтиленовой оболочки различной пористости – мелкопористого и крупнопористого.

2. Определены физико-механические и фильтрационные свойства мелкопористых и крупнопористых полиэтиленовых пластин.

3. Установлены существенные различия коэффициентов фильтрации многослойной фильтрующей оболочки в зависимости от порядка расположения пластин на наружной

поверхности трубы скважины. Расположение на трубе крупнопористой пластины при работе в песчаных грунтах увеличивает коэффициент фильтрации более, чем в два раза.

4. На водозаборной скважине в г.п. Уречье Любанского района Минской области апробирована новая конструкция фильтра с двухслойной полиэтиленовой оболочкой различной пористости, которая на 20-30% увеличивает дебит скважины по сравнению с однослойной оболочкой.

5. Применение многослойной оболочки дает возможность заменить импортные материалы (латунную сетку и проволоку из нержавеющей стали) и снизить стоимость скважины.

#### **Список использованных источников:**

1. Гуринович, А. Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / Мн., УП «Технопроект», 2001, 303 с.

2. Гуринович, А. Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами: планирование, проектирование, строительство и эксплуатация / Мн., УП «Технопроект», 2004, 247 с.

3. Климков, В. Т. Совершенствование фильтров из волокнистых полимерных материалов для водозаборных скважин / В. Т. Климков, А. И. Митрахович // Мн., ж. «Мелиорация», 2012, с.43-49.

4. Митрахович, А. И. Фильтры водозаборных скважин с пористой водоприемной поверхностью / А. И. Митрахович, В. Т. Климков, В. А. Немиро // Мн., ж. «Вода», 2003, №6, с.21-22.

5. Бугай, Н.Г. Размеры пор в волокнистых фильтрах / М., «Мелиорация и водное хозяйство», 1974, №29, с.94-101.