

УДК 628.112

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Климков В.Т., доктор технических наук

Белорусский национальный технический университет

Митрахович А.И., кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации»

Ключевые слова: фильтры водозаборных скважин, полимерные нетканые материалы, несовершенство скважин по характеру вскрытия пласта, гравийная обсыпка фильтра

Введение

Централизованное водоснабжение населения Республики Беларусь основывается на десятках тысяч артезианских скважин. Однако многие из них в процессе эксплуатации значительно снизили свою производительность или совсем вышли из строя из-за неэффективной конструкции фильтров, определяющих их дебит и срок службы. В республике на водозаборах подземных вод преобладают сетчатые и проволочные фильтры с каркасом из металлических перфорированных труб с водоприемной поверхностью (оболочкой) из латунной сетки или навитой на них с определенным шагом проволоки из нержавеющей стали или оцинкованной. Основными причинами выхода из строя фильтров является их кольматация и коррозия. При этом кольматаж проявляется заклиниванием частиц песка во входных отверстиях и закупоркой их железистыми соединениями. В результате уменьшается площадь водоприемных отверстий и возрастает гидравлическое сопротивление при поступлении воды из водоносного пласта в скважину, снижается ее дебит.

Несмотря на то, что на сегодня существует много конструкций фильтров, продолжается поиск и создание фильтров, которые бы устойчиво и надежно работали в различных гидрогеологических условиях. При этом крайне важен и экономический фактор. Практика показывает, что во многих случаях не находят применения и хорошие конструкции фильтров из-за сложностей, возникающих на стадии изготовления, строительства или эксплуатации, а также из-за включения импортных материалов в конструкцию фильтра, существенно увеличивающих их стоимость и делающих недоступным для потребителя. Решение проблемы нами видится в использовании новых отечественных материалов и технологий.

В последнее время при сооружении скважин стали применять многослойные гра-

вийные фильтры, изготавливаемые промышленным способом на основании клееного связующего [1]. При этом для повышения надежности и долговечности используется обмотка каркаса специальной проволокой из нержавеющей стали трапецеидального сечения, на которую и наклеиваются многослойные гравийные фильтры. Такой одно- или двухслойный фильтр изготавливается на поверхности и опускается в предварительно расширенную фильтровую зону.

Использование таких фильтров позволяет увеличить удельный дебит скважин, однако процесс их изготовления довольно сложный и трудоемкий, поскольку он включает нанесение одного-трех слоев гравия различной крупности. Такое покрытие существенно утяжеляет фильтр, возникают проблемы с его транспортировкой и хранением.

Конструкция фильтров на основе полимерных материалов

Другим путем решения проблемы является создание фильтров с пористой водоприемной поверхностью из волокнистых, в частности, полимерных материалов. Такой фильтр менее трудоемкий в изготовлении и более технологичен при строительстве скважин, а при использовании отечественных материалов, - и более дешевый.

Определенный опыт использования таких фильтров при строительстве скважин уже имеется, но пока они еще не получили широкого применения из-за недостаточной проработанности вопросов научного обеспечения проектирования и строительства скважин с такими фильтрами.

Известные волокнистые полимерные материалы, применяемые в строительстве и получившие название *геотекстили*, не пригодны для фильтров скважин из-за слишком малых диаметров элементарных волокон, которые в известных геотекстилях составляют 17-20 мкм. Это определяет их недостаточную пропускную способность и быструю кольматируемость. Существующая технология изготовления геотекстилей с высокой вытяжкой не позволяет получать материал с параметрами, необходимыми в фильтрах скважин. По результатам исследований диаметр элементарных волокон для фильтров скважин должен быть в пределах 180-200 мкм. Малообъемная потребность в фильтрах скважин не оправдывает переналадку оборудования, изготавливающего геотекстиль, на выпуск материала с большим диаметром элементарных волокон.

Таким образом, возможности, предоставляемые новыми материалами, ставят и новые исследовательские и конструкторские задачи. Институтом механики металлополимерных систем НАН Республики Беларусь была разработана технология и в сотрудничестве с Институтом мелиорации налажено изготовление волокнистых пластин из термоскрепленных волокон полиэтилена. Этот способ позволяет изготавливать материалы с различными диаметрами элементарных волокон и, соответственно, с различной пористостью и коэффициентом фильтрации. Освоен выпуск пластин размером 1000х4000 мм, толщиной 3-6 мм при пористости 60-80% и коэффициенте фильтрации 600-800 м/сут [2].

В отличие от гравийных фильтров, скелет которых практически не деформируется

под нагрузками, действующими на фильтр скважины, полимерные волокнистые пластины сжимаются под нагрузкой, при этом уменьшается их пористость и коэффициент фильтрации. Установлено, что в полиэтиленовом волокнистом материале (ПЭ-холсте) с диаметром элементарных волокон 120–420 мкм до 90% общего снижения коэффициента фильтрации происходит при давлении до 0,2 МПа. Объясняется это тем, что на этом этапе происходит сближение отдельных волокон, их более плотная укладка. Пористость при этом резко уменьшается. С увеличением нагрузки начинают деформироваться уже сами волокна, на что требуются большие усилия. Но при этом пористость и, соответственно, коэффициент фильтрации изменяются незначительно (рисунок 1).

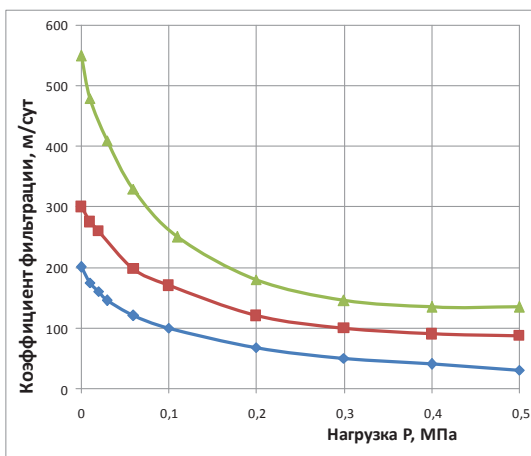


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента фильтрации K_f ПЭ-холста от сжимающей нагрузки P

Создать многослойный фильтр из полиэтиленовых пластин разной плотности гораздо проще, чем из гравия. На первом этапе вполне допустимо использование соотношения параметров слоев аналогичное гравийным обсыпкам. В дальнейшем, после тщательных лабораторных опытов, потребуются уточнения, которые позволят создать оптимальные конструкции фильтров, обеспечивающие высокий дебит и долговечность.

В связи с этой задачей создания высокодебитного фильтра с волокнистой водоприемной поверхностью несколько упрощается. Отпадает необходимость в водоприемной оболочке большой толщины, но требуется тщательно обосновать выбор его параметров: толщины, диаметра элементарных волокон, рельефа поверхности и др.

Методика расчета производительности водозаборных скважин

Рассматривая наиболее распространенную конструкцию фильтра с трубчатым каркасом и круглой или щелевой перфорацией, следует остановиться на влиянии различных факторов, определяющих потери напора в фильтре.

При движении потока воды из водоносного пласта в полость скважины на первом участке возникают потери напора на границе грунта с водоприемной поверхностью первого слоя фильтрационной оболочки (первого слоя фильтра), далее – потери в самом слое (первом и втором, а если есть – то и в третьем). Следующим участком является пространство между фильтрующей оболочкой и перфорационными отверстиями каркаса, далее – потери напора в отверстиях каркаса и, наконец, – потери напора на выходе из перфорационных отверстий, включая вихревые потери от взаимодействия присоединяемого расхода из отверстий с потоком воды в полости фильтра. Потерями напора при

движении воды от фильтра до погружного насоса можно пренебречь. При необходимости они просто определяются по обычным формулам расчета потерь напора в трубах.

Обвертка трубчатого каркаса непосредственно волокнистым фильтром недостаточно эффективна, поскольку при этом проникновение воды в скважину происходит только над отверстиями в каркасе (рис. 2). Для того, чтобы фильтр принимал воду из пласта всей своей поверхностью, между каркасом и фильтрующей оболочкой должны быть установлены опорные элементы, образующие полости, по которым вода, прошедшая через оболочку, могла бы с минимальными потерями напора достичь перфорационных отверстий каркаса. Размер этих полостей

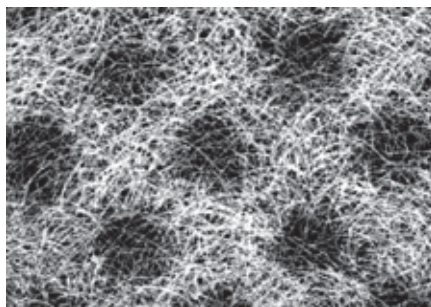


Рисунок 2 – Полиэтиленовая волокнистая оболочка фильтра (темные пятна – это участки оболочки, расположенные непосредственно над отверстиями каркаса)

и, соответственно, потери напора в них зависят от высоты опорных элементов. На рисунке 3 представлены графики зависимости потерь напора от высоты опорных элементов, т.е. от расстояния между каркасом и фильтрующей оболочкой [3].

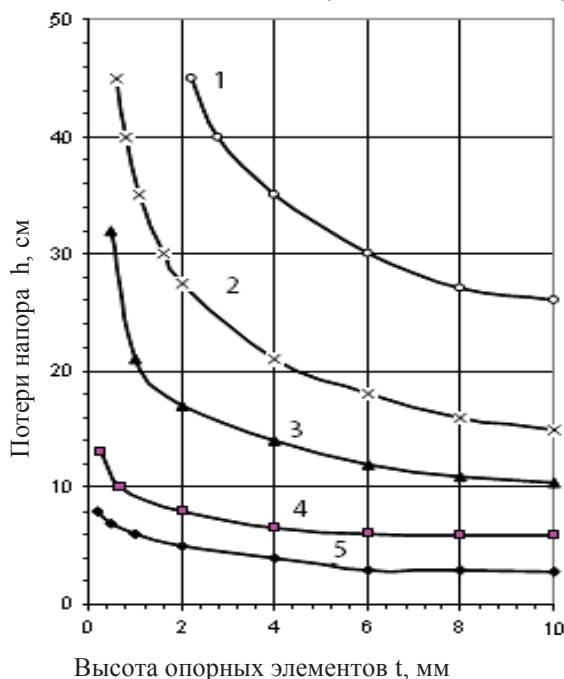


Рисунок 3 – Графики зависимости потерь напора (h) от высоты (t) опорных элементов при скважности каркаса 2 %:
 1- при скорости фильтрации 2,5 см/с; 2 - при 2,0 см/с;
 3 - при 1,0 см/с; 4 - при 0,5 см/с; 5 - при скорости фильтрации 2 см/с и скважности каркаса 10 %

Из графиков можно сделать вывод о значительном влиянии высоты подкладок на потери напора в фильтре. Кроме того, при увеличении скважности каркаса это влияние несколько снижается. Объясняется это более частым расположением входных отверстий и уменьшением расстояний между ними. Исследованиями в секторном грунтовом лотке было установлено, что гравийная обсыпка фильтра не должна содержать частиц, кольматирующих пластины (опыты показали, что это не происходит, если из гравийной обсыпки отсеяны частицы мельче 0,6 мм) [2].

В практических расчетах дебита скважин конструкция фильтра учитывается в виде поправки на несовершенство скважины по характеру вскрытия пласта ζ_2 в известной формуле [4].

$$Q = \frac{2\pi kmS}{\Phi + \zeta_1 + \zeta_2} \quad (1)$$

где Q – дебит скважины;

k – коэффициент фильтрации водоносного пласта;

m – мощность пласта;

S – понижение уровня воды в скважине;

Φ – безразмерное фильтрационное сопротивление скважины, зависящее от расположения скважины в пласте и относительно других скважин группового водозабора;

ζ_1 – поправка на несовершенство скважины по степени вскрытия пласта.

Коэффициент ζ_2 , зависящий от конструкции фильтра, Грикевич Э.А. [5] рекомендует определять по формуле

$$\zeta_2 = \frac{km}{l_\phi} \sum_{k=1}^n \frac{c_k \ln(r_{1k} / r_{2k})}{K_k} \quad (2)$$

где n – число слоев фильтра;

c_k – коэффициент, учитывающий взаимодействие слоев фильтра; для волокнистых оболочек фильтров $c_k = 1$;

r_{1k}, r_{2k} – наружный и внутренний радиусы k -го слоя фильтра;

l_ϕ – длина фильтра;

K_k – коэффициент фильтрации рассматриваемого слоя фильтра.

Формула (2) не учитывает скважность фильтра и влияние перекрытия входных отверстий частицами гравийной обсыпки. Для определения оптимальной скважности (η) Грикевич Э.А. [5] предложил формулу

$$\eta = 0,53 \frac{d}{\mu l_\phi} \quad (3)$$

где d – внутренний диаметр трубы (каркаса);

μ – коэффициент расхода входных отверстий;

Для расчета фильтров из витых винипластовых труб диаметром 200 и 300 мм А.И. Кривоног [6] получил формулу, учитывающую степень перфорации трубчатого каркаса

$$Q = 0,02dl_\phi \eta \sqrt{2gh_{mp}} \quad (4)$$

где Q – дебит скважины;

η – степень перфорации трубы (скважность);

h_{mp} – напор на стенке перфорированной трубы.

Однако в этой формуле определенную сложность представляет определение напора на стенке трубы. Для разных удельных дебитов им получены графики зависимости

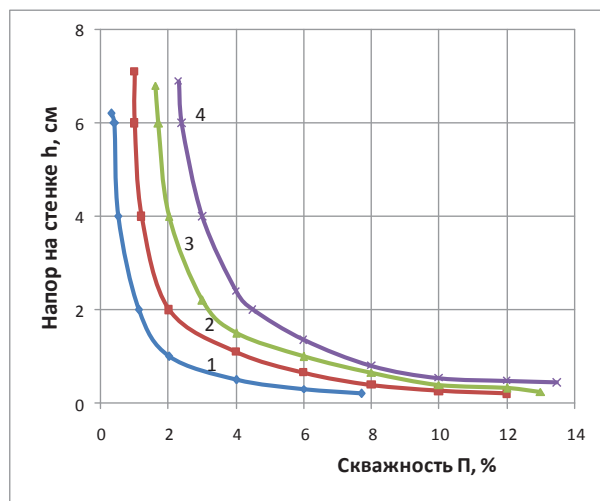


Рисунок 4 – Графики зависимости $h_{тр}=f(П)$ для труб диаметром 300 мм при удельном расходе q на 1 м трубы: 1 – $q = 3,0$ л/с; 2 – $q = 7,0$ л/с; 3 – $q = 10$ л/с; 4 – $q = 15$ л/с [5].

этого напора от скважности трубы П (рис. 4). Из анализа графиков сделан вывод, что оптимальная скважность зависит от удельного расхода и должна составлять для удельного расхода $q = 3$ л/с (при диаметре труб 300 мм) – 4%; для удельного расхода 7 л/с – 6%; 10 л/с – 8% и для 15 л/с – 10%. При этом под удельным расходом понимается не общепринятое отношение дебита скважины к понижению уровня воды в ней, а отношение дебита к длине фильтра.

Формула (4) позволяет определять потери напора в перфорационных отверстиях фильтра при известном дебите, но для определения дебита скважин ее нельзя использовать, поскольку она не учитывает потери напора в фильтрационной оболочке и в пространстве между оболочкой и каркасом фильтра.

Согласно расчетам по формуле (3) оптимальная скважность для диаметров 200 и 300 мм должна составлять 16,6 и 23,6% при длине фильтра 1000 мм. Расхождение со значениями, предложенными Грикевичем, более чем в два раза.

Пока нет зависимостей, учитывающих все параметры фильтра и их влияние на дебит скважины. Поэтому следует пользоваться формулами (1) и (2) с проверкой по формуле (4), а скважность назначать из условия обеспечения устойчивости труб к действию горного давления на фильтр, т.е. для металлических труб она не должна превышать 20%, а для пластмассовых – 10%. При этом значения $h_{тр}$ могут быть вычислены по формуле (5)

$$h_{тр} = \frac{Q\zeta_2}{2\pi km} \quad (5)$$

Производственные испытания скважин с фильтрами с водоприемной поверхностью из полиэтиленовых пластин подтвердили результаты лабораторных опытов, показали их высокую производительность и надежность.

Внедрение конструкций скважин с волокнистыми полиэтиленовыми оболочками

производилось в Республике Беларусь и в Российской Федерации. При этом дебит отдельных скважин достигал 300-400 м³/час при удельном дебите до 50 м³/час.

Пористые волокнистые полиэтиленовые пластины намного дешевле латунной сетки и проволоки из нержавеющей стали.

Выводы

Представлены результаты исследований и предложен способ учета несовершенства скважин по характеру вскрытия пласта при использовании водоприемной оболочки из волокнистого полиэтилена. Использование пористого материала из термоскрепленных полиэтиленовых волокон позволяет уменьшить стоимость скважин при повышении их эффективности.

Литература

1. Черношей, Н. Небольшой итог классной команды / Н. Черношей // Вода. – 2001. – №11. – С. 2-3.
2. Климков, В.Т. Фильтры водозаборных скважин с пористой водоприемной поверхностью / В.Т. Климков, А.И. Митрахович, В.А. Немиро // Вода. – 2003. – №6. – С.21-22.
3. Исследование волокнистых материалов в фильтрах водозаборных скважин / В.Т. Климков [и др.] // Строительная наука и техника. – 2008. – №2.
4. Старинский, В.П. Водозаборные и очистные сооружения коммунальных водопроводов : учебное пособие / В.П. Старинский, Л.Г. Михайлик / - Минск : Выш. шк., 1989, – 269 с.
5. Грикевич, Э.А. Гидравлика водозаборных скважин / Э.А. Грикевич / М.: «Недра», 1986, – 232 с.
6. Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления : научное издание / Н.Г. Пивовар [и др.] – Киев: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 332 с.

Summary

Klimkov V.T., Mitrahovich A.I.

IMPROVEMENT OF THE FILTER FIBER POLYMER MATERIALS FOR WATER WELLS

It is made the analysis of the materials used for the device filters water wells. It is marked the features of their work in the presence of gravel backfill and without it. It is examined the influence of various factors on the loss of pressure in the filter and the flow rate per well. It is shown the method for calculating the flow rate of wells taking into account the imperfect nature of wells by the character of baring with a surface water intake of fibrous polyethylene. It is the optimal duty cycle for filter diameter of 200 mm and 300 mm. The use of filters on wells of polyethylene fiber can reduce their costs and improve efficiency as compared to wells with wire filters made of stainless steel.

Поступила 25 января 2012 г.