

УДК 628.112.24

В.И. Щербаков, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: scher@vgasu.vrn.ru)

А.А. Акульшин, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ackulshin2018@yandex.ru)

В.С. Переверзева, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: lp-93@yandex.ru)

И.Г. Шаповалов, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ackulshin2018@yandex.ru)

ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Статья посвящена актуальной в настоящее время проблеме оптимального проектирования, строительства и эксплуатации систем водоснабжения и их элементов. Ключевым элементом скважинного водозабора является водозаборная скважина. Качество ее проектирования и строительства обуславливает работу водозабора в целом. Недостатки в конструкции скважины приводят к нарушению работы всей системы водоснабжения того или иного объекта.

Стоимость фильтра, в зависимости от конструкции скважины, составляет 20-30% от общей цены на её сооружение. Важнейшими параметрами фильтра, влияющими на стоимость скважины, являются его длина и диаметр. Обоснование минимального диаметра фильтра, обеспечивающего проектный водоотбор и допустимое водопонижение, позволяет существенно сократить стоимость скважины с учетом того, что современное насосное оборудование допускает использование надфильтровых колонн малых диаметров.

Выбор фильтра, подходящего к конкретным геологическим условиям скважины и обеспечивающего длительное время эксплуатации, представляет собой весьма сложную техническую задачу. Геометрические размеры фильтра обуславливаются фильтрационными свойствами водоносного горизонта, гранулометрическим составом песков, техническими условиями эксплуатации скважины. Многие из них, такие, как минимальный внутренний диаметр фильтра, ожидаемая производительность скважины, уровень понижения в скважине, определены на основании опытных данных.

Основным и решающим показателем является водозахватная способность фильтра и допустимые скорости фильтрации. При расчете фильтров необходимо определить их длину, диаметр, скважность и размер проходных отверстий. Данные параметры фильтра определяют с таким расчетом, чтобы входные скорости не превышали допустимую скорость для фильтра, т. е. $V_{\text{ф}} \leq V_{\text{доп}}$.

В статье предложена методика подбора оптимального диаметра и длины скважинного фильтра водозаборной скважины. На основании методики приведен пример подбора параметров фильтра для гидрогеологических условий г. Курска. Расчет показал, что применение критерия входной скорости при проектировании скважин позволяет значительно снизить стоимость сооружения скважин при обеспечении проектного дебита и допустимого понижения уровня.

Ключевые слова: водозаборная скважина; фильтр; скорость фильтрации; критерий входной скорости.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-3-6-12

Ссылка для цитирования: Подбор параметров фильтра при проектировании водозаборных скважин / В.И. Щербаков, А.А. Акульшин, В.С. Переверзева, И.Г. Шаповалов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 3(78). С. 6-12.

В последнее время в связи с возросшей загрязненностью поверхностных водотоков и водоёмов всё большее

внимание уделяется подземным источникам водоснабжения. В России использование подземных вод составляет 13 – 19%

от общего водопотребления и более 40% от потребления воды для хозяйственно-питьевых целей.

Водозаборные сооружения являются одним из наиболее важных элементов системы водоснабжения, обуславливающим эксплуатационную надежность всей системы и ее технико-экономические показатели. Поэтому в решении общих проблем питьевого водоснабжения из подземных источников важную роль играют задачи оптимального проектирования, строительства и эксплуатации систем водоснабжения и их элементов.

Надежность работы скважин, увеличение срока их межремонтной эксплуатации зависит от правильного подхода к выбору наиболее рационального способа получения подземных вод, в частности конструктивных решений водозаборных скважин. Всё большее значение приобретает разработка новых, перспективных конструкций каркасов фильтров, выбор форм и размеров входных отверстий, обеспечивающих минимальные гидравлические сопротивления и устойчивость против кольятации.

Стоимость фильтра, в зависимости от конструкции скважины, составляет 20–30% от общей цены на её сооружение [1, 10]. Важнейшими параметрами фильтра, влияющими на стоимость скважины, являются его длина и диаметр. Обоснование минимального диаметра фильтра, обеспечивающего проектный водоотбор и допустимое водопонижение, позволяет существенно сократить стоимость скважины с учетом того, что современное насосное оборудование допускает использование надфильтровых колонн малых диаметров. Например, получившие широкое применение скважинные насосы «Grundfos» обеспечивают широкий диа-

пазон производительностей и напоров при малом наружном диаметре.

Для определения диаметра фильтра рекомендуемым критерием в отечественной литературе является скорость восходящего потока в его верхнем сечении, которая не должна превышать 1,5–2 м/с. Таким образом, если скорость восходящего потока будет, например, на порядок ниже, критерий соблюден, а завышенные диаметр фильтра и стоимость скважины обоснованы. Необходимо отметить, что само по себе увеличение диаметра фильтра не приводит к пропорциональному увеличению производительности или удельного дебита скважины [2].

Большое внимание в отечественной литературе уделяется выбору длины фильтра. Однако существующие рекомендации применимы в основном к напорным пластам. Что же касается безнапорных водоносных горизонтов, то единственной оговоркой является то, что мощность горизонта при расчете длины фильтра должна быть уменьшена на половину величины проектного понижения уровня.

Анализ конструкций скважин на многих водозаборах подземных вод в безнапорных пластах свидетельствует о том, что во многих случаях длина фильтров составляет 70–80% мощности пласта и возможное понижение уровня оказывается незначительным. Со временем производительность скважин снижается вследствие процессов кольятатажа фильтров. Это требует опускания насоса в зону фильтра, что недопустимо по действующим нормам [3, 4].

В зарубежных странах для скважин в безнапорных водоносных горизонтах существует норма, в соответствии с которой фильтры должны устанавли-

ваться в нижней трети водоносного пласта [5]. Это обеспечивает достаточный запас понижения для отбора проектного дебита и согласуется с допустимым понижением уровня, составляющим 2/3 мощности пласта. В неоднородных безнапорных пластах большой мощности принцип выбора наиболее проницаемого интервала применим только к нижней части разреза, вместе с тем в напорных водоносных горизонтах местоположение подобного интервала не имеет значения.

При определении оптимальной длины фильтра скважин на воду, по исследованиям профессора В. С. Алексеева, практически нецелесообразно увеличение длины фильтра более 10 м для большинства гидрогеологических условий. Данный вывод вытекает из учета неравномерности нагрузки фильтра по длине и базируется на натурных исследованиях на различных водозаборах [5, 6]. Для коротких фильтров (3–5 м), которые следует устанавливать, например, в безнапорных пластах мощностью 10–15 м, такая вероятность российскими проектировщиками даже не обсуждается из-за отсутствия опыта применения и методики обоснования. По этой причине целесообразным кажется рассмотреть зарубежный опыт проектирования скважин на воду, закрепленный в различных руководствах, стандартах и специальной литературе.

Для обоснования длины и диаметра фильтра водозаборных скважин в большинстве стран мира используется критерий допустимой скорости входа воды в фильтр $V_{вх}$ (м/с), которая определяется из выражения:

$$V_{вх} = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{\pi D L_{\phi} \eta}, \quad (1)$$

где F – площадь проходных отверстий фильтра, м^2 ; L_{ϕ} – длина фильтра, м; D – диаметр фильтра, м; η – скважность фильтра.

Критерий входной скорости считается важнейшим инструментом для проектирования скважин на воду, позволяющим минимизировать стоимость сооружения скважины при обеспечении ее высокой эффективности. Рекомендуемая величина входной скорости составляет 0,03 м/с [2].

Американская ассоциация водоснабжения (AWWA) в своих стандартах проектирования скважин рекомендует входную скорость от 0,03 до 0,46 м/с, однако делает оговорку, что верхний предел необходимо соизмерять с реальными гидрогеологическими условиями и практикой проектирования и сооружения скважин в конкретном регионе.

При проектировании скважины требуется определить последовательно: гранулометрический анализ образцов водовмещающих пород целевого горизонта, интервал установки фильтра, тип гравийной обсыпки, размер проходных отверстий, диаметр фильтра.

Размеры проходных отверстий фильтров подбираются в зависимости от гранулометрического состава контактирующей породы водоносного пласта или гравийной обсыпки. Максимальный размер отверстий фильтра принимается по таблице. Он не должен быть больше минимального диаметра частиц гравийной обсыпки, примыкающей к стенкам фильтра.

Параметры песчано-гравийной и гравийной обсыпки для фильтров

Минимальный диаметр зерен D_{min} , мм	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	5,5	8,0
Максимальный диаметр зерен D_{max} , мм	1,0	1,5	2,0	3,0	5,5	8,0	16,0
Средний диаметр зерен D_{50} , мм	0,75	1,12	1,5	2,5	4,25	6,75	12
Максимальный размер отверстий фильтра, мм	0,5	0,75	1,0	2,0	3,0	4,0	4,0

Критерий входной скорости применяется после того, как известны длина фильтра и его скважность. Тогда, задавшись минимальным значением скорости 0,03 м/с, диаметр фильтра можно найти по формуле

$$D = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{\pi V_{вх} L_{\phi} \eta}. \quad (2)$$

Окончательное решение необходимо принимать с учетом реальных гидрогеологических условий, учитывая, что сокращение длины фильтра приводит к увеличению несовершенства скважины по степени вскрытия, т. е. дополнительному понижению уровня.

Приведем пример подбора длины и диаметра фильтра для гидрогеологических условий г. Курска. В настоящее время в Курской области наибольший водоотбор подземных вод приходится на альб-сеноманский водоносный горизонт – около 61%. Данный водоносный горизонт распространен повсеместно, кроме территорий, приуроченных к долинам рек, где его отложения размыты. На большей части территории области он является первым от поверхности. Принято, что водоносный горизонт представляет собой как единый четвертично-сеноман-аптский комплекс, гидравлически связанный [7].

Четвертичные отложения, представленные мелкозернистыми песками, по

своим фильтрационными свойствами существенно уступают нижележащим пескам $K_{1+2}al+cm$ сеноманского горизонта. Учитывая, что при эксплуатации водозаборных скважин динамический уровень на водозаборе будет близкий к подошве – той части водоносного горизонта, а в водозаборных скважинах он будет еще ниже, то при выборе места установки фильтров целесообразно рассматривать как эксплуатируемый, водоносный горизонт отложения песков сеноманского горизонта, питаемого как верхними четвертичными песками, так и нижними аптскими. Мощность этого слоя около 15 м [8, 9].

По принятым в теории и практике положениям этот горизонт при сооружении скважин на воду должен быть оборудован фильтром в нижней части в пределах $2/3$ мощности, что примерно равно 10 м.

С другой стороны, геометрические размеры фильтра обуславливаются фильтрационными свойствами водоносного горизонта, гранулометрическим составом песков, техническими условиями эксплуатации скважины. Многие из них определены, такие как минимальный внутренний диаметр фильтра, ожидаемая производительность скважины на основании опытных данных, уровень понижения в скважине. Следовательно, основным и решающим показателем является

водозахватная способность фильтра и допустимые скорости фильтрации.

Водозахватная способность фильтра определяется следующим образом:

$$Q = FV_{\phi},$$

где $F = \pi D l_{\phi}$; Q – расход водозаборной скважины, м³/сут. (м³/ч); F – площадь фильтра, м²; D – диаметр фильтра, мм; l_{ϕ} – длина фильтра, м; V_{ϕ} – допустимая скорость фильтрации, м/сут.

Допустимую скорость фильтрации, ограниченную явлением суффозии, определяют по формуле для рыхлой обсыпки:

$$V_{\phi} = 1000K(d_{50}/D_{50})^2,$$

где K – коэффициент фильтрации, м/сут.; D_{50} – средний диаметр частиц обсыпки, мм; d_{50} – средний диаметр частиц грунта, мм.

В нашем случае средний коэффициент фильтрации принят ≈ 10 м/сут.:

$$V_{\phi} = 1000 \cdot 10(1/10)^2 = 100 \text{ м/сут.}$$

По другим формулам, например С. К. Абрамова, V_{ϕ} выше и составляет 140 м/сут. Примем допустимую скорость фильтрации 120 м/сут. При дебите скважины 50 м³/ч суточная подача скважины составит 1200 м³/сут. Диаметр скважины принимаем 273 мм.

При известных Q и V_{ϕ} длина фильтра составит

$$l_{\phi} = \frac{1200}{3,14 \cdot 0,273 \cdot 120} = 11,5 \text{ м.}$$

Задавшись минимальным значением скорости 0,03 м/с, определим диаметр фильтра при той же производительности 50 м³/ч (0,014 м³/с). Фильтр проволочный с размером щели 2 мм, скважностью 20 %.

$$D = \frac{0,014}{3,14 \cdot 11,5 \cdot 0,2 \cdot 0,03} = 6,4 \text{ мм.}$$

Полученное значение не может быть принято, так как, во-первых, не выполняется условие допустимой скорости восходящего потока в верхнем сечении

фильтра ($v_{\phi} < 1,5$ м/с), во-вторых, рекомендуемый минимальный диаметр фильтра составляет 150 мм, что диктуется условиями освоения и регенерации скважин.

Приняв диаметр фильтра 150 мм, убедимся, что условие $v_{\phi} < 1,5$ м/с выполняется, а входная скорость будет ниже рекомендуемой и составит 0,015 м/с. Это допускает сокращение длины фильтра. Если определить L_{ϕ} при $D=0,15$ м и $v_{\text{вх}}=0,03$ м/с, оптимальная длина фильтра составит 5 м.

Таким образом, при длине фильтра около 5 м, диаметре 150 мм и среднем коэффициенте фильтрации 10 м/сут. скважина обеспечивает дебит 50 м³/ч. Однако в месте установки фильтра гранулометрический состав песков отличается большой крупностью и большим коэффициентом фильтрации, чем принят для единого горизонта четвертично-сеноман-аптского. В эксплуатационном отношении этот горизонт для скважин на воду сложно использовать как единый, так как он неоднородный по геологическому строению и фильтрационным свойствам по глубине. Приток к фильтру будет значительно большим в месте его установки, что обеспечивает большой запас по пропускной способности фильтра.

Список литературы

1. Акульшин А.А., Шалай И. С., Переверзева В. С. Разработка фильтров водозаборных скважин для гидрогеологических условий водозаборов г. Курска // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2014. №2. С. 39–44.
2. Тесля В. Г. Обоснование длины и диаметра фильтра при проектировании скважин на воду // Водоснабжение и са-

нитарная техника. 2009. № 10, ч. 2. С. 32–36.

3. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями № 1, 2). М., 2015.

4. Алексеев В.С. Современное состояние нормативной базы в области водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 3. С. 4–12.

5. Алексеев В.С., Тесля В.Г. Критерии проектирования фильтров водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 11. С. 21–28.

6. Алексеев В.С. Влияние неравномерности нагрузки фильтров на приток к скважине // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 8. С. 34–37.

7. Гидрогеологические исследования на водозаборах Курской области с целью

выработки рекомендаций по их оптимальной эксплуатации: отчет по НИР. Белгород: Экотон, 2006. 159 с.

8. Щербаков В.И., Акульшин А.А. Водозаборные сооружения из подземных источников: монография. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. Germany, 2017. 184 p.

9. Акульшин А.А., Бредихина Н.В., Переверзева В. С. Сооружение и эксплуатация скважинных водозаборов Курской области. Курск, 2017. 124 с.

10. Акульшин А.А., Петрченко В.П., Шалай И.С. Классификация фильтров водозаборных скважин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. №2, ч.3. С. 207–210.

Поступила в редакцию 29.03.18

UDC 628.112.24

V.I. Shcherbakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: scher@vgasu.vrn.ru)

A.A. Akulshin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ackulshin2018@yandex.ru)

V.S. Pereverzeva, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: lp-93@yandex.ru)

I.G. Shapovalov, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ackulshin2018@yandex.ru)

SELECTION OF PARAMETERS OF THE FILTER AT DESIGN OF WATER WELLS

The article is devoted to present the problem of optimal design, construction and operation of water supply systems and their elements. A key element of the downhole water intake is water intake well. The quality of its design and construction determines the operation of the water intake as a whole. Disadvantages in the design of the well lead to disruption of the entire water supply system of a particular facility.

The choice of a filter suitable for specific geological conditions of the well and ensuring a long operating time is a very complex technical task. When calculating the filters, it is necessary to determine their length, diameter, duty cycle and the size of the through holes. These filter parameters are determined so that the input speed does not exceed the permissible speed for the filter, i.e. $V_{\phi} \leq V_{\text{доп.}}$

The article suggests a method for selecting the optimal diameter and length of a downhole filter of a water intake well. Based on the methodology, an example is given of the selection of filter parameters for hydro-geological conditions in the city of Kursk. The calculation showed that application of the input speed criterion for well design allows to significantly reduce the cost of wells while ensuring the design production rate and permissible level reduction.

Key words: water well; filter; filtration rate; input speed criterion.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-3-6-12

For citation: Shcherbakov V.I., Akulshin A.A., Pereverzeva V.S., Shapovalov I.G. Selection of Parameters of the Filter at Design of Water Wells. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 3(78), pp. 6-12 (in Russ.).

Reference

1. Akul'shin A.A., Shalaj I. S., Pereverzeva V. S. Razrabotka fil'trov vodozabornyh skvazhin dlja gidrogeologicheskikh uslovij vodozaborov g. Kurska. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2014, no.2, pp. 39–44.

2. Teslja, V. G. Obosnovanie dliny i diametra fil'tra pri proektirovanii skvazhin na vodu. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika, 2009, no. 10, pt. 2, pp. 32–36.

3. SP 31.13330.2012. Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzhenija. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.04.02-84 (s Izmenenijami № 1, 2). Moscow, 2015.

4. Alekseev V.S. Sovremennoe sostojanie normativnoj bazy v oblasti vodosnabzhenija. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika, 2014, no. 3, pp. 4–12.

5. Alekseev V.S., Teslja V.G. Kriterii proektirovanija fil'trov vodozabornyh skva-

zhin. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika, 2009, no. 11, pp. 21–28.

6. Alekseev V.S. Vlijanie neravnomernosti nagruzki fil'trov na pritok k skvazhine. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika, 2008, no. 8, pp. 34–37.

7. Gidrogeologicheskie issledovanija na vodozaborah Kurskoj oblasti s cel'ju vyrabotki rekomendacij po ih optimal'noj jekspluatacii. Otchet po NIR. Belgorod, 2006. 159 p.

8. Shcherbakov V.I., Akul'shin A.A. Vodozabornye sooruzhenija iz podzemnyh istochnikov. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. Germany, 2017, 184 p.

9. Akul'shin A.A., Bredihina N.V., Pereverzeva V. S. Sooruzhenie i jekspluatacija skvazhinnyh vodozaborov Kurskoj oblasti. Kursk, 2017. 124 p.

10. Akul'shin A. A., Petrechenko V.P., Shalaj I.S. Klassifikacija fil'trov vodozabornyh skvazhin. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2012, no.2, pt.3, pp. 207–210.