

В.Г. Тесля

Обоснование длины и диаметра фильтра при проектировании скважин на воду

При проектировании водозаборных скважин, каптирующих рыхлые водовмещающие отложения, основной задачей является выбор типа фильтра и обоснование его параметров, к числу которых относятся диаметр и длина фильтра, размер проходных отверстий, состав гравийной обсыпки, ее толщина и пр. Важнейшими параметрами фильтра, от которых зависит стоимость скважины, являются его длина и диаметр.

Обоснование минимального диаметра фильтра, обеспечивающего проектный водотбор и допустимое понижение, позволяет существенно сократить стоимость скважины с учетом того, что современное насосное оборудование допускает использование и надфильтровых колонн малых диаметров. Так, например, получившие широкое применение скважинные насосы «GRUNDFOS» обеспечивают широкий диапазон производительностей и напоров при малом наружном диаметре. Насосы SP 17...SP 60 производительностью 20 ...70 м³/ч могут быть установлены в надфильтровых колоннах диаметром 6" (150 мм).

Нормативной базой для проектирования скважин на воду является СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», в котором вопросы обоснования длины и диаметра фильтра опущены вовсе, а рекомендации, приведенные в «Пособии по проектированию сооружений для забора подземных вод» к упомянутым СНиП и специальной литературе, допускают множественные толкования и приводят к необоснованному завышению параметров фильтра.

Для расчета диаметра фильтра рекомендуемым критерием в отечественной литературе является скорость восходящего потока в его верхнем сечении, которая не должна превышать 1,5 – 2 м/с. Следовательно, если скорость восходящего потока будет, например, на порядок ниже, критерий соблюден, а завышенные диаметр фильтра и стоимость скважины – обоснованы. Здесь уместно напомнить, что само по себе увеличение диаметра фильтра не приводит к пропорциональному увеличению производительности или удельного дебита скважины. Это можно проиллюстрировать простым расчетом.

Предположим, что две скважины пробурены в идентичных условиях, являются совершенными по степени и характеру вскрытия, в одной из них установлен фильтр диаметром 168 мм, а в другой – 325мм. Водопроницаемость пласта 1000 м²/сут, радиус влияния скважины – 1000 м. Воспользуемся известным выражением понижения уровня в скважине и решим его относительно удельного дебита:

$$Q/S = 2\pi T / \ln(R/r_0) \quad (1)$$

где Q - дебит скважины, м³/сут; S – понижение уровня, м; T – водопроницаемость пласта, м²сут.; R - радиус влияния скважины, м; r_0 – радиус скважины, м.

Расчеты показывают, что удельный дебит для скважины с фильтром 168 мм составил 30,1 м³/ч*м, а с фильтром 325 мм – 32,6 м³/ч*м. Таким образом, увеличение диаметра фильтра в 2 раза приводит к увеличению удельного дебита (производительности) только на 9,2 %. При этом стоимость скважины с фильтром 325 мм может быть в 2 и более раза выше, чем с фильтром 168 мм.

Значительно больше места в упомянутом «Пособии..» и специальной отечественной литературе уделено выбору длины фильтра. Имеющиеся рекомендации в этой части согласуются с зарубежными и применимы в большей мере 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. Но и в этом случае буквальное следование норме, в соответствии с которой в однородных водоносных горизонтах мощностью 10-15 м $L\phi=(0,8 - 0,9) m$, где $L\phi$ - длина фильтра, m - мощность горизонта, приводит к невозможности отбора проектного дебита при соблюдении условий эксплуатации погружного насоса.

Анализ информации о конструкциях 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 приходится мириться с падением производительности скважин вследствие процессов колюматажа фильтров, либо опускать, где возможно, насосы в зону фильтра, что недопустимо по существующим нормам.

В зарубежных странах для скважин в безнапорных водоносных горизонтах существует норма, в соответствии с которой фильтры должны устанавливаться в нижней трети пласта. 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, тогда как в напорных водоносных горизонтах местоположение такого интервала не имеет значения.

Говоря об оптимальной длине фильтра скважин на воду, следует согласиться с мнением профессора Алексеева В.С. о практической нецелесообразности увеличения длины фильтра более 10 м для большинства гидрогеологических условий. Этот вывод следует из учета неравномерности нагрузки фильтра по длине и базируется на многочисленных натурных исследованиях на различных водозаборах [1]. Что касается коротких фильтров

(3 – 5 м), необходимость установки которых возникает, например, в безнапорных пластах мощностью 10 – 15 м, то такая вероятность российскими проектировщиками даже не обсуждается из-за отсутствия опыта применения и методики обоснования. В связи с этим представляется целесообразным обратиться к зарубежному опыту проектирования скважин на воду, закрепленному в различных руководствах, справочниках, стандартах проектирования и специальной литературе.

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

$$v_{вх} = Q/F = Q/\pi D L_{\phi} \eta \quad (2)$$

где Q - дебит скважины, F - площадь проходных отверстий фильтра, D - диаметр фильтра, L_{ϕ} – длина фильтра, η - скважность фильтра.

Критерий входной скорости признан в среде профессионалов важнейшим инструментом для проектирования скважин на воду, позволяющим минимизировать стоимость скважины при обеспечении ее высокой эффективностью. Рекомендуемая величина входной скорости составляет 0,03 м/с. Это значение, имеющее эмпирическое обоснование, закреплено в качестве минимально допустимого в нормативных документах большинства стран мира. Считается, что меньшие значения входной скорости приводят к необоснованному завышению стоимости скважины.

Впервые критерий входной скорости упомянут в классической книге Толмана «Ground Water», опубликованной в 1937 г. [2]. Рекомендуемое значение 0,03 – 0,06 м/с обосновывалось контролем суффозионного выноса песка. Впоследствии было доказано, что при правильно подобранном фильтре входная скорость не является фактором, обуславливающим суффозию. Тем не менее, это же значение входной скорости (0,03 м/с) было закреплено в качестве критерия при проектировании скважин во всех изданиях книги «Ground Water and Wells» [3] фирмы «Edward E. Johnson, Inc» - той самой фирмы, которая с 1904 г. выпускает знаменитые спирально-проволочные фильтры «Johnson». Первое издание датируется 1947 г., а последнее – 2008 г. Рекомендуемый критерий обосновывался большим объемом полевых исследований, доказывающих, что при таких скоростях минимизируются гидравлические потери в прифилтровой зоне, замедляются коррозионные и кольматационные процессы.

В начале 80-х г.г. прошлого века большой объем экспериментальных исследований для обоснования величины входной скорости был выполнен компанией «Roscoe Moss Company» - одной из крупнейших компаний США по сооружению скважин на воду и производству необходимого оборудования (фильтры, обсадные и водоподъемные трубы,

аксессуары). Для этого была создана самая большая в мире модель водоносного горизонта – секторный лоток (60^0) высотой 1,5 м и радиусом 3,6 м с возможностью создания напора 18 м и расходов откачки до $68 \text{ м}^3/\text{ч}$, что для реальных условий равноценно расходу до $400 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Результаты пятилетних исследований различных промышленных конструкций фильтров диаметром до 250 мм опубликованы в работе доктора Д. Вильямса – ученика известных ученых Хантуша и Джейкоба [4]. Основной вывод в части входной скорости звучит так, что при скоростях входного потока до 1,2 м/с гидравлические потери в фильтре и прифильтровой зоне остаются незначительными. Используемый всеми критерий 0,03 м/с признан весьма консервативным и не имеющим гидравлического обоснования. Результаты этих исследований в виде рекомендаций по проектированию скважин опубликованы в справочнике компании «Roscoe Moss Company» [5].

Тем не менее, эти рекомендации не были восприняты большинством специалистов, о чем свидетельствуют более поздние публикации. Крупнейшая в мире 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 [6]. В своем руководстве по использованию подземных вод, опубликованном в 2002 г., AWWA рекомендует проверенный временем критерий входной скорости 0,03 – 0,06 м/с [7]. Эти же значения зафиксированы в стандартах Австралии [8] и рекомендуются в Великобритании [9]. Производители фильтров скважин на воду в европейских странах в качестве их характеристик приводят таблицы удельной проницаемости фильтров при скорости 0,03 м/с.

Процедура проектирования скважины включает в себя последовательно: гранулометрический анализ образцов водовмещающих пород целевого горизонта, определение интервала установки фильтра, подбор гравийной обсыпки, определение размера проходных отверстий, определение диаметра фильтра. Таким образом, критерий входной скорости применяется после того, как известны длина фильтра и его скважность. Тогда, задавшись минимальным значением скорости 0,03 м/с, диаметр фильтра определяется из формулы (2):

$$D = Q/F = Q/\pi L_{\phi} \eta v_{ex} \quad (3)$$

В качестве примера определим диаметр фильтра длиной 10 м для скважины производительностью $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,017 \text{ м}^3/\text{с}$). Фильтр спирально-проволочный с размером щели 0,7 мм, скважностью 20 %. $D=0,017/3.14 \times 10 \times 0,2 \times 0,03= 0,09 \text{ м}$. Получившееся значение не может быть принято, во-первых, из-за того, что не выполняется условие допустимой ско-

рости 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 (6"), убедимся, что условие $v_{\phi} < 1,5$ м/с выполняется, а входная скорость составляет 0,018 м/с, что ниже рекомендуемой. Это допускает сокращение длины фильтра. Если уравнение (3) решить относительно L_{ϕ} при $D=0,15$ м и $v_{ex}=0,03$ м/с, оптимальная длина фильтра составит 6 м. Окончательное решение надо принимать с учетом реальных гидрогеологических условий, имея в виду что сокращение длины фильтра приводит к увеличению несовершенства скважины по степени вскрытия, т.е. дополнительному понижению уровня.

Для оценки дополнительного понижения уровня можно воспользоваться графиком на рис. 1, приведенном в книге [3] и построенном по уравнению Козени. График отражает

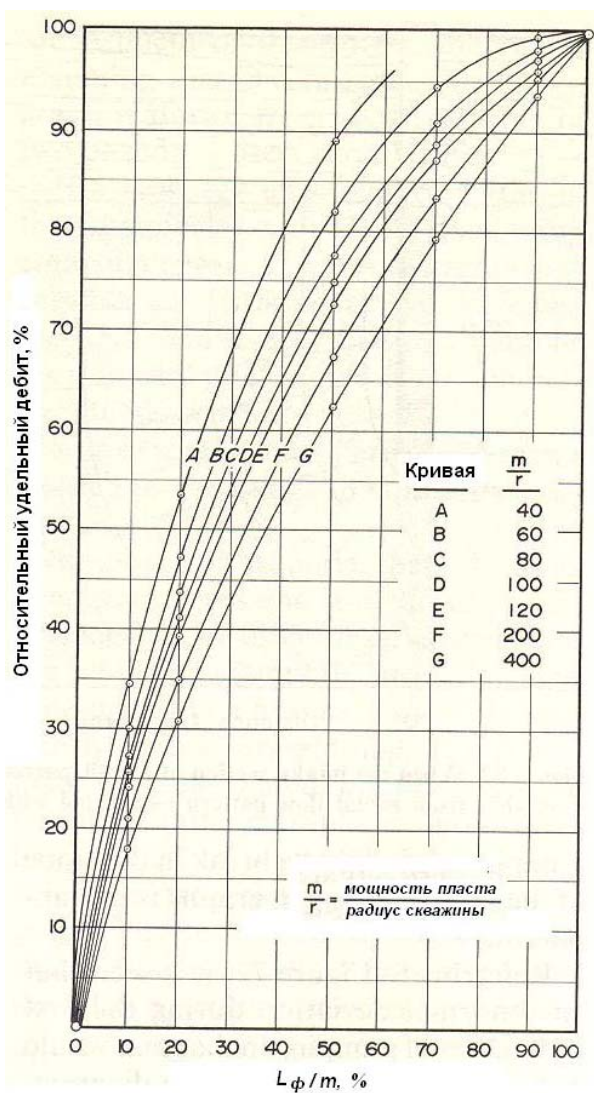


Рис. 1

зависимость удельного дебита скважины от соотношений L_{ϕ} / m и m / r_0 , где m – мощность пласта, и справедлив для напорного горизонта. 100%-ный удельный дебит соответствует совершенной по степени и характеру вскрытия скважине и может быть определен из соотношения $q = T / \xi$, где q – удельный дебит, T – водопроводимость пласта, $\xi = 1,5$ для напорного пласта и $\xi = 1,0$ для безнапорного пласта [10]. Например, водопроводимость напорного пласта мощностью 40 м составляет 600 м²/сут, скважина диаметром 300 мм оборудована фильтром $D = 168$ мм длиной 10 м, проектный дебит скважины 60 м³/ч. Удельный дебит совершенной скважины составит: $600 / 1,5 \times 24 = 16,7$ м³/ч*м. По графику для $L_{\phi} / m = 0,25$ и $m / r_0 = 40 / 0,15 = 267$ находим, что для 10-ти метрового фильтра удельный дебит составит 40 % от максимального или 6,7 м³/ч*м. Для 6-ти метрового фильтра $L_{\phi} / m = 0,15$, удельный дебит – 25 % или 4,2 м³/ч*м. В первом случае понижение составит 8,9 м, во втором 14,3 м, т.е.

дополнительное понижение при сокращении длины фильтра составит 5,4 м. Если это не

критично для рассматриваемых условий, то можно останавливаться на более коротком фильтре.

Исходя из критериев $v_{\phi} < 1,5$ м/с и $v_{ax} = 0,03$ м/с, несложно подсчитать, что фильтр диаметром 150 мм и длиной 6 - 10 м со скважностью 15-20 % можно проектировать для скважин производительностью 60 – 90 м³/ч. Примеры проектирования и сооружения таких скважин в России имеются. Что же касается коротких фильтров, то, например, фильтр длиной 5 м и диаметром 200 мм при скважности 20 % обеспечит производительность 68 м³/ч при допустимой входной скорости. Увеличение нагрузки потребует увеличения диаметра фильтра. В качестве примера применения коротких фильтров уместно привести факт сооружения трех первых скважин на Тунгусском водозаборе г. Хабаровска. Скважины оборудованы спирально-проволочными фильтрами диаметром 350 мм длиной 5 м, их скважность 25%. Производительность скважин при длительных прокачках составила 220 м³/ч и была ограничена только возможностями насоса SP-160. Проектный дебит скважин 160 м³/ч, при котором входная скорость чуть больше 0,03 м/с. Проект выполнен немецкой фирмой «Subterra».

Следует отметить, что приведенная методика расчета диаметра и длины фильтра строится на предположении о равномерной нагрузке фильтра по длине, что не соответствует действительности [1]. Однако использование в расчетах минимального значения входной скорости допускает ее повышение в верхних, наиболее нагруженных частях фильтра.

С позиции приведенных расчетов и примеров, отражающих мировой опыт проектирования скважин на воду, абсурдными представляются российские проекты, когда при производительности 80-120 м³/ч скважины оборудуются фильтрами диаметром 400 мм и длиной 12-18 м, что имеет место, например, на водозаборах г. Воронежа, или фильтрами диаметром 350 мм длиной 30-50 м, как в скважинах Пушкинской депрессии (г. Владивосток). Это наиболее вопиющие примеры, число которых не ограничивается двумя водозаборами. Массовое применение на различных водозаборах имеют фильтры $D=325$ мм длиной 15 - 25 м при проектной нагрузке на скважину 60-80 м³/ч.

Необоснованное завышение размеров фильтров и, соответственно, стоимости скважин вкупе с применением кустарно изготовленных фильтров и некондиционной обсыпки является настоящим бичом для эксплуатирующих организаций. Совершенствование методики проектирования скважин и применение качественных фильтров и обсыпок является насущной необходимостью. Вопросам выбора типа фильтра, обоснованию размеров его проходных отверстий и состава обсыпки будет посвящена следующая статья.

Выводы.

1. Использование критерия входной скорости при проектировании скважин на воду позволяет существенно минимизировать стоимость скважин при обеспечении проектного дебита и допустимого понижения уровня.
2. Для скважин производительностью до 90 м³/ч нет смысла устанавливать фильтры диаметром более 150 мм (6").
3. Для большинства высокодебитных скважин в России максимальный диаметр фильтра не должен превышать 250 мм при его длине 10 и более метров.
4. В безнапорных водоносных горизонтах фильтры целесообразно устанавливать в нижней трети пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.С. Влияние неравномерности нагрузки фильтров на приток к скважине. Водоснабжение и санитарная техника, 2008 г., № 8, с. 34-37.
2. C. F. Tolman. *Ground Water*, McGraw-Hill, New York, 1937, 593 с.
3. *Ground water and wells*. Johnson Division, Saint Paul, Minnesota, 1972, 440 с.
4. Dennis E. Williams. Modern Techniques in Well Design. Journal AWWA. Vol. 77, № 9, 1985 г.
5. Handbook of ground water development. Roscoe Moss Company, Wiley-IEEE, 1990, 493 с.
6. American Water Works Association, Water Well Standard, A-100-84, 1984г., A-100-90, 1990г., A-100-97, 1997г.
7. *Groundwater*. American Water Works Association, 2002, 207 с.
8. Minimum construction requirements for water bores in Australia. Dept. of Natural Resources, Brisbane, 2003, 90 с.
9. Bruce Misstear, David Banks, Lewis Clark. *Water wells and boreholes*. John Wiley and Sons, 2006, 498 с.
10. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. Издательство Московского университета, М., 1979 г., 368 с.