

Критерии проектирования фильтров водозаборных скважин

После распада СССР и дерегулирования экономического управления в России прекратилось промышленное производство фильтров водозаборных скважин. Соответственно нормативная база проектирования, в той или иной мере привязанная к выпускавшимся Дрогобычским и Новосибирским заводами фильтрам, оказалась непригодной к отечественным конструкциям кустарного производства и высокотехнологичным модификациям фильтров, поставляемым из-за рубежа. При этом иллюзии, обусловленные тем обстоятельством, что оборудование скважин современными зарубежными фильтрами безусловно приведет к положительным результатам, быстро рассеялись, ибо сами конструкции без технологического обоснования их применения не могут обеспечить устойчивую работу скважин без пескования.

Пескование водозаборных скважин, каптирующих рыхлые водовмещающие отложения, является одной из основных проблем при их эксплуатации. Это приводит к преждевременному выходу из строя погружных насосов, снижению

производительности скважин и в конечном итоге к необходимости их перебурирования. Особую остроту эта проблема представляет на крупных городских водозаборах подземных вод, где скважины оборудованы проволочными фильтрами с гравийной обсыпкой. Как правило, пескование не является непрерывным процессом, а проявляется при пуске погружных насосов или увеличении нагрузки на скважину и прекращается через определенное время, достаточное для формирования новых арочных структур в прифильтровой зоне.

Производители погружных насосных агрегатов вынуждены учитывать фактор пескования скважин, дорабатывая конструкцию проточной части насосов для повышения ее пескоустойчивости. Тем не менее, допустимое содержание песка в откачиваемой воде обязательно оговаривается в технических условиях эксплуатации погружных насосов. Так, например, фирма «Grundfos» для насосных агрегатов серии SP допускает содержание песка в откачиваемой воде до 50 мг/дм³, гарантируя при этом высокий КПД и безотказную работу на-

сосов в течение 25–35 тыс. часов. Однако это не решает проблему пескующих скважин, поскольку содержание выносимого из пласта песка, как правило, значительно превышает допустимые пределы.

Пескование скважин является следствием неправильного подбора параметров фильтров при проектировании водозаборных скважин. Точнее говоря, это обусловлено отсутствием какого-либо обоснования параметров фильтра. До настоящего времени в России нет четких правил и требований к проектированию фильтров водозаборных скважин по сравнению с большинством зарубежных стран. Наибольшей проблемой является отсутствие в проектах обоснования размеров проходных отверстий фильтров и состава гравийной обсыпки. Общей практикой стала запись в проекте о том, что гравийная обсыпка должна подбираться в соответствии с гранулометрическим составом водовмещающих пород. То есть окончательный выбор обсыпки фильтра отдается буровым организациям, которые для этой цели используют любой доступный им фильтрующий

¹ Алексеев Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ОАО «НИИ ВОДГЕО» 119048, Москва, Комсомольский проспект, 42, стр. 2, тел.: (499) 245-95-49, e-mail: nii-vodgeo@mail.ru

² Тесля Валерий Григорьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ОАО «НИИ ВОДГЕО» Тел.: (499) 245-95-49, e-mail: teslya@darvodgeo.ru

материал. Поэтому в паспортах скважин многих крупных водозаборов указывается, что межпроволочный зазор фильтра составляет, например, 1–2 мм, а размер частиц гравийной обсыпки – 5–20 мм, при этом застревают среднезернистые пески. Такой допуск в размерах проходных отверстий фильтра является грубой ошибкой, которая вкуче с неподходящей обсыпкой приводит к пескованию скважин.

В связи с этим обоснование параметров фильтров водозаборных скважин при их проектировании весьма актуально для России, так же как и использование фильтров высокого качества, изготовленных в заводских условиях. При проектировании фильтров водозаборных скважин приходится выбирать тип фильтра и его скважность, определять длину и диаметр фильтра, размер проходных отверстий, параметры гравийной обсыпки.

Тип фильтра и его скважность. Массовое применение в нашей стране нашли фильтры двух типов: проволочные и сетчатые на перфорированном трубчатом каркасе из углеродистой стали. Недостатки таких фильтров очевидны – это химическая коррозия «черного» каркаса, усугубляемая электрохимической коррозией конструктивных элементов из-за наличия разноименных ме-

таллов, двойная фильтрующая поверхность и неопределенная из-за этого скважность, непостоянство межпроволочного зазора при намотке проволоки круглого сечения, склонность к механической закупорке щелей за счет формы входного отверстия и др. Продукты коррозии фильтров вносят значительный вклад в процесс их кольматации. Несмотря на то что указанные фильтры производятся в кустарных условиях, их применение в проектах и на практике продолжается и в настоящее время, когда поставка качественных импортных фильтров не является проблемой.

Основное применение в мире нашли фильтры трех типов: спирально-проволочные из нержавеющей стали (типа «Johnson»), штампованные с мостообразными отверстиями, выполненные из углеродистой стали с антикоррозионным покрытием или из нержавеющей стали; щелевые пластиковые из ПВХ (рис. 1).

Особенности перечисленных фильтров – это одинарная фильтрующая поверхность, фиксированный размер щели и некоррозионные материалы. Признанным лидером является фильтр типа «Johnson», обладающий максимальной скважностью (15–40%), идеальной формой входных отверстий и широким диапазоном размеров щелей (от 0,2 до 3 мм).

Значительно меньшим диапазоном размеров щелей обладает фильтр с мостообразными отверстиями. Минимальный размер щелей составляет 1 мм, что ограничивает область его применения. Скважность таких фильтров изменяется от 8 до 25%. Минимальной скважностью (7–12%) обладают щелевые фильтры из ПВХ, что диктуется соображениями их прочности. Размер щелей варьируется от 0,3 до 3 мм.

При выборе типа фильтра следует учитывать многие факторы, главными из которых являются прочность фильтра и его скважность. Прочность пластиковых фильтров допускает возможность их установки в скважинах глубиной до 200 м, тогда как металлические фильтры могут быть размещены в более глубоких скважинах. Их прочность может варьироваться за счет толщины металла (штампованные фильтры) или размеров профиля проволоки и стрингеров в фильтрах типа «Johnson». Как правило, прочность фильтра гарантирует производитель, которому следует лишь указать глубину его установки.

Скважность фильтра имеет решающее значение при определении его длины и диаметра [1]. Большая скважность позволяет минимизировать размеры фильтра, что важно для высокодебитных скважин. Кроме того,



Рис. 1. Типы фильтров скважин на воду

а – спирально-проволочный «Johnson»; *б* – с мостообразными отверстиями; *в* – щелевой из ПВХ

большая скважность необходима в условиях, когда подземные воды склонны к осадконакоплению. Большинство зарубежных и отечественных специалистов считают, что следует стремиться к максимальной скважности фильтров, не ниже 10%. Однако существует и другая точка зрения, в соответствии с которой достаточной является скважность 3–5%, увеличение которой не приводит к повышению эффективности скважин. Эти выводы подтверждены лабораторными и полевыми исследованиями [2; 3].

Поскольку российский опыт эксплуатации водозаборных скважин с фильтрами низкой скважности отсутствует, следует согласиться с мнением большинства специалистов о необходимости применения фильтров с максимально возможной скважностью, особенно для высокодебитных скважин. Для средне- и низкодебитных скважин допустимо применение щелевых пластиковых фильтров. Информация о скважности фильтров в зависимости от размеров щелей содержится в каталогах всех производителей фильтров.

Длина и диаметр фильтра. Длина фильтра зависит от мощности водоносного горизонта, его типа (напорный, безнапорный) и строения. В большинстве случаев водоносные горизонты неоднородны в разрезе, и длина фильтра зависит от мощности наиболее проницаемого интервала. Немаловажную роль при выборе длины фильтра играет оценка величины несовершенства скважины по степени вскрытия и его влияния на удельный дебит. За редким исключением нет смысла увеличивать длину фильтра более 10 м, что вытекает из неравномерности притока воды по его длине.

Диаметр фильтра является величиной, которая определяется при известной длине фильтра и его скважности. При этом общепризнанным критерием служит скорость входа воды в фильтр, минимальная величина которой составляет 0,03 м/с. Скорость в данном случае принимается осредненной по длине фильтра. Более подробно о выборе длины и диаметра фильтра изложено в [1]. Следует добавить, что часто встречающееся в специальной литературе утверждение о том, что диаметр фильтра определяется параметрами водоподъемного оборудования, является ошибочным, поскольку установка насоса в фильтре не допускается. Поэтому диаметр фильтра может быть меньше диаметра надфильтровой колонны.

Размер проходных отверстий фильтра. Основой для определения размеров проходных отверстий фильтра (ширины щелей) и состава гравийной обсыпки является информация о гранулометрическом составе водовмещающих пород. Без такой информации невозможно проектирование водозаборных скважин. К сожалению, в нашей стране этому аспекту не уделяется должного внимания, и анализ гранулометрического состава пород пласта не является обязательным этапом проектирования скважин.

Информация о гранулометрическом составе водовмещающих пород должна включать в себя данные по всему разрезу водоносного пласта. В нормативных документах и стандартах большинства зарубежных стран прописывается интервал отбора проб пород в разрезе пласта, который составляет 1–1,5 м. Для этого применяются пилотные скважины небольшого диаметра (до 150 мм),

которые бурятся с прямой промывкой водой, а выбуренная порода отбирается на поверхности. Для более точной фиксации интервала отбора пробы в системе циркуляции промывочной жидкости устанавливается металлический желоб, прикрепляемый к кондуктору скважины, со съемной перегородкой в конце. Перед бурением очередного интервала желоб вычищается и устанавливается перегородка, что обеспечивает задержание в желобе выбуренной с определенного интервала породы.

Отобранные пробы маркируются и отправляются в лабораторию на ситовый анализ, результаты которого представляются в виде таблицы, содержащей данные о размерах смежных сит и процентном содержании частиц по массе, оставшихся между ситами. По этим таблицам строится интегральная кривая распределения частиц в полулогарифмическом масштабе (рис. 2). При построении кривой гранулометрического состава в нашей стране, как и в большинстве стран мира, используется принцип сложения процентного содержания частиц, прошедших через сито определенного размера. В США применяется другой подход, основанный на учете частиц, оставшихся на сите. Для одного и того же образца кривые будут зеркальным отображением друг друга.

Кривая гранулометрического состава является отправным пунктом при определении размера проходных отверстий фильтра. Критерием служит величина d_n – диаметр частиц пласта, меньше которых содержится n % по массе. Для скважин с естественными фильтрами ширина щелей фильтра должна быть равна $d_{50} - d_{70}$ в зависимости от коэффициен-

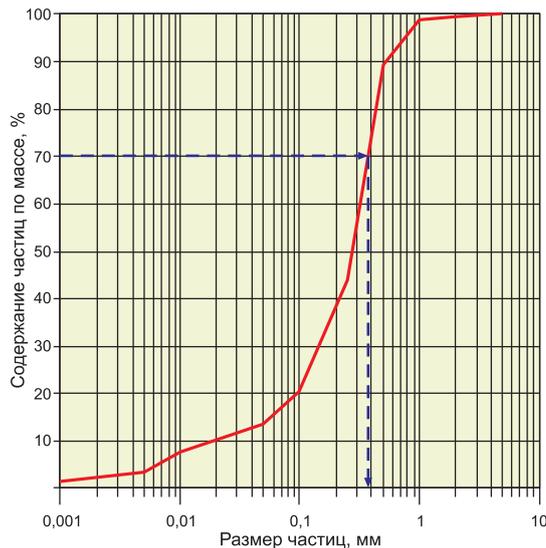


Рис. 2. Определение размера щели фильтра по кривой гранулометрического состава пород

та неоднородности пород K_n , равным отношению d_{60}/d_{10} . Для пород с $K_n < 3$ размер щели равен d_{50} , при $K_n = 3 \div 6 - d_{60}$, $K_n > 6 - d_{70}$. Эти рекомендации содержатся во многих специализированных изданиях [4; 5]. Для определения искомого размера щелей достаточно провести перпендикуляр от пересечения горизонтальной линии соответствующего процентного содержания смеси с кривой гранулометрического состава (рис. 2). Коэффициент неоднородности представленной на рис. 2 породы K_n составляет 16 (0,32/0,02), поэтому ширина щели должна быть равна d_{70} (0,35 мм).

Следует отметить, что понятие «естественный фильтр» имеет разный смысл на Западе и в России. За рубежом фильтр-каркас в скважинах с естественным фильтром устанавливается без гравийной обсыпки. При прокачке из прифильтровой зоны удаляется до 50–70% мелких частиц, а частицы крупнее размера щели обкладывают поверхность каркаса. Крупность частиц убывает в сторону пласта в соответствии с убыванием скорости движения воды. Обязательное условие для формирования естественного

фильтра — постоянство размера щелей.

В России естественный фильтр подразумевает формирование при прокачке арочных структур в составе неоднородной гравийной обсыпки с большим коэффициентом межслойности. Формированию арочных структур, а не естественной градации обсыпки способствует разбег в размере щели проволочных фильтров. При длительной прокачке зачастую удается устранить пескование, однако впоследствии при смене режима работы скважины оно возобновляется, поскольку арочные структуры нестабильны и легко разрушаются. Именно поэтому в зарубежных странах формирование арочных структур стараются не допускать, что достигается применением однородных обсыпок и интенсивным воздействием на прифильтровую зону при освоении скважин.

Скважины с естественными фильтрами целесообразно сооружать в средне- и крупнозернистых песках, гравийных отложениях, когда размер щели фильтра определяет его высоту скважности. Если размер щели оказывается менее 0,3 мм,

рекомендуется устанавливать фильтры с гравийной обсыпкой. При устройстве гравийной обсыпки размер щели фильтра должен обеспечивать практически полное удержание обсыпки. В стандартах США, Канады, Австралии [5; 6] размер щели определяется как $D_0 - D_{20}$ (D — диаметр частиц обсыпки). Несколько другой подход реализуется в Германии, о чем будет сказано ниже.

Параметры гравийной обсыпки. К ним относятся коэффициент неоднородности, коэффициент межслойности и толщина обсыпки, качество используемого материала. Коэффициент неоднородности обсыпки не должен превышать 2,5, что зафиксировано в стандартах большинства стран. Однородность обсыпки обеспечивает ее большую проницаемость и исключает гравитационное расслоение при засыпке.

По качеству обсыпка должна быть чистой и сухой, состоять только из окатанных частиц с содержанием кварца не менее 95%. Использование дробленой горной породы не допускается. Содержание глинистых и растворимых соляной кислотой частиц — не более 5%. Массовая доля основного гранулометрического класса не должна быть ниже 90%. Такие требования к качеству материала обсыпки зафиксированы и в российском ГОСТ Р 51641-2000 «Материалы фильтрующие зернистые».

Наиболее важный параметр обсыпки фильтра — коэффициент межслойности, равный D_{50}/d_{50} и являющийся критерием подбора размеров частиц обсыпки. В мире реализуются два подхода к определению оптимального коэффициента межслойности. Первый основан на геометрической непросыпаемости грунта или на задержании частиц пласта на контуре

гравийной обсыпки. Известно, что размер пор однородных частиц составляет $\sim 0,21$ их диаметра, поэтому, если размер задерживаемых частиц будет в 5 раз меньше размера обсыпки, они не смогут проникнуть в обсыпку. Исходя из этого, при коэффициенте межслойности 4–6 обеспечивается задержание частиц на контуре обсыпки. Этот критерий подбора обсыпки рекомендуется большинством специалистов за рубежом и авторитетными организациями (AWWA, API, EPA, ASCE и др.). Множитель 4 применяется для однородных песков ($K_n < 6$), 5 или 6 – для песков с $K_n > 6$, для весьма неоднородных песков допускается увеличение коэффициента межслойности до 10 [7].

Другой подход допускает проникновение мелких частиц пласта в обсыпку и последующий их вынос при прокачке, что может способствовать разрушению, например глинистой корки, образующейся при вскрытии пласта с применением глинистого раствора. В соответствии с этими рекомендациями, коэффициент межслойности должен составлять 6–12 в зависимости от K_n пород пласта. Такой критерий зафиксирован в рекомендациях Бюро по мелиорации США, российском СНИП 2.04.02-84 (8–12), в стандартах Германии.

В России и ряде других стран коэффициент межслойности определяется как соотношение D_{50}/d_{50} (D, d – диаметр частиц обсыпки и пород пласта). В США и Австралии он определяется как D_{30}/d_{30} . Это обусловлено тем, что для большинства водоносных песков d_{30} приближен к размеру ячейки сита, на котором остается наибольшая масса песка при ситовом отсеиве. Диаметр d_{30} называют модальным размером

водовмещающей породы. Для однородных пород d_{50} и d_{30} отличаются незначительно, тогда как для весьма неоднородных пород разница может быть существенной.

В Германии для определения размеров гравийной обсыпки используется понятие действующего диаметра частиц пласта и обсыпки [8]. Действующий диаметр соответствует верхней точке перегиба кривой гранулометрического состава. Согласно DIN 4924, действующий диаметр определен как d_{80} . Эмпирическим путем определены действующие диаметры для различных водовмещающих пород и построена кривая действующих диаметров (рис. 3), приведенная в стандарте Германии (DIN 4924). Для определения размеров обсыпки используется так называемый показатель фильтра, равный 4 и являющийся коэффициентом межслойности.

Для определения состава обсыпки предлагается использовать три способа: первый – d_{80} водовмещающего песка умножить на 4; второй – диаметр частиц, соответствующий точке пересечения кривых гранулометрического состава поро-

ды и действующих диаметров породы, умножить на 4; третий – из точки пересечения кривых состава пород пласта и действующих диаметров обсыпки опустить перпендикуляр и определить обсыпку, размеры которой приводятся на рис. 3. Полученные результаты могут отличаться, и выбор остается за специалистом.

Описанные правила применяются для песков с коэффициентом $K_n < 5$. При пересчете d_{80} на d_{50} коэффициент межслойности составит 8–10. Для более неоднородных песков рекомендуется применять стандарт DVGW (раздел W-113), в соответствии с которым $D_{50} = d_g F_g$ (d_g – характерный диаметр частиц, определяемый в точке максимума графика, получаемого при графическом дифференцировании S-образной кривой гранулометрического состава пород). При отсутствии максимума $d_g = d_{30}$. $F_g = 6 + K_n$ для $K_n < 5$ и $F_g = 11$ для $K_n > 5$. По сути, здесь мы имеем $D_{30}/d_{30} = 8 \div 11$.

Выбирая из рекомендуемых критериев подбора обсыпки фильтра, полагаем, что подход, основанный на принципе задержания частиц пласта на



Рис. 3. Кривые действующих диаметров пород пласта и гравийной обсыпки (по DIN 4924)
1 – действующие диаметры пород; 2 – действующие диаметры обсыпки; 3 – ситовый анализ

контуре обсыпки, является более рациональным. Основные доводы в поддержку такого решения следующие: исключается механическая кольматация обсыпки частицами пласта, что сохраняет ее высокую проницаемость; суффозия невозможна при любой скорости входа воды в фильтр; допускается минимальная толщина обсыпки; значительно сокращается время освоения скважины.

Эти доводы основаны на многочисленных результатах полевых и экспериментальных исследований. В частности, С. В. Комиссаровым показано, что включение в состав однородной обсыпки более мелких фракций существенно снижает ее проницаемость [9]. При добавлении, например, к гравию фракцией 5–7 мм 20–50% песка фракцией 0,5–1 мм, что соответствует коэффициенту межслойности порядка 8–10, коэффициент фильтрации гравийной смеси снижается на порядок и более. В этой же работе приводятся данные о необходимой толщине обсыпки. При коэффициенте межслойности 4–5 достаточно 15–30 мм обсыпки, тогда как для более высоких соотношений требуется более 50 мм слоя обсыпки.

Интересные полевые исследования были проведены в 1950-х годах на 20 скважинах в штате Иллинойс (США), оборудованных гравийными фильтрами различного состава [10]. Эффективность скважин оценивалась как соотношение расчетных и реальных понижений уровня. Эффективность скважин с коэффициентом межслойности гравийных обсыпок 4–5 составила 0,9–1,2, с межслойностью 7–10 снижалась до 0,32. Снижение эффективности отмечается и для коэффициентов межслойности

менее 4. Скважины с коэффициентами межслойности более 10 песковали, а одна скважина с межслойностью обсыпки 20 была выведена из эксплуатации из-за непрерывного выноса песка.

В качестве критерия подбора гравийной обсыпки целесообразно использовать соотношение $D_{50}/d_{50} = 4 \div 6$. Для весьма неоднородных пород ($K_n > 10$) коэффициент межслойности может быть увеличен до 8. Это компромиссное решение, поскольку по отношению к D_{30}/d_{30} значение является немногим больше, но меньше, чем соотношение $D_{50}/d_{50} = 8 \div 12$, рекомендуемое в России и Германии. Использование такого подхода при сооружении более 25 скважин с фильтрами «Johnson» в различных регионах России доказало свою эффективность. По достаточной толщине обсыпки разногласий не существует. Средняя рекомендуемая толщина обсыпки составляет 100 мм, при этом для межслойности 4–6 она мо-

жет быть снижена до 50 мм. Более 200 мм контур обсыпки не рекомендуется, поскольку это затрудняет качественное освоение скважины.

Подбор гравийной обсыпки базируется на кривых гранулометрического состава пород пласта. При этом ориентироваться необходимо на наиболее тонкие частицы в разрезе. Это правило должно применяться и при выборе размеров щелей для естественных фильтров. В качестве примера на рис. 4 приведены кривые гранулометрического состава пород в интервале установки фильтра одной из скважин водозабора г. Комсомольска-на-Амуре. Разрез представлен гравийно-галечными отложениями с заполнителем из мелкозернистого песка, породы весьма неоднородны в разрезе – размер щели d_{50} отличается на два порядка. При выборе обсыпки необходимо ориентироваться на левую крайнюю кривую, представляющую наиболее мелкую фракцию.

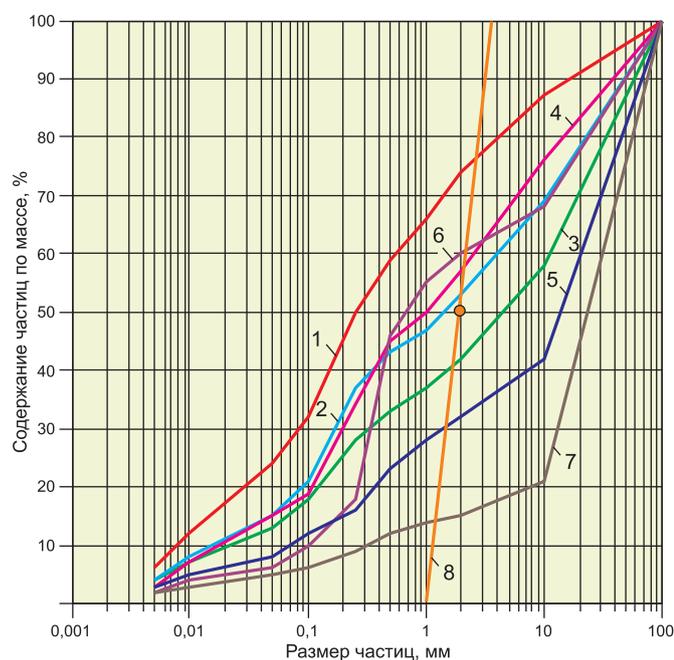


Рис. 4. Кривые гранулометрического состава пород пласта в разрезе и рекомендуемой гравийной обсыпки
Отметка отбора пробы: 1 – 49 м; 2 – 47 м; 3 – 45 м; 4 – 43 м; 5 – 52 м; 6 – 51 м; 7 – 54 м; 8 – состав обсыпки

Для этого необходимо d_{50} наиболее мелкой фракции умножить на коэффициент межслойности, получив значение D_{50} , и нанести эту точку на графике. В рассматриваемом случае K_n пород пласта составляет 75, т. е. породы весьма неоднородны. Для таких пород применим коэффициент межслойности 8. Из рис. 4 следует, что $d_{50} = 0,25$ мм, тогда $D_{50} = 2$. Через эту точку проводится прямая линия, имеющая $K_n \leq 2,5$. Получившаяся линия представляет необходимый состав обсыпки. В данном случае обсыпка должна быть представлена фракцией 1–3 мм. Размер щели фильтра из условия задержания обсыпки составит 1 мм.

В России в настоящее время имеются как минимум четыре крупных производителя однородных обсыпок требуемого качества и широкого спектра составов. Обсыпки поставляются в мешках по 25 и 50 кг, а также в мягких контейнерах массой 1 т. Размеры фракций: 0,3–0,63; 0,5–1; 0,63–1,2; 0,8–1,6; 0,8–2; 1–3; 1,6–4 мм и др.

При большой неоднородности пород в разрезе подбор обсыпки на основе анализа одного-двух образцов пород может оказаться ошибочным и привести к пескованию скважин. Только анализ всего разреза может являться залогом успеха. Если прослеживается плановая неоднородность свойств водовмещающих пород, то следует предусматривать отбор образцов пород в каждой точке заложения эксплуатационных скважин. В качестве примера на рис. 5 приведены кривые гранулометрического состава пород, отобранных из двух разведочных скважин на одном и том же месторождении подземных вод (Раздольненский участок Пушкинской депрессии).

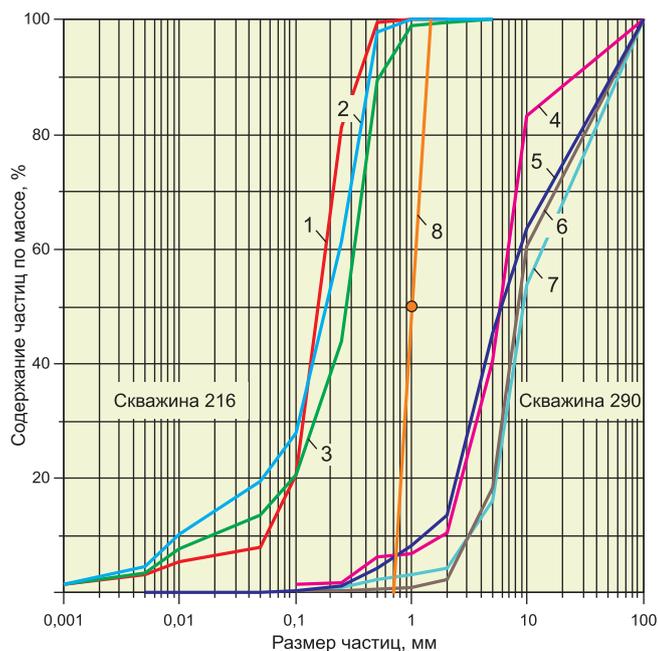


Рис. 5. Кривые гранулометрического состава водовмещающих пород в пределах одного месторождения

Интервал отбора пробы: 1 – 65–71 м; 2 – 52–55 м; 3 – 85–86 м; 4 – 73–74 м; 5 – 67–70 м; 6 – 64–65 м; 7 – 54–55 м; 8 – состав обсыпки

Как видно, характерные диаметры частиц пород в сходных интервалах отличаются более чем на порядок. И если для скважины 216 однозначно выбирается обсыпка 0,8–1,6 мм и размер щели каркаса фильтра 0,8 мм, то для скважины 290 обсыпка не требуется, и для создания естественного фильтра размер щели каркаса фильтра должен быть 5–6 мм. В подобных условиях основой для проектирования скважин является информация о гранулометрическом составе пород пласта в каждой точке заложения эксплуатационной скважины. При отсутствии таких данных приходится ориентироваться на наиболее мелкие частицы пласта, что приводит к повышенному сопротивлению прифильтровых зон части скважин и удорожанию строительства в целом. В большинстве случаев информация о гранулометрическом составе пород пласта, содержащаяся в отчетах об оценке запасов подземных вод, является недостаточной

для проектирования скважин. Поэтому работы по бурению пилотных скважин с целью изучения состава пород пласта должны стать составной частью инженерно-геологических изысканий, необходимых для проектирования водозабора.

Выводы

1. Сооружение качественных водозаборных скважин невозможно без применения щелевых фильтров с одинарной фильтрующей поверхностью, имеющих широкий диапазон фиксированных размеров щелей и изготовленных из некоррозионных материалов. В современных условиях следует отказаться от использования проволочных и сетчатых фильтров на перфорированном трубчатом каркасе из углеродистой стали.

2. В проекте скважины на воду должны быть обоснованы все параметры ее фильтра – главного конструктивного элемента: тип и скважность фильтра, его длина и диаметр, состав гра-

вийной обсыпки и ее толщина, размер проходных отверстий. Такое обоснование может быть выполнено только на основе данных о гранулометрическом составе пород во всем разрезе водоносного пласта.

3. Бурение пилотных скважин с целью отбора образцов пород пласта на гранулометрический анализ должно быть составной и обязательной частью инженерно-геологических изысканий на водозаборе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т е с л я В. Г. Обоснование длины и диаметра фильтра при проектировании скважин на воду // Водоснабжение и сан. техника. № 10. 2009, ч. 2.
2. W i l l i a m s D. E. Modern Techniques in Well Design // Journal AWWA. 1985. V. 77. № 9.
3. A h m a d M. U., H a s - n a i n S. M. Some new concepts for well design: Memories of the 18th Congress of the International Association of Hydrogeologists. – Cambridge, 1985.
4. Handbook of ground water development. – Roscoe Moss Company, Wiley-IEEE, 1990.
5. American Water Works Association: Water Well Standard, A-100-97, 1997.
6. Minimum construction requirements for water bores in Australia: Dept. of Natural Resources. – Brisbane, 2003.
7. D r i s c o l l F. G. Groundwater and wells. Edition 2. – Johnson Division, 1986.
8. B i e s k e E., R u b b e r t W., T r e s k a t i s C. Bohrbrunnen. – Oldenbourg, 1998.
9. К о м и с с а р о в С. В. Методы увеличения дебита буровых скважин на воду. – М.: Госгеолтехиздат, 1959.
10. S m i t h H. F. Gravel Packing Water Wells // Water Well Journal. Jan.-Feb. 1954.