

ОПЫТ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

*Канд. техн. наук, доц. ИВАШЕЧКИН В. В.,
инженеры КОНДРАТОВИЧ А. Н., МАРЧЕНКО А. Г., ДРОЖЖА А. Т.*

Белорусский национальный технический университет

Наиболее эффективными принято считать такие способы бурения, которые осуществляют вскрытие водоносных горизонтов чистой водой, т. е. обеспечивают минимальную кольматацию пласта и его эффективную декольматацию при освоении скважины. Важное значение имеет также оперативность выполнения буровых работ.

Этим требованиям отвечает роторный способ бурения с обратной промывкой чистой водой, который характеризуется высокими скоростями проходки скважин в мягких и рыхлых породах (в 10...15 раз больше, чем у роторного способа с прямой промывкой), качественным вскрытием пласта, что обеспечивает значительные дебиты, и возможность бурения скважин большим диаметром (до 1,5 м) в породах с включением гравия и гальки [1].

К преимуществам бурения с обратной промывкой относится также высокая информативность метода, которая позволяет определять с точностью до 1 м положение водоносных горизонтов.

Использование в качестве промывочной жидкости воды дает возможность исключить глинизацию водоносных горизонтов и увеличить механическую скорость бурения в связи с улучшением условий удаления шлама. Высокая точность определения залегания водоносных горизонтов обусловлена высокой скоростью подъема шлама с забоя. Точность несколько снижается при бурении глубоких скважин. Бурение скважины долотом большого диаметра позволяет создать вокруг фильтра значительный контур гравийной обсыпки и таким образом улучшить приток воды к фильтру.

К недостаткам метода относится невозможность бурения при уровне подземных вод менее 3 м от поверхности, что связано с необходимостью поддержания в стволе скважины избы-

точного давления во избежание обрушения стенок скважины. При значительном водопоглощении требуются большие расходы воды.

Сказанное выше позволяет рассматривать этот способ бурения как наиболее приемлемый для сооружения высокодебитных скважин, стабильно работающих в течение длительного времени.

За последние пять лет при непосредственном участии авторов статьи на водозаборе г. Толочина Витебской области было пробурено роторным способом с обратной промывкой три водозаборные скважины (две рабочие и одна резервная), а также восемь локальных скважин для водоснабжения населенных пунктов и предприятий Толочинского района.

Согласно схеме гидрогеологического районирования место строительства располагается на стыке Белорусско-Литовского артезианского свода и Московского артезианского бассейна. Мощность зоны пресных вод составляет порядка 300 м. В пределах рассматриваемой территории для целей хозяйственного водоснабжения используются два водоносных комплекса: днепровско-сожский (f,lgII-d-sz), а также старооскольский и ланский терригенные комплексы (D_{st+ln}) среднего девона. Первый комплекс эксплуатируется отдельными скважинами и непригоден для централизованного водоснабжения из-за низкой водообильности и литологической неоднородности. Второй комплекс обладает высокой водообильностью и принят в качестве основного источника водоснабжения г. Толочина.

Особенность старооскольского водоносного комплекса – залегание его кровли на глубине от 100 до 176 м и то, что водовмещающие породы представлены тонко- и мелкозернистыми кварцевыми песками и песчаниками с прослоями пестроцветных глин и алевролитов.

На основании ранее выполненных в районе г. Толочина разведочных гидрогеологических работ ТКЗ УГ БССР на детально разведанном участке Катужино были утверждены эксплуатационные запасы подземных вод в количестве 17,5 тыс. м³/сут. Из-за значительных материальных затрат расположение водозабора на разведанном участке стало невозможным, и проектируемый водозабор расположили ближе к городу (в 1 км южнее д. Катужино). Производительность каждой запроектированной скважины была принята 62,5 м³/ч (1500 м³/сут).

Согласно проекту до глубины 160 м проходка скважин предусматривалась трехшарошечным долотом Ø394 мм с последующим креплением ствола обсадными трубами Ø325 мм в интервале 0...160,0 м и цементацией затрубного пространства. Дальнейшая проходка скважин до проектной глубины 190 м должна завершаться установкой проволочных фильтров Ø168 мм с гравийной обсыпкой.

Данный проект был пересмотрен, так как в условиях бурения на тонко- и мелкозернистые маломощные пески среднего девона, залегающие на глубине от 100 до 200 м в условиях переслаивания их аргиллитоподобными глинами, необходимо учитывать ряд сложностей. При бурении долотом Ø295 мм посадка длинного фильтра в неустойчивых пльвунных песках связана с трудностью его точной установки по оси скважины и обеспечения качественной гравийной обсыпки с одинаковой толщиной вдоль всей фильтровой колонны. В этих условиях очень высока вероятность зависания гравийной обсыпки, возможны замещение ее песком водовмещающих пород и постоянное пескование скважины.

При интенсивной строительной откачке из-за малой толщины слоя обсыпки (менее 60 мм) и высоких входных скоростях подземного потока на ее внешнем контуре неизбежны прорыв песка через некачественную на большой глубине гравийную обсыпку и выход скважины из строя.

Проект был пересогласован на бурение методом обратной промывки чистой водой трехшарошечным долотом Ø490 мм с обеспечением контура гравийной обсыпки толщиной 160 мм. Увеличение диаметра долота свыше указанного значения нецелесообразно, так как ведет к удо-

рожению скважины при незначительном улучшении ее гидравлических характеристик.

Для бурения использовался модернизированный буровой агрегат 1БА15В, смонтированный на шасси МАЗ-5337, с эрлифтным пульпоподъемом, укороченной мачтой высотой 14 м (для работы без растяжек в стесненных условиях), специальной ведущей штангой и вертлюгом под обратную промывку. Буровой насос был демонтирован и на его место установлена вспомогательная лебедка. Буровой агрегат состоит из бурового блока, рабочей площадки, компрессорного блока, прицепа для бурильных труб, комплекта навесного оборудования (вертлюг, рабочая труба) и комплекта инструмента. При бурении применялся компрессорный блок ПВ-10/8. Рекомендуемая глубина бурения агрегата – 150...200 м, диаметр бурения – 500...1200 мм. Для уменьшения веса инструмента при бурении глубоких скважин применялся легкосплавный бурильный инструмент: облегченные трубы ЛБТ-147*9000 из алюминий-магниевого сплава. Для увеличения удельного давления породоразрушающего инструмента на забой и калибровки ствола трехшарошечное долото Ø490 мм снабжалось центратором Ø426 мм, длиной 6 м, массой 2 т. Для эффективного удаления пульпы с забоя в трехшарошечном долоте выполнялось расширенное отверстие Ø100 мм.

На всех скважинах производились каротажные работы для уточнения геологического разреза и выделения в нем водоносных пород. Кроме двух основных методов геофизических исследований: сопротивлений (КС) и собственной поляризации (ПС), применялись гаммакаротаж (ГК), кавернометрия и механический каротаж. Механический каротаж предусматривал наблюдения за скоростью углубления скважины во время бурения и позволил уточнить ее разрез. Определялась продолжительность бурения 1 м скважины по времени углубления ведущей трубы квадратного сечения, размеченной на метровые интервалы. Строились кривые изменения продолжительности углубления (кривые механического каротажа), которые совмещались с кривыми геофизических исследований.

В качестве промывочной жидкости применялась вода. Однако при вскрытии водоносного

горизонта, который представлял собой тонко- и мелкозернистые пески и песчаники с прослойками пестроцветных глин и алевролитов, происходили обогащение раствора глинистыми частицами и последующая колыматация песка. Несмотря на замену раствора в отстойнике чистой водой, на скважине № 2 не удалось избежать колыматации водовмещающих пород и для ее освоения использовалась газодинамическая установка. При бурении скважины № 3 в технологию бурения были внесены следующие коррективы: чистая вода подавалась не в отстойник, где могло происходить ее загрязнение глинистыми частицами, а непосредственно в ствол скважины. Необходимое количество воды непрерывно подавалось из сборного водовода водозабора, подключенного к скважинам № 1 и 2. Это положительно повлияло на качество вскрытия пласта и позволило получить на скважине № 3 наибольший удельный дебит – $3,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$.

Подбор состава обсыпки производился следующим образом. Сначала строилась кривая гранулометрического состава водовмещающих пород и по ней определялось значение d_{50} – диаметра частиц, меньше которого в породе находится 50 % частиц. Затем производился подбор механического состава обсыпки в соответствии с требуемым соотношением $D_{50}/d_{50} = 8 \dots 12$ (D_{50} – диаметр частиц обсыпки, меньше которого содержится 50 % частиц) [2]. Если водовмещающие породы представлены тонко- и мелкозернистыми песками, то в качестве обсыпки применяется промытый крупнозернистый песок без известковых включений, примесей пыли и глины. Подбор песчаной обсыпки с расчетным значением D_{50} производился после анализа гранулометрического состава песков ряда месторождений.

В табл. 1 представлены результаты определения гранулометрического состава песков высшего качества месторождений, принадлежащих ОАО «Нерудпром» (г. Минск).

Для песчаных обсыпок строились интегральные кривые гранулометрического состава, по которым определялись значения действующего диаметра частиц D_{10} , контролирующего диаметра D_{60} и среднего диаметра D_{50} и вычислялись значения коэффициента неоднородности $K_n = D_{60}/D_{10}$. Характеристики песчаных обсыпок представлены в табл. 2.

Таблица 1

Гранулометрический состав песков

Диаметр частиц каждой фракции, мм	Месторождение «Векшичи» ДСЗ «Заславль» (31.10.03)		Месторождение «Веснянка» ДСЗ «Крапушино» (28.08.03)		Месторождение «Ваньковщина» ДСЗ «Волма» (20.05.03)	
	Содержание каждой фракции в породе, %	Содержание фракций по совокупности, начиная с самой мелкой, %	Содержание каждой фракции в породе, %	Содержание фракций по совокупности, начиная с самой мелкой, %	Содержание каждой фракции в породе, %	Содержание фракций по совокупности, начиная с самой мелкой, %
5...2,5	5	100	7,5	100	16	100
2,5...1,25	18	95	10	92,5	11,5	84
1,25...0,63	17	77	24	82,5	32,5	72,5
0,63...0,315	41,5	60	42	58,5	21	40
0,315...0,16	16,5	18,5	15,5	16,5	18	19
<0,16	2	2	1,0	1,0	1	1

Таблица 2

Расчетные характеристики песчаных обсыпок

Материал обсыпки	D_{10}	D_{50}	D_{60}	K_n
ДСЗ «Заславль»	0,22	0,55	0,62	2,8
ДСЗ «Крапушино»	0,24	0,54	0,66	2,75
ДСЗ «Волма»	0,22	0,78	0,96	4,4

Песок ДСЗ «Волма», несмотря на более высокое содержание фракции 1,25...0,63 мм, обладает более высокой неоднородностью состава $K_n = 4,4$, и поэтому при гравитационном способе его засыпки на забой возможно расслоение частиц и пескование скважины. Песчаные обсыпки ДСЗ «Заславль» и «Крапушино» имеют более однородный состав с коэффициентом неоднородности ($K_n = 2,8$). Следует отметить, что в зимний период песок перечисленных месторождений не промывают, что делает его непригодным для использования в качестве фильтрационной загрузки скважинных фильтров. Необходимо также учитывать некоторые колебания во времени фракционного состава песков, вызванные неоднородностью его залегания в карьере.

В настоящее время на узле промывки песка и гравия на ДСЗ «Крапушино» начато производство фракционированных песков фракции 1...1,8 мм, соответствующих ТУ РБ 100016844.241–2001 «Песок кварцевый фильтрующий» со следующими характеристиками:

- минимальный размер основной фракции, мм, – 1,0;

- максимальный размер основной фракции, мм, – 1,8;
- содержание основной фракции, % не менее, – 90;
- коэффициент неоднородности – 1,45...1,65;
- пористость, %, – 38...44;
- содержание глинистых частиц, % не более, – 0,5;
- объемная масса, кг/м³ не более, – 1577.

Фракционированный песок поставляется заказчику в мягких контейнерах весом 1 т. Стоимость 1 т – 51000 руб. К недостаткам этого песка следует отнести несоответствие требованиям ТУ по химической стойкости при использовании в условиях кислой среды. В экспериментах с соляной кислотой из-за наличия в песке карбоната кальция прирост плотного осадка превышал требования ТУ более чем в 10 раз. Этот неблагоприятный фактор следует учитывать при декольматации скважин реагентными методами с применением соляной кислоты.

В частности, исследование минералогического состава песков ДСЗ «Крапушино» показало, что с уменьшением размера фракций песка происходит его обогащение кварцевыми частицами и повышение химической стойкости. В качестве песчаной обсыпки на пробуренных скважинах применялись пески высшего качества ДСЗ «Крапушино» и «Заславль». Это позволило выполнить качественную, практически без расслоения гравийную обсыпку. Объем обсыпки, например, на скважине № 3 водозабора составил 10 м³, что позволило перекрыть весь водоносный горизонт мощностью 50 м и дренировать все прослойки малой мощности. Это также предопределило получение здесь более высокого удельного дебита, чем на двух предыдущих скважинах. Для создания равномерной по толщине обсыпки фильтровая колонна с отстойником при спуске в незакрепленную скважину снабжалась центраторами (фонарями) в виде продольных стальных полос. Обсыпка фильтров осуществлялась вручную одновременно со всех сторон в непрерывном режиме для предотвращения ее расслоения.

Принимались меры по исключению гидравлической связи между ниже- и вышерасположенными водоносными горизонтами, которая могла возникнуть из-за различного положения статических уровней в среднедевонских песках (11 м) и в песках четвертичных отложений (5 м), так как при смещении вод различного химического состава возможно образование нерастворимых отложений в гравийной обсып-

ке и на фильтре, т. е. интенсификация кольматационных процессов.

Во избежание этих явлений и в целях обеспечения необходимой изоляции вышележающих неэксплуатирующихся водоносных горизонтов устанавливались промежуточные колонны с затрубной цементацией, доходящие до водоупоров, и устраивались цементные мосты с помощью цементационного агрегата в толще днепровской морены. Работы на скважинах водозабора подтвердили необходимость постоянного гидрогеологического контроля за процессом бурения скважины, каротажными работами, посадкой фильтров, количеством и качеством обсыпки, сдачей скважины в эксплуатацию.

Проведение каротажных исследований скважины с отбором проб породы при бурении обратной промывкой и механическим каротажом позволяет получить достоверную информацию о геологическом разрезе. По мнению авторов, в некоторых случаях для экономии средств, предусмотренных для бурения разведочного ствола, при бурении обратной промывкой чистой водой можно производить каротажные исследования непосредственно в открытом стволе конечного диаметра. Это возможно при бурении на достаточно изученных участках водозабора с площадной формой распространения водоносных горизонтов. На рис. 1 представлен геолого-гидрогеологический разрез по скважинам водозабора г. Толочина. Результаты каротажных исследований, проведенных в открытом стволе Ø490 мм скважины № 3, хорошо согласовались с данными бурового журнала этой скважины и каротажными исследованиями в разведочных стволах скважин № 1, 2 и 3 и послужили основой для определения интервалов посадки фильтров. Причем по разрезу видно, что из-за недостаточной мощности прослоек песка не удалось разместить всю проектную длину фильтров в одном интервале.

В скважинах были запроектированы проволочные фильтры Ø168 мм для обеспечения максимально возможного контура гравийной обсыпки. Однако в условиях бурения методом обратной промывки с конечным диаметром 490 мм в описанных гидрогеологических условиях наиболее оптимальным следует считать фильтр Ø219 мм по следующим причинам.

Хотя его применение незначительно уменьшает толщину слоя гравийной обсыпки (всего на 25 мм), он обладает лучшей ремонтпригодностью по возможности установки внутри ремонтного фильтра в случае пескования основного и более удобен для применения здесь импульсных методов регенерации и прокачки

скважины эрлифтом с монтажом его до самого отстойника.

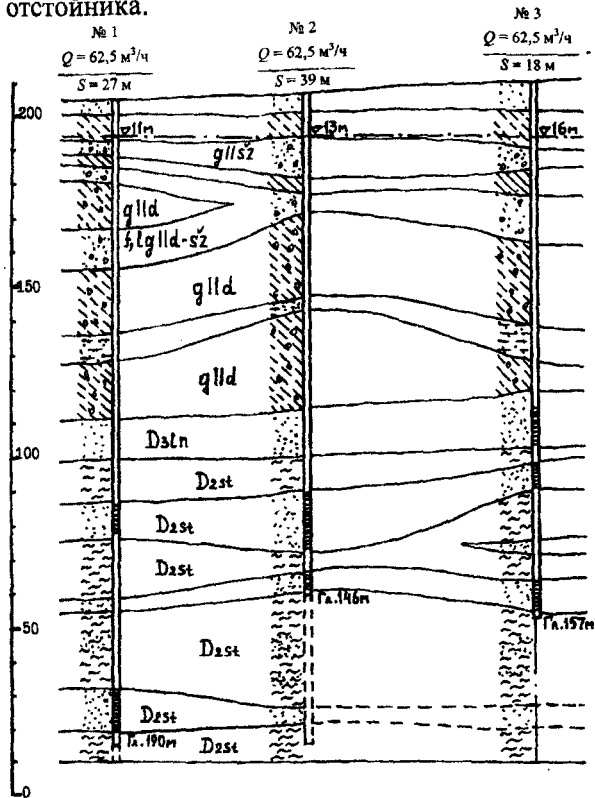


Рис. 1. Геолого-гидрогеологический разрез по линии скважин № 1–3 водозабора г. Толочина: — — — статический уровень; Q – дебит скважины; S – понижение динамического уровня

Применение фильтра большего диаметра очевидно. Для создания водоприемной поверхности фильтров диаметрами 168 и 219 мм используется нержавеющая проволока $\varnothing 2$ мм, которая при импульсной регенерации фильтра при прочих равных условиях лучше работает на растяжение в фильтре большего диаметра. По исследованиям [3], для обеспечения того же растягивающего усилия Np в фильтре меньшего радиуса r_1 необходимо создать давление p_1 большее, чем p_2 в фильтре большего радиуса r_2 , т. е. $p_1 = p_2 r_2 / r_1$. Отсюда следует, что кольматирующие отложения, цементирующие проволочную обмотку, при прочих равных условиях легче разрушаются на фильтрах большего диаметра. Кроме того, эти фильтры обладают меньшими входными скоростями, большей гряземкостью и поэтому должны иметь более длительный срок стабильной работы. В пользу установки фильтров большего диаметра свидетельствует анализ формулы Дюпюи для дебита скважины [4].

В дальнейшем при проектировании и сооружении скважин были внесены поправки в их конструкцию и технологию буровых работ.

Данные о запроектированных и пробуренных скважинах методом обратной промывки в г. Толочине и районе при непосредственном участии авторов статьи представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты бурения скважин роторным способом с обратной промывкой чистой водой в г. Толочине и районе

№ п/п	Время и место сооружения скважины	Диаметр фильтра, мм / интервал установки, м	Глубина, м / диаметр долота, мм	$H_{ст}$, м	$H_{дин}$, м	S , м	Q , м³/ч	q , м³/(ч · м)
1	04.98, г. Толочин (скв. № 1 водозабора)	168/121...125,5; 173,5...187	190/490	11	38	27	62,5	2,3
2	06.01, г. Толочин (скв. № 2 водозабора)	168/107...134; 141...144	146/490	13	52	39	62,5	1,6
3	10.03, г. Толочин (скв. № 3 водозабора)	168/95...107; 111...118; 148...154	157/490	16	34	18	62,5	3,5
4	12.98, д. Словени (возле башни)	168/120...128; 131...135,5	137,5/490	16,5	31,5	15	40	2,7
5	05.98, д. Словени (школа)	219/126,5...140	142/490	9,5	22,6	13,1	25	1,9
6	07.99, д. Озерцы (консервный завод)	219/165,3...171,3; 173,5...182,5	184/490	5	19,4	14,4	60	4,2
7	10.99, д. Голошево	219/136...146	148,5/490	14	31,1	17,1	48	2,8
8	11.99, д. Высокий Городец	219/89,5...101,5	103,5/490	14	43	29	32	1,1
9	11.99, д. Заднево	219/60...66; 72...78	80/490	5	10	5	50	10
10	16.01, г. Толочин (у озера)	219/32...40	42/490	2,5	5,5	3	29	9,7
11	7.03, г. Толочин (райсельхозтехника)	168/140...155	157/490	17,5	30	12,5	28	2,2

В процессе бурения скважин № 2 водозабора г. Толочина и д. Высокий Городец произошла коагуляция водоносных горизонтов глинистыми частицами. Для разглинизации применяли импульсную регенерацию, совмещенную с эрлифтной прокачкой, которая позволила увеличить удельный дебит скважин и довести его соответственно до 1,6 и 1,1 м³/(ч · м). Даже интенсивные работы по декоагуляции не обеспечивают достижения среднего удельного дебита, полученного для незакоагулированных скважин, пробуренных в старооскольских песках среднего девона, который составил для девяти скважин: $q_{\text{ср}} = 2,8 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м})$. Средний удельный дебит двух скважин, пробуренных на четвертичные отложения в д. Заднево и г. Толочине (у озера), составил 9,8 м³/(ч · м).

ВЫВОДЫ

1. Совместное применение электрокаротажа, механического каротажа и отбор образцов пород при бурении обратной промывкой обеспечивают получение достоверной информации по всему разрезу. Это позволяет в некоторых случаях отказаться от бурения разведочного ствола малого диаметра и проводить комплекс геофизических исследований в стволе конечного диаметра, что позволит сэкономить значительные средства.

2. Наибольший удельный дебит получен в скважинах при вскрытии пласта чистой водой, подаваемой в процессе вскрытия водоносного

горизонта непосредственно в ствол скважины из системы водоснабжения с расходом, равным производительности эрлифтного пульпоподъемника.

3. Использование легкосплавных буровых штанг ЛБТ147-9000 в комплекте с трехшарошечным долотом Ø490 мм и центратором Ø426 мм весом более 2 т позволило пробурить скважины глубиной 150...190 м на мелко- и тонкозернистые старооскольские пески среднего девона методом обратной промывки чистой водой. Максимальный удельный дебит составил 4,2, средний – 2,8 м³/(ч · м). Оптимальным в данных гидрогеологических условиях является проволочный фильтр из нержавеющей стали на трубчатом каркасе Ø219 мм. Средний удельный дебит двух скважин, пробуренных на четвертичные отложения, составил 9,8 м³/(ч · м).

ЛИТЕРАТУРА

1. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду / Д. Н. Башкатов, С. Л. Драхлис, В. В. Сафонов, Г. П. Квашиин. – М.: Недра, 1988. – 286 с.
2. СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
3. Ивашечкин В. В. Основы расчета необходимого давления для декоагуляции прифильтровой зоны водозаборной скважины // Вестник БНТУ. – 2003. – № 5. – С. 10–16.
4. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду / В. В. Дубровский, М. М. Керченский, В. И. Плохов и др. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1972. – 512 с.

УДК 624.138.9

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМИРОВАННОГО ПЕСЧАНОГО ГРУНТА

Канд. техн. наук, доц. **БАНИКОВ С. Н.**, инж. **АЛЬ МАХАМИД ФАЙЕЗ**

Белорусский национальный технический университет

При отрывке глубоких котлованов и отсыпке насыпей вблизи существующих зданий и сооружений часто требуется проводить мероприятия по обеспечению устойчивости вертикальных откосов путем устройства подпорных

и ограждающих стенок, усиленных анкерными креплениями. Этого можно достичь методом включения в массив грунта металлических, пластмассовых или синтетических нетканых материалов. Созданные таким образом основа-