

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КЕРАМЗИТОВОГО ПЕСКА ПРИ ОБОРУДОВАНИИ СКВАЖИН ГРАВИЙНЫМИ ФИЛЬТРАМИ

М.П. Магарян, аспирант,

В.В. Ивашечкин, доктор технических наук, доцент
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь

Аннотация

В статье рассмотрена возможность применения керамзитового песка в качестве обсыпки фильтровых и эксплуатационных колонн скважин. Выполнено исследование и сравнительный анализ свойств керамзитового и кварцевого песков, произведены расчеты сил трения, возникающих на контакте колонны с обсыпкой. Произведено сравнение стоимости материалов. Показано, что в скважине, оборудованной обсыпкой из керамзитового песка, улучшаются условия проведения капитального ремонта.

Ключевые слова: скважина, керамзитовый песок, кварцевый песок, фильтровая колонна, гранулометрический состав, коэффициент фильтрации, угол внутреннего трения, коэффициент трения, гидравлическая крупность, сила трения

Abstract

M.P. Magaryan, V.V. Ivashchkin

EFFICIENCY OF KERAMZITE SAND USE TO EQUIP WATER WELLS GRAVEL FILTERS

The article presents keramzite sand as filling for filter and operating columns of water wells. The research and comparing analysis of keramzite and quartz sand are maintained, friction force caused by contact of column and filling is calculated. Costs for materials are compared as well. It was found that water well equipped with filling of keramzite sand is better suited to overhaul.

Keywords: water well, keramzite sand, quartz sand, filter column, granule composition, filtration coefficient, internal friction angle, friction coefficient, hydraulic size, friction force

Введение

Водоснабжение Республики Беларусь базируется в основном на подземных водах. Поверхностные воды для питьевого водоснабжения частично используются только в крупных городах: в Минске, Гомеле, Гродно и Полоцке. Использование поверхностных водоисточников для питьевого водоснабжения, как правило, сопровождается строительством дорогих сооружений водоподготовки. Более приемлемым является использование хорошо защищенных от поверхностных загрязнений подземных вод [1].

Добыча подземных вод для водоснабжения населенных пунктов осуществляется с помощью высокодебитных водозаборных скважин. В Беларуси средний срок службы высокодебитных водозаборных скважин типовых конструкций составляет 18-22 года [2]. Основные причины выхода скважин из строя: пескование и кольятация фильтров. Пескование может происходить из-за суффозии пластового песка через гравийный фильтр (при неправильном подборе обсыпки) или через сальник у скважин с фильтром «впотай» (при неправильной установке фильтра или сальника), а также через трещины и дефекты в фильтровой колонне, образованные в результате коррозии или физического разрушения фильтра в

процессе механической или химической регенерации [3]. Кольматация фильтра существенно снижает дебит скважины, и в какой-то момент использование данного сооружения становится экономически нерентабельным. Вышедшую из строя скважину типовой конструкции обычно переоборудуют, так как вероятность извлечения фильтровой колонны на поверхность и замены на новую у высокодебитных скважин очень мала. Это обусловлено большими диаметрами и длинами фильтровых колонн таких скважин и, как следствие, силами трения, которые прямо пропорциональны площади контакта. В современной литературе описана технология извлечения фильтров скважин, установленных «впотай» по отношению к эксплуатационной колонне, но отсутствуют критерии для оценки вероятности успешного выполнения этих работ на данной конкретной скважине. Согласно проведенным расчетам, извлечение фильтров с применением только тяговых усилий не представляется возможным в виду значительного превышения сил трения, возникающих при извлечении фильтровой колонны, над допустимыми нагрузками на сварной шов и фильтр скважностью 30 % [4].

Стоимость капитального ремонта скважины значительно ниже стоимости ее переоборудования. За-

тампонированная скважина является источником дополнительного загрязнения в пласте за счет корродирующих металлоконструкций и перетекания загрязнений из верхних незащищенных горизонтов. Это происходит, если бурение, тампонажные работы и работы по затрубной цементации выполнены некачественно. В этой связи вопрос совершенствования конструкций водозаборных скважин и поиск новых материалов, позволяющих снизить силы трения, повысить успешность извлечения и замены фильтровых колонн, является актуальным.

Одним из путей увеличения ремонтпригодности высокодебитных скважин является поиск альтернативных материалов обсыпок [4]. В БНТУ на кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство» было предложено применять в качестве обсыпки керамзитовый песок с целью снижения сил трения при извлечении фильтровой колонны [5]. Однако механические, физические и фильтрующие свойства керамзитового песка изучены не так досконально, как например, свойства кварцевого песка, который широко применяется для обсыпки фильтров. В этой связи его применение для оборудования водоприемной части скважин ограничено.

Цель работы заключалась в экспериментальном исследовании свойств керамзитового песка и обосновании возможности его использования в качестве обсыпки фильтровых колонн водозаборных скважин.

Основная часть

Все вышеописанные исследования проводились с однородным кварцевым фильтрующим песком (ТУ РБ 100016844.241-2001) и с тяжелым керамзитом фракции 0-5 М700 (СТБ 1217-2000).

Определение гранулометрического состава. Основной метод для определения гранулометрического состава песчаных пород – ситовой. Порода с помощью специального набора сит отсеивают на отдельные фракции. После этого определяют вес и процентное содержание в ней каждой фракции [6].

Для сравнения гранулометрического состава песка фильтрующего керамзитового [7] и песка фильтрующего кварцевого [8] (основной материал обсыпки фильтровых колонн водозаборных скважин, применяемый буровыми организациями Республики Беларусь) были взяты пробы по 3000 грамм и про-

сеяны через стандартный набор сит с отверстиями 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 мм.

Анализ полученных данных показал, что содержание частиц $d < 0,1$ мм имеет место в обеих пробах, однако их процентное содержание (1,33 % для керамзитового песка и 0,9 % для кварцевого) является допустимым и не требует дальнейшего разделения и исследования данных частиц. По процентному содержанию частиц с диаметрами в диапазоне $5 \geq d \geq 2,5$ керамзитовый и кварцевый пески существенно отличаются. Для керамзитового песка оно составляет 38,5 %, а для кварцевого – всего 2,7 %. Схожи данные образцы содержанием частиц с диаметрами в диапазоне $2,5 \geq d \geq 1,25$: у песка керамзитового – 44,2 %, а у песка кварцевого – 45,1 %.

По полученным данным согласно [9] произвели построение интегральной кривой гранулометрического состава в простом масштабе (рисунок 1).

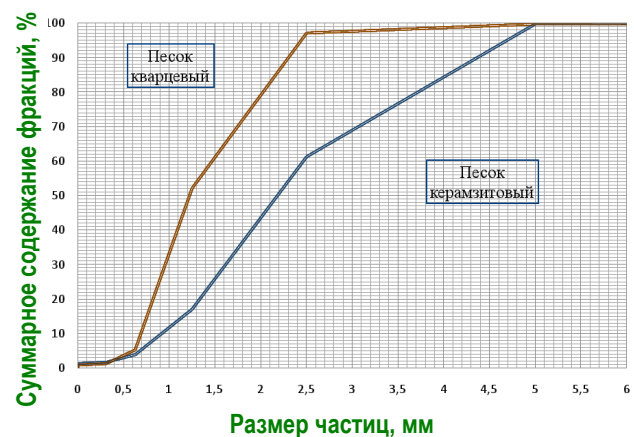


Рисунок 1- Кривые гранулометрического состава кварцевого и керамзитового песков

Кривая позволяет вычислить значения: действующего или эффективного диаметра частиц (d_{10}), контролирующего диаметра частиц (d_{60}), – среднего размера зерен обсыпки (d_{50}), требующегося для подбора фильтровой обсыпки, и наглядно увидеть степень однородности частиц. Так, например, если кривая крутая, то порода однородная, если кривая пологая, то порода неоднородная. Мерой неоднородности гранулометрического состава пород служит коэффициент неоднородности K_n . Вычисленные значения занесены в таблицу 1.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что керамзитовый песок по своему гранулометрическому составу весьма схож с кварцевым песком, получившим широкое распространение

Таблица 1 – Гранулометрический состав песков

	d_{50} (мм)	d_{60} (мм)	d_{10} (мм)	$K_H = d_{60}/d_{10}$
ПЕСОК КЕРАМЗИТОВЫЙ	2,18	2,47	0,92	2,68
ПЕСОК КВАРЦЕВЫЙ	1,22	1,48	0,70	2,11

как материал для обсыпки фильтровых колонн скважин. Они обладают близкими коэффициентами неоднородности, но разными значениями среднего размера зерен, что позволяет использовать керамзитовый песок в качестве обсыпки в более проницаемых пластах, сложенных среднезернистыми песками. При необходимости, для расширения области применения керамзитового песка (уменьшения d_{50} до значений, близких к значениям d_{50} испытанного кварцевого песка), можно воспользоваться ситом $\geq 2,5$ и просеять через него весь керамзитовый песок. Учитывая, что керамзитовый песок является отходами производства керамзитового гравия, это возможно на керамзитовом заводе.

Физические свойства. Среди основных физических свойств сыпучих материалов следует выделить плотность материала и плотность частиц материала. Зная эти параметры, можно определить боковое давление грунта обсыпки на участке, где кондуктор перекрывает часть надфильтровой, эксплуатационной, колонны, и затем силу трения при извлечении колонны. Данные значения определены с помощью метода гидростатического взвешивания [9]. По итогам лабораторного опыта была определена плотность материала: песок керамзитовый – 700 кг/м³, песок кварцевый – 1570 кг/м³; плотность частиц материала: песок керамзитовый – 1250 кг/м³, песок кварцевый – 2640 кг/м³.

Полученные данные свидетельствуют о том, что керамзитовый песок является пористым материалом в глазури из обожженной глины с малыми показателями объемного и удельного веса, что будет положительно влиять на возможность проведения капитального ремонта водозаборной скважины с удалением обсыпного материала из межтрубного пространства и извлечением фильтровой колонны на поверхность.

Фильтрующие свойства. Коэффициент фильтрации исследуемых материалов определялся с помощью прибора Дарси в условиях равномерного напорного движения при ламинарном режиме [10]. У

кварцевого песка он составил 33 м/с, у керамзитового – 62 м/с.

Механические свойства обсыпных материалов

Угол внутреннего трения определяли как угол естественного откоса. Под последним принято понимать тот предельный угол наклона откоса, при котором порода в откосе находится в устойчивом состоянии, т.е. не осыпается и не оплывает. Его определяли в специальном приборе по методике [11].

Проведенные опыты показали, что угол внутреннего трения для обоих заполнителей является практически одинаковым и составляет для песка кварцевого $tg\alpha=0,53$ ($\alpha=28^\circ$), для песка керамзитового $tg\alpha=0,54$ ($\alpha=28^\circ$).

Коэффициент трения по стали определяли с целью расчета сил трения при извлечении колонны на поверхность. Сила трения зависит от коэффициента трения и прижимающей силы. Если стенки колонны абсолютно гладкие, то на нее действует только горизонтальная прижимающая сила со стороны грунта (обсыпки). В случае, когда имеется шероховатость, проявляется действие вертикальных сил [12].

Для определения коэффициентов трения по стали (μ) провели серию опытов с перемещением стальной пластины (размер 500x500 мм, толщина 6,0 мм, масса 10,2 кг) по поверхности следующих материалов: песка керамзитового сухого, песка керамзитового мокрого, песка кварцевого сухого, песка кварцевого мокрого, песка сухого ($d=0,25-0,5$ мм), который обычно используется в качестве обсыпки эксплуатационных колонн. Для увеличения прижимающей силы использовали пригрузки массой 3, 6, 9, 12, 15 кг [13]. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 2.

После проведения серии опытов получены средние значения коэффициента трения $\mu_{ср}$, для каждого из образцов (таблица 2).

Согласно данным таблицы, коэффициент трения μ для керамзитового песка в среднем на 14 % меньше, чем для кварцевого песка и на 25 % меньше

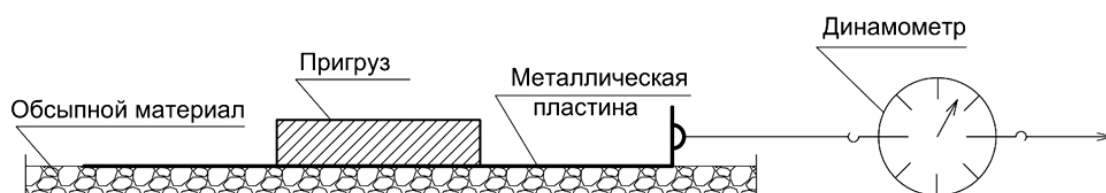


Рисунок 2 – Схема установки для определения коэффициента трения μ

Таблица 2 – Значения коэффициентов трения μ

МАССА (пластина + пригруз), кг	песок керамзитовый сухой	песок керамзитовый мокрый	песок кварцевый сухой	песок кварцевый мокрый	Песок сухой (0,25-0,5)
10,2	0,492	0,572	0,581	0,669	0,675
13,2	0,491	0,584	0,565	0,674	0,670
16,2	0,481	0,569	0,574	0,657	0,673
19,2	0,466	0,558	0,564	0,645	0,653
22,2	0,488	0,567	0,575	0,639	0,644
25,2	0,496	0,559	0,559	0,632	0,659
$\mu_{\text{ср}}$	0,486	0,568	0,570	0,653	0,662

чем для песка сухого (0,25-0,5). Подобная особенность объясняется различием в природе материалов (обожженная глина и кварцит), а также крупностью, пористостью и окатанностью частиц, которые в совокупности определяют фактическую площадь контакта с поверхностью металла.

Гидравлическая крупность частиц. Определяется как скорость равномерного падения частиц грунта в воде. Данная характеристика необ-

ходима для расчета расхода воды для принудительного выноса частиц обсыпки на поверхность восходящим потоком с целью уменьшения обжимающей силы. Опыты проводились в вертикальном прозрачном цилиндрическом сосуде с водой. Путь движения частиц определяли как расстояние между двумя рисками на стенке сосуда ($l=0,362$ м), время определяли по секундомеру. Результаты измерений сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты опытов по определению гидравлической крупности w

Обсыпка	№ опыта	Время, с	Гидравлическая крупность w , м/с	Обсыпка	№ опыта	Время, с	Гидравлическая крупность w , м/с
ПЕСОК КЕРАМЗИТОВЫЙ	1	4,2	0,086	ПЕСОК КВАРЦЕВЫЙ	1	2	0,181
	2	4,1	0,088		2	1,9	0,191
	3	4	0,091		3	2	0,181
	4	4	0,091		4	1,8	0,201
	5	3,7	0,098		5	1,8	0,201
	6	3,8	0,095		6	1,7	0,213
	7	3,8	0,095		7	1,8	0,201
	8	3,5	0,103		8	1,6	0,226
	9	4	0,091		9	1,8	0,201
	10	3,7	0,098		10	1,7	0,213
среднее			0,094	среднее			0,201

По результатам опытов видно, что гидравлическая крупность частиц керамзитового песка более чем в два раза меньше гидравлической крупности частиц кварцевого песка. Это значит, что для удаления керамзитового песка из затрубного пространства восходящим потоком потребуется расход воды в 2 раза меньше, чем для кварцевого песка. Особенно это существенно для высокодебитных скважин с мощным контуром гравийной обсыпки. По расчетам такие расходы могут превышать $100\text{ м}^3/\text{ч}$.

Окатанность частиц заполнителя. Определяли с помощью микроскопа ув.24. Необходима для оценки интенсивности кольматации водозаборной скважины и возможности извлечения фильтровой колонны. Чем более окатанные частицы заполнителя, тем большая вероятность извлечения фильтровой колонны за счет меньшей концентрации напряжения на стенках фильтра и тем выше пропускная способность обсыпного материала и меньшая вероятность возникновения кольматажа на поверхности гранул заполнителя [14].

Было произведено сравнение гранул керамзитового песка (рисунок 3) и кварцевого песка (рисунок 4).



Рисунок 3 – Керамзитовый песок X24

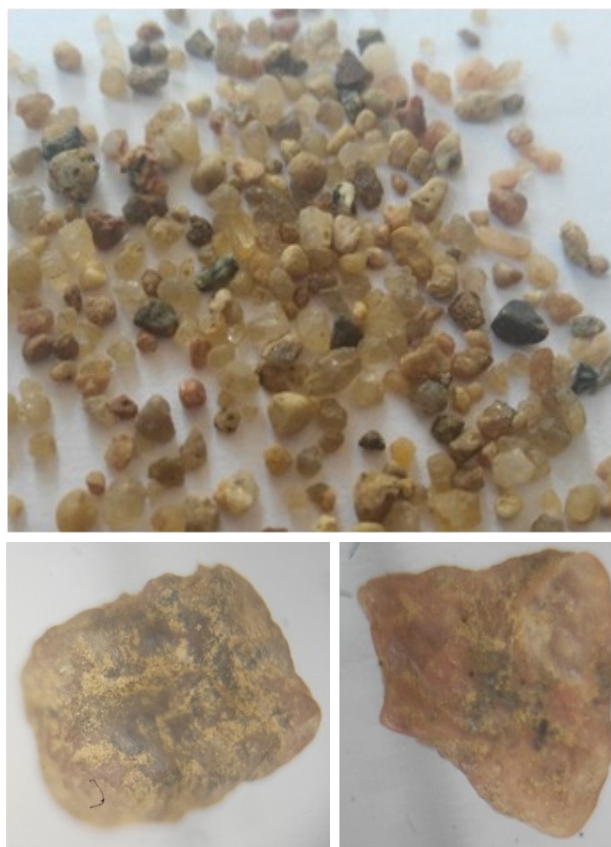


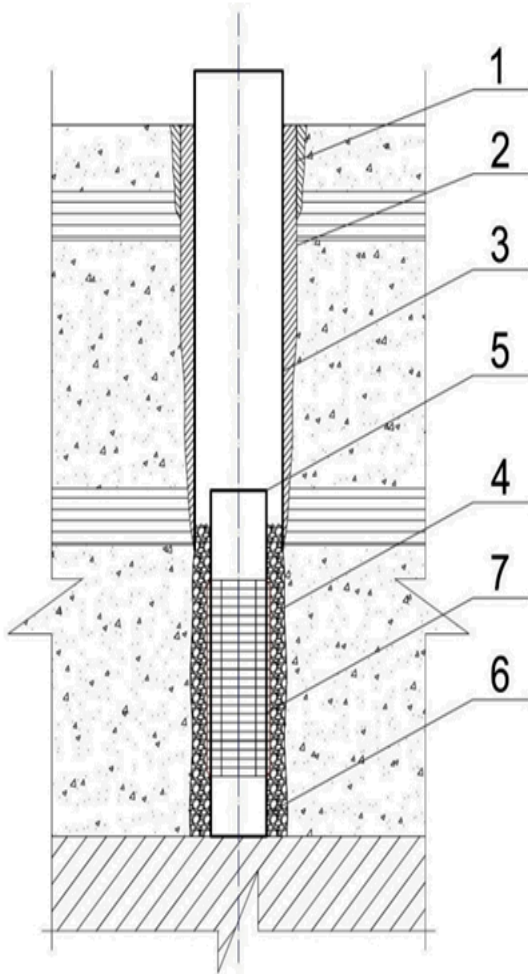
Рисунок 4 – Кварцевый песок X24

Гранулы керамзитового песка обладают более окатанной формой по сравнению с кварцевым песком. Следовательно, скорость кольматажа обсыпки, выполненной из керамзитового песка будет значительно ниже, чем у обсыпки, выполненной из кварцевого песка. Это говорит о возможном увеличении срока службы водозаборной скважины и уменьшении числа текущих ремонтов по декольматации гравийных фильтров.

Пример

Проведем сравнительный расчет сил трения при извлечении фильтровой колонны, установленной «впотап», при использовании в качестве обсыпок керамзитового и кварцевого песка (рисунок 5).

Скважина снабжена фильтром трубчатым проволочным (ФТП) производства ОАО «Завод Промбурвод» [15]. Трубы для фильтровой колонны приняты согласно [16] из стали [17]. Глубина скважины (рисунок 7) – 60 м; длина надфильтровой трубы – 5 м; длина фильтра типа ФТП 219 – 9 м; фильтр состоит из 2-х секций по 4,5 м; длина отстойника – 2 м; фильтровая колонна имеет обсыпку, которая на 1 м не доходит до верха надфильтровой трубы.



- 1 – кондуктор,
- 2 – затрубная цементация,
- 3 – эксплуатационная колонна,
- 4 – гравийная обсыпка,
- 5 – надфильтровая труба,
- 6 – отстойник,
- 7 – фильтр

Рисунок 5 – Скважина с фильтром, установленным «впотаи»

Горизонтальную нагрузку от грунта на фильтровую колонну определяли как силу бокового давления грунта в состоянии покоя (т.е. когда горизонтальное перемещение конструкции невозможно) согласно [18]. Для расчета принят самый неблагоприятный случай, когда уровень воды в скважине находится на отметке верха обсыпки, т.е. на глубине 45 м от поверхности. Грунт в интервале глубин 0-45 м будет естественной влажности ($h_1 = 45$ м), а в интервале 45-60 – водонасыщенным ($h_2 = 15$ м).

В грунтовом массиве с отличающимися свойствами слоев и горизонтальной поверхностью без

внешней нагрузки на нее вертикальные составляющие давления грунта σ_{yv} , кПа от собственного веса слоев составляют [18]:

$$\sigma_{yv} = \sum y_i h_i, \quad (1)$$

а для горизонтальных составляющих действует соотношение:

$$\sigma_{yh} = K_i \sum y_i h_i, \quad (2)$$

где y_i – удельный вес, кН/м³; h_i – толщина, м; K_i – коэффициент бокового давления для i -го слоя грунта.

Коэффициент давления грунта в состоянии покоя K_0 для сыпучего грунта определяется в соответствии с [18, пунктом 6.3.11] по формуле Яки:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi_i, \quad (3)$$

где φ_i – угол внутреннего трения грунта.

Горизонтальная составляющая давления грунта в нижней точке фильтровой колонны равна

$$\sigma_{zp} = K_1 \cdot y_1 \cdot h_1 + K_2 \cdot y_2 \cdot h_2, \quad (4)$$

где K_1 – коэффициент давления слоя грунта естественной влажности h_1 и удельным весом γ_1 в состоянии покоя; K_2 , γ_2 – удельный вес водонасыщенного грунта напротив фильтра длиной h_2 .

Удельный вес γ_1 грунта естественной влажности определяется по формуле:

$$\gamma_1 = g \rho_n, \quad (5)$$

где ρ_n – плотность грунта пористостью n ; $\rho_n = \rho_c(1-n)$; ρ_c – плотность скелета грунта; g – ускорение свободного падения.

Удельный вес γ_2 водонасыщенного грунта определяется с учетом взвешивающего влияния воды по формуле:

$$\gamma_2 = \frac{g \cdot \rho_c (\rho_n - 1000)}{\rho_n}. \quad (6)$$

Расчет основывается на том, что вокруг скважины находится однородный грунт с постоянными характеристиками [19]: $\rho_c = 2660$ кг/м³ – плотность частиц грунта; $n = 0,3$ – пористость грунта; $\varphi_1 = 40^\circ$ – угол внутреннего трения грунта естественной влажности; $\varphi_2 = 36^\circ$ – угол внутреннего трения грунта, насыщенного водой; $g = 9,81$ м/с²; $\rho = 1000$ кг/м³ – плотность воды.

Определяем ρ_n :

$$\rho_n = \rho_c(1-n) = 2660 \cdot (1-0,3) = 1830 \text{ кг/м}^3. \quad (7)$$

Удельный вес γ_1 осушенного грунта определяется по формуле (5):

$$\begin{aligned} y_1 &= g \cdot \rho_n = g \cdot \rho_c(1-0,3) = \\ &= 9,81 \cdot 2660 \cdot (1830-1000) = 18,3 \text{ кН/м}^3 \end{aligned} \quad (8)$$

Удельный вес γ_2 водонасыщенного грунта определяли с учетом взвешивающего влияния воды по формуле (6):

$$\begin{aligned} y_2 &= \frac{g \cdot \rho_c(\rho_n - 1000)}{\rho_n} = \\ &= \frac{9,81 \cdot 2660 \cdot (1830 - 1000)}{1830} = 11,8 \text{ кН/м}^3 \end{aligned}$$

Горизонтальная грунтовая нагрузка в нижней точке фильтровой колонны по (4) равна:

$$\begin{aligned} \sigma_{гр.низ} &= K_1 \cdot y_1 \cdot h_1 + K_2 \cdot y_2 \cdot h_2 = \\ &= 18,3 \cdot (1 - \sin 40^\circ) \cdot 45 + 11,8 \cdot (1 - \sin 36^\circ) \cdot 15 = \\ &= 18,3 \cdot 0,36 \cdot 45 + 11,8 \cdot 0,41 \cdot 15 = \\ &= 296,46 + 72,57 = 369,03 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Горизонтальная грунтовая нагрузка в верхней точке обсыпки фильтровой колонны ($h_2=0$) равна:

$$\begin{aligned} \sigma_{гр.верх} &= K_1 \cdot y_1 \cdot h_1 + K_2 \cdot y_2 \cdot h_2 = \\ &= 18,3 \cdot (1 - \sin 40^\circ) \cdot 45 = 18,3 \cdot 0,36 \cdot 45 = \\ &= 296,46 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Среднее значение горизонтальной нагрузки, действующей на фильтровую колонну:

$$\begin{aligned} \sigma_{гр.ср} &= \frac{(\sigma_{гр.низ} + \sigma_{гр.верх})}{2} = \\ &= \frac{369,03 + 296,46}{2} = 332,75 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Рассчитав боковое давление, передаваемое на фильтровую колонну водозаборной скважины от грунта, производим расчет силы трения фильтровой колонны об обсыпной материал при воздействии на фильтровую колонну тяговых усилий.

В примере рассматривается фильтр типа ФТП-219, изготовленный в соответствии с [20]. По технологии производства указанных фильтров на перфорированную стальную колонну с продольными стержнями производится намотка профилированной

проволами с зазором между витками 0,5-1 мм, что при расчетах позволяет приближенно принимать данную конструкцию как единую металлическую оболочку.

Рассчитаем значение силы трения фильтровой колонны, на которую действует только горное давление:

$$F = S \cdot \sigma_{гр.ср} \cdot \mu, \quad (9)$$

где S – площадь фильтровой колонны, соприкасающаяся с обсыпкой, м^2 ; $S = \pi \cdot d \cdot h_2$, $\pi = 3,14$, d – диаметр фильтра, м, h_2 – высота обсыпки, м, μ – коэффициент трения.

Для рассматриваемой скважины при условии обсыпки фильтровой колонны керамзитовым песком ($\mu_{н.кер.} = 0,568$) сила трения составит:

$$\begin{aligned} F_{н.кер} &= S \cdot \sigma_{гр.ср} \cdot \mu_{н.кер} = \\ &= 3,14 \cdot 0,235 \cdot 15 \cdot 332,75 \cdot 10^3 \cdot 0,568 = \\ &= 2091,97 \cdot 10^3 = 2091,97 \text{ кН}. \end{aligned}$$

При условии обсыпки фильтровой колонны кварцевым песком ($\mu_{н.квар.} = 0,653$) получим:

$$\begin{aligned} F_{н.квар} &= S \cdot \sigma_{гр.ср} \cdot \mu_{н.квар} = \\ &= 3,14 \cdot 0,235 \cdot 15 \cdot 332,75 \cdot 10^3 \cdot 0,653 = \\ &= 2405,03 \cdot 10^3 = 2405,03 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Из расчетов следует, что использование керамзитового песка вместо кварцевого песка в качестве обсыпного материала водозаборной скважины позволяет на 13 % снизить силы трения, возникающие между фильтровой колонной и обсыпкой. Это позволит увеличить вероятность извлечения фильтровой колонны при проведении капитального ремонта водозаборной скважины.

Для оценки экономической целесообразности использования керамзитового песка вместо кварцевого песка сравним их стоимость по ценам, актуальным на территории Республики Беларусь на момент написания статьи.

На сегодняшний день основными полигонами для добычи кварцевого песка на территории Республики Беларусь являются ДЗС «Волма», ДСЗ «Минский» и ДСЗ «Крапужино». Исследуемый песок выпускается ОАО «Нерудпром» и широко используется при сооружении гравийных обсыпок водозаборных скважин.

Керамзит щебеночный (СТБ-1217-2000) – искусственный пористый материал, получаемый по шликерной технологии и применяемый в качестве заполнителя при изготовлении легкого, конструкционного бетона, сборных и монолитных бетонных изделий и конструкций, теплоизоляционного и звукоизоляционного материала, завода КПД ОАО "Гомельский ДСК".

Сравнительная стоимость материалов приведена в таблице 4.

Как видно из таблицы, стоимость керамзитового песка в среднем в 2 раза больше стоимости кварцевого фильтрующего песка, что на фоне общей стоимости скважины приведет к 5-8 % увеличению конечной цены ее подземной части. Однако экономия при проведении текущих и капитальных ремонтов скважины взамен ее переобустройства позволит сэкономить до 70 % стоимости новой скважины [21].

Таблица 4 – Стоимость обсыпных материалов

№ п/п	Наименование продукции	Нормативный документ	ед. изм.	Цена BYN
1	Песок кварцевый фильтрующий	ТУ-РБ 100016844.241-2001	м3	26,5176
2	Тяжелый керамзит, фракция 0-5 М700 (в опытах)	ТУ РБ 100364066.001-2013	м3	54,8786
3	Тяжелый керамзит, фракция 0-5 М800	ТУ РБ 100364066.001-2013	м3	46,6465

Заключение

Анализ значений сил трения, возникающих при проведении капитальных ремонтов высокодебитных скважин с фильтрами на сплошной колонне, показал, что тяговые усилия при подъеме в большинстве случаев превышают прочность сварных швов на стыках извлекаемых труб и прочность перфората фильтров, что неминуемо приводит к их разрыву.

В плане совершенствования конструкций скважин в части повышения их ремонтпригодности была рассмотрена возможность замены кварцевой обсыпки на керамзитовую. Как показали опыты, по ряду свойств, облегчающих извлечение колонны при капремонте, керамзитовый песок, являющийся попутным продуктом при получении керамзитового гравия, обладает преимуществами по сравнению с кварцевым песком. Он имеет меньшие значения коэффициента трения по стали, плотности, гидравлической крупности, имеет более высокий коэффициент фильтрации. К важным преимуществам керамзитового песка относится более округлая окатанная форма зерен, которая при эксплуатации скважины снизит интенсивность накопления отложений на поверхности зерен и в поровом пространстве. Из этого следует, что скважины с керамзитовыми обсыпками дольше сохраняют свою производительность, менее подвержены кольматации и

лучше поддаются регенерации. Силы сцепления кольматанта с гладкой поверхностью ниже, чем с шероховатой. Это возможно позволит увеличить срок службы скважины. В то же время, для применения керамзитового песка в качестве обсыпки в горизонтах, сложенных тонкозернистыми и пылеватыми песками, потребуется дополнительное просеивание выпускаемого заводом материала с целью уменьшения среднего диаметра частиц или существенное увеличение мощности гравийной обсыпки фильтра

Расчеты сил трения, возникающих на контакте поверхности фильтровой колонны и обсыпки из кварцевого и керамзитового песка, показали, что применение керамзитового песка позволяет на 13 % снизить силы трения между фильтровой колонной и обсыпкой и увеличить вероятность извлечения фильтровой колонны на поверхность водозаборной скважины при капитальном ремонте.

Сравнительная оценка стоимости материалов обсыпок показала, что, несмотря на то, что керамзитовый песок в 2 раза дороже кварцевого, и сметная стоимость скважины возрастет на 5-8 %, это в дальнейшем будет скомпенсировано большим сроком службы скважины, а реализация капитального ремонта позволит сэкономить до 70 % стоимости новой скважины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ивашечкин, В.В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин: монография / В.В. Ивашечкин; под ред. А.Д. Гуриновича. -Минск: БНТУ, 2005.–270 с.
2. Анализ долговечности водозаборных скважин г. Минска / А.М. Шейко, В.В. Ивашечкин, Н.В. Холдинская, Э.А. Макарова // Вестник БНТУ. – 2006. – № 1. – С. 27–32.
3. Башкатов, А.Д. Предупреждение пескования скважин/ А.Д.Башкатов. – М.: Недра, 1991. - 176 с.
4. Магарян, М.П. Расчет тяговых усилий при извлечении фильтров водозаборных скважин /М.П. Магарян // Мелиорация. – 2016. – №1(75).– С.103-111.
5. Магарян, М.П. Перспективы применения керамзитового песка при сооружении водозаборных скважин / М.П. Магарян // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых, социальных и инженерных подходов: тезисы докл. VIII междунар. научн.-практ. конф.
6. Ломтадзе, В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород: руководство к лабораторным занятиям по инженерной геологии / В.Д. Ломтадзе.– Л.: Недра, 1972. – 312 с.
7. ТУ РБ100364066.001-2013. Технические условия. Песок керамзитовый фильтрующий.
8. ТУ РБ 100016844.241-2001. Технические условия. Песок кварцевый фильтрующий.
9. Ломтадзе, В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп./ В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1990. – 328 с.
10. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов. – 4-е изд., доп. и перераб. / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1982. – 672 с.
11. Механика грунтов: методические указания к лабораторным работам /Сост.: С. А. Пьянков, З. К. Азизов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 31 с.
12. Гаврилко, В.М. Фильтры буровых скважин / В.М. Гаврилко, В.С. Алексеев.–3-е изд. – М.: Недра, 1976. – 345 с.
13. Бутиков, Е.И. Физика: учеб. Пособие / Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев: в 3-х кн. –М.:Физматлит, 2008. – Кн.1. Механика. – 352 с.
14. Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium 7. - 9. Mai 2014 imBau-ABC Rostrup/ Bad Zwischenahn Klaus, Aufgaben von Ringraumschuttungen in Brunnen, Aufgaben von Ringraumschuttungen in Brunnen Vergleichende Betrachtungen von Kies und Glaskugeln, Diplom Geologe, MBA Reinhard Klaus.
15. Фильтры водозаборных скважин: паспорт ФП-01030.00.000 ПС ОАО Завод Промбурвод.– 2 с.
16. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент. ГОСТ 8732-78. – М., 1979. – 11 с.
17. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования. ГОСТ 8731-74. – 1976. – 8 с.
18. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Подпорные стены и крепления котлованов. Правила проектирования и устройства – ТКП 45-5.01-237-2011 (02250). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2011.
19. Гидротехнические сооружения комплексных гидроузлов: учебное пособие / Под ред. Г.Г. Круглова. – Минск: БНТУ, 2006. – 584 с.
20. ТУ РБ 00918241.084-96. Технические условия Фильтры водозаборных скважин.
21. Тесля, В.Г. Реконструкция водозаборных скважин в сельской местности / В.Г. Тесля // Водоснабжение и санитарная техника.– 2010.– №5.– С.10-15.

Поступила 2.09.2016 г.