

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕКОЛЬМАТАЦИИ ФИЛЬТРОВ СКВАЖИН

*Канд. техн. наук, доц. ИВАШЕЧКИН В. В., асп. ШЕЙКО А. М.,
КОНДРАТОВИЧ А. Н., ГУБИН В. В.*

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь насчитывается 13687 подземных источников централизованного водоснабжения и только четыре поверхностных источника, что составляет 0,03 % от числа подземных источников [1].

Основными причинами дефицита и перебоев в подаче воды являются отсутствие достаточных мощностей водозаборных сооружений и необеспечение оптимальных режимов работ систем подачи и распределения воды [2]. Поэтому проведение ремонтных мероприятий – первостепенная задача для поддержания производительности водозаборов подземных вод и снижения степени «старения» скважин [3, 4]. В данной статье рассматривается эффективность восстановления дебита скважины комбинированными методами с целью выбора оптимального способа очистки фильтра скважины и продления срока ее службы.

Как показали натурные эксперименты, комбинированное импульсно-реагентное воздействие на кольматирующие отложения является достаточно эффективным [5–7]. Применение пневмообработок в реагенте на водозаборах позволило достигнуть увеличения удельных дебитов до 70–75 % от первоначальных [3], а последовательное проведение электровзрывной и реагентной обработок увеличило удельный дебит сначала в 1,5–2,0 раза, а затем – дополнительно в 1,5 раза [9].

Интенсивность снижения производительности скважин, обработанных комбинированными методами, оказалась в 1,5–2,5 раза ниже, чем по скважинам, фильтры которых были обработаны только импульсными способами. Стабильность работы скважин после электровзрывной и реагентной обработок возросла до 18–24 месяцев [9].

Таким образом, комбинированное импульсно-реагентное воздействие на отложения явля-

ется эффективным и экономически оправданным.

Цель данной работы заключается в том, чтобы в лабораторных условиях оценить эффективность декольматации старого скважинного фильтра комбинированным газоимпульсно-реагентным воздействием и исследовать процесс этого воздействия на всех ступенях его осуществления. Для детального изучения был взят фрагмент закольматированного фильтра, извлеченного из водозаборной скважины водозабора «Неманица» г. Борисова.

В процессе эксплуатации скважины произошла значительная кольматация фильтра осадками химического происхождения. Для изучения состава отложений пробы осадка отдельно отбирались с внутренней поверхности фильтра (из перфорационных отверстий) и наружной его поверхности (проволочной обмотки). Осадок образует корку бледно-рыжего цвета на внутренней поверхности фильтра с наростами в районе перфорационных отверстий и сплошную беловатую корку на наружной поверхности. Наружная корка с частицами песка и гравия представляет собой единую с проволочной обмоткой фильтра неоднородную железобетонную конгломеративную структуру, в которой роль вяжущего играют кольматирующие отложения, заполнителя – песок и гравий и арматуры – проволочная обмотка с продольными опорными стержнями. Поэтому проба с наружной поверхности содержала большое количество SiO_2 .

Сравнительный анализ полученных данных показывает, что качественный состав проб одинаков, но имеются существенные отличия по количественному составу. На наружной поверхности фильтра в кольматанте содержится значительно меньше оксидов железа, но больше оксидов кальция, магния, калия и натрия.

В то же время в кольматанте, извлеченном из перфорационных отверстий, больше содержится сульфатов, особенно сульфидов. Сказанное выше указывает на неоднородность кольматанта по химическому составу. На внутренней поверхности фильтра доминируют карбонаты, гидроксиды, сульфаты и сульфиды железа, а на наружной поверхности – карбонаты кальция, магнезия, соединения калия и натрия и алюминия, входящие в состав глин.

После определения химического состава кольматанта было проведено тестирование реагентов для его растворения с обеспечением устойчивости элементов конструкций против их агрессивного воздействия. Рекомендована 20%-я соляная кислота с добавками «Дескама» в количестве 2,5 % по массе.

Принципиальная схема опытного стенда для испытания скважинных фильтров представлена на рис. 1.

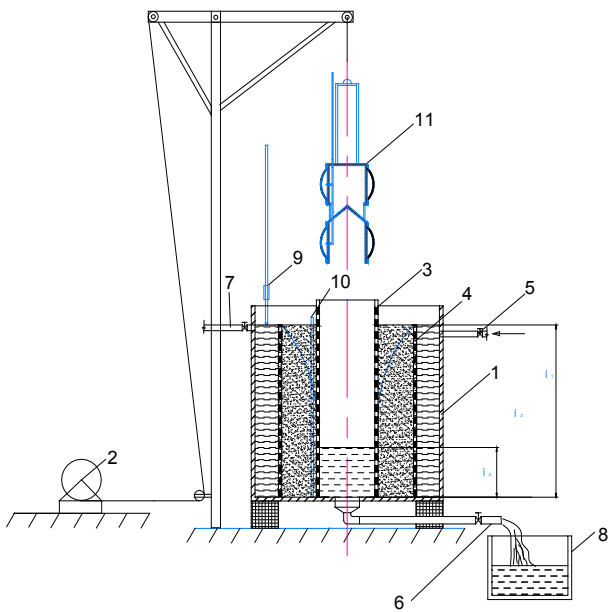


Рис. 1. Принципиальная схема опытного стенда для испытания скважинных фильтров: 1 – емкость; 2 – грузоподъемное устройство с поворотной стрелой; 3 – фрагмент фильтра; 4 – перфорированный цилиндр; 5 – подводящий патрубков; 6 – отводящий патрубков; 7 – холостой слив; 8 – мерный бак; 9 – игольчатый уровнемер; 10 – прифильтровой пьезометр; 11 – скважинное газодинамическое устройство

Стенд состоит из цилиндрического бака диаметром $D = 0,7$ м и высотой $H = 1$ м, грузоподъемного устройства, наружного перфори-

рованного цилиндра диаметром $D = 0,43$ м, внутрь которого устанавливался фрагмент закольматированного скважинного фильтра диаметром $D = 0,2$ м (8").

Фильтр предварительно взвешивали на весах и устанавливали в центральной части бака. Затем обсыпали песком, состоящего из фракции 1–1,8 мм согласно ТУ РБ 1000 16844-241–2001. После этого проводились гидравлические испытания модельной скважины. Строились индикаторные кривые связи понижения s в функции притока воды Q к фильтру, т. е. $s = f(Q)$. Понижение s рассчитывалось как разность напоров в кольцевом бьефе H_1 и скважине H_2 , т. е. $s = H_1 - H_2$. Приток Q определялся объемным методом. Удельный дебит q модельной скважины находили по формуле $q = Q/s$.

Эффективность регенерации фильтра модельной скважины вычисляли как отношение удельного дебита q_i после i -й обработки к удельному дебиту до обработки q_0

$$\Xi = \frac{q_i}{q_0}$$

Лабораторные исследования проводились в следующем порядке. Внутрь фильтра опускали скважинное газодинамическое устройство и производили обработку взрывами водородно-кислородной газовой смеси (ВКГС) нижней части фильтра длиной 0,5 м. Взрывы ВКГС осуществляли в режиме взрывного горения в цилиндрической взрывной камере с внутренним диаметром $d = 150$ мм и геометрическим объемом $V_k = 3$ дм³. Взрывы производились полной камерой с интервалом, равным по высоте расстоянию от нижнего среза камеры до отражателя $h = 0,07$ м.

На первом этапе применялась взрывная камера, снабженная манжетным пакером (рис. 2а), который при взрыве автоматически отделял участок обрабатываемого фильтра. Это достигалось установкой эластичных резиновых манжет на взрывной камере и отражателе, которые при расширении и схлопывании продуктов взрыва прижимались к внутренней поверхности фильтра.

На втором этапе проводилась оценка эффективности газоимпульсной обработки при использовании пневматических пакеров, кото-

рые перед взрывом надувались сжатым воздухом от компрессора (рис. 2б).

На следующем этапе в фильтр заливали 120 дм³ 20%-го раствора HCl с 2,5%-й добавкой кислотного чистящего средства «Дескам», что обеспечивало реагентную обработку нижней части фильтра длиной 0,5 м в режиме реагентной ванны в течение 16 ч.

После каждой обработки производилась оценка эффективности очистки по изменению притока воды Q в фильтр, удельного дебита q_i , а также посредством визуального осмотра фильтра до и после обработки и определением качества очистки путем замера площади очищенной поверхности S_i и сравнения ее с общей площадью очищаемой поверхности $S_{\text{общ}}$, по

формуле $n = \frac{S_i}{S_{\text{общ}}} \cdot 100 \%$. Отдельно определялись значения $n_{\text{вн}}$ для внутренней поверхности фильтра и $n_{\text{нар}}$ для наружной поверхности.

Основные результаты гидравлических исследований приведены в табл. 1. Из анализа результатов следует, что первая импульсная обработка взрывами ВКГС позволила увеличить удельный дебит модельной скважины в среднем в 2,8 раза, (удельный дебит сравнивался при равных водопонижениях S), т. е. $q_1 = 2,8q_0$. Однако визуальный осмотр фильтра показал, что его поверхность осталась полно-

стью покрытой кольматирующими отложениями и полученный прирост удельного дебита можно объяснить образованием мелких трещин в результате радиальных растягивающих нагрузок от взрывов ВКГС.

Давление взрыва в камере составляло $p_{\text{взр}} = 1$ МПа, что меньше по величине предела прочности кольматирующих отложений и значения второго предельного давления p_{II} , при котором образуются сквозные трещины шириной более 0,2 мм, не обладающие эффектом «самозалечивания» при снятии нагрузок [10].

Дальнейшие опыты показали, что полученные трещины оказались недолговечными, произошли их частичное закрытие и быстрая кольматация фильтра по свежим сколам. Это подтверждают результаты второй обработки, которая обеспечила сохранение удельного дебита только на уровне $q_2 = 1,4q_0$ (табл. 1). Третья импульсная обработка с применением пневмопакеров позволила частично вернуть удельный дебит к уровню первой обработки: $q_3 = 2,3q_0$. При этом по результатам внешнего осмотра качественных изменений в удалении отложений не произошло.

После реагентной обработки в режиме реагентной ванны в течение 16 ч удалось достигнуть значительного прироста удельного дебита: $q_5 = 137q_0$.

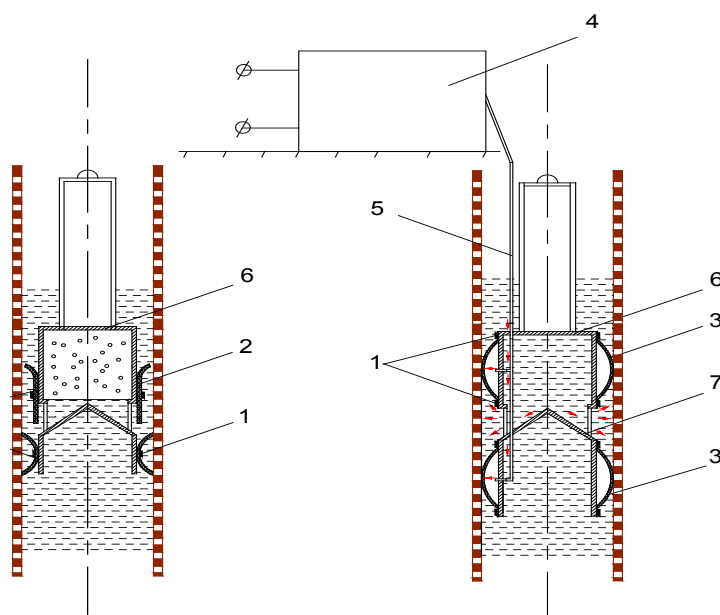


Рис. 2. Схемы пакеров: а – манжетный пакер; б – пневматический пакер; 1 – металлический хомут; 2 – резиновая манжета; 3 – уплотнительный элемент с защитной крышкой; 4 – компрессор; 5 – шланг; 6 – взрывная камера; 7 – отражатель

Таблица 1

Результаты исследований по определению эффективности регенерации фильтра

№ опыта	Условия эксперимента	№ измерения	Приток Q , $10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$	s , м	q , $10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$	Средняя эффективность $\Xi = \frac{q_i}{q_0}$	Качество очистки $n = \frac{S_i}{S_{\text{общ}}}$
1	До декольматации. Вес фильтра $G = 56,2$ кг	1	5,22	0,068	76,8		—
		2	7,87	0,112	70,26		
		3	11,8	0,191	61,8		
		4	17,5	0,328	53,35		
2	После первой серии импульсов (8 имп.): $V_r = 3 \text{ дм}^3$, $h' = 0,07 \text{ м}$, с манжетным паке-ром	1	22	0,114	193,0	2,8	$n_{\text{вн}} = 5 \%$, $n_{\text{нар}} = 0$
		2	32,6	0,188	173,4		
		3	43,0	0,294	146,3		
		4	54,0	0,416	129,8		
		5	60	0,498	120,5		
3	После второй серии импульсов (8 имп.) через 5 дней после первой обработки: $V_r = 3 \text{ дм}^3$, $h' = 0,07 \text{ м}$, с манжетным паке-ром	1	11	0,101	108,9	1,4	—
		2	23	0,318	72,3		
		3	27	0,423	63,8		
		4	30	0,52	57,7		
4	После третьей серии импульсов (8 имп.) через 30 дней после второй обработки: $V_r = 3 \text{ дм}^3$, $h' = 0,07 \text{ м}$, с пневматическим пакером	1	37	0,288	128,47	2,3	$n_{\text{вн}} = 15 \%$, $n_{\text{нар}} = 0$
		2	40	0,361	110,8		
5	После реагентной ванны (объем – 20 % HCl – 120 дм^3). Обработано 0,5 м фильтра в течение 16 ч. Вес фильтра $G = 54,2$ кг	1	590	0,052	11346	137	$n_{\text{вн}} = 75 \%$, $n_{\text{нар}} = 70 \%$
		2	800	0,072	11111		

В то же время визуальный осмотр фильтра показал, что на внешней поверхности фильтра и каркаса с внутренней стороны осталось 25–30 % отложений, которые необходимо удалять импульсной или виброимпульсной обработкой,

что доказывает необходимость их проведения на заключительном этапе восстановительных работ.

На рис. 3 представлен фрагмент внутренней и внешней частей фильтра до и после проведения регенерации.



Рис. 3. Фрагмент: а – внешней части фильтра до и после проведения декольматации; б – внутренней

ВЫВОДЫ

1. Несмотря на хорошие количественные результаты по увеличению удельного дебита модельной скважины после комбинированной обработки ($q_s = 137q_0$), качественные показатели степени очистки каркаса фильтра и водоприемной поверхности соответственно составили 70–75 %, что указывает на необходимость проведения последующих импульсной или виброимпульсной обработок после реагентной.

2. Опыт применения газоимпульсной обработки скважинного фильтра взрывом ВКГС при давлениях $p_{взр}$ менее второго предельного давления p_{II} ($p_{взр} < p_{II}$) подтвердил образование мелких трещин, которые обладают эффектом «самозалечивания».

Ширины созданных при таких давлениях взрыва ВКГС трещин оказались недостаточными для последующего внесения обратным гидротоком относительно крупных частиц песка и расклинивания трещин с обеспечением устойчивой фильтрации воды.

3. Применение пневматического пакера подтвердило его более высокую эффективность по сравнению с манжетным пакером.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гуринович, А. Д.** Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / А. Д. Гуринович. – Минск: Технопринт, 2001. – 305 с.

2. **Гуринович, А. Д.** Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами: планирование, проектирование, строительство и эксплуатация: монография /

А. Д. Гуринович. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 244 с.

3. **Анализ** долговечности водозаборных скважин г. Минска / А. М. Шейко [и др.] // Вестник БНТУ. – 2006. – № 1. – С. 27–32.

4. **Прогноз** кольматажа скважин и определение рациональных сроков их регенерации / А. М. Шейко [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2006. – № 2. – С. 28–31.

5. **Ивашечкин, В. В.** Опыт применения комбинированных технологий восстановления дебита водозаборных скважин / В. В. Ивашечкин, А. Н. Кондратович, А. М. Шейко // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тез. докл. 6-й Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 1–2 нояб. 2005 г. / Гроднен. гос. ун-т; редкол.: А. И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2005. – С. 78–79.

6. **Ивашечкин, В. В.** Опыт применения импульсно-виброреагентной технологии восстановления дебита водозаборных скважин / В. В. Ивашечкин, А. Н. Кондратович // Информационный бюллетень научно-производственной ассоциации «Аквабел». – 2004. – № 7. – С. 9–10.

7. **Ивашечкин, В. В.** Анализ эффективности восстановления дебита скважин водозаборов г. Минска / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тез. докл. 6-й Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 1–2 нояб. 2005 г. / Гроднен. гос. ун-т; редкол.: А. И. Свириденко [и др.]. – Гродно, 2005. – С. 83.

8. **Башкатов, Д. Н.** Специальные работы при бурении и оборудовании скважины на воду / Д. Н. Башкатов, С. Л. Драхлис, В. В. Сафонов. – М.: Недра, 1988. – 268 с.

9. **Романенко, В. А.** Восстановление производительности водозаборных скважин / В. А. Романенко, Э. М. Вольницкая. – Л.: Недра, 1986. – 112 с.

10. **Ивашечкин, В. В.** Основы расчета необходимого давления для декольматации прифильтровой зоны водозаборной скважины / В. В. Ивашечкин // Вестник БНТУ. – 2003. – № 5. – С. 10–16.

Поступила 10.01.2007