

ждены директором института БелНИИС 11 мая 2003 г. – Минск: БелНИИС, 2003. – С. 28.

6. Назаров, Ю. П. Автоматизированное проектирование плоских монолитных и сборно-монолитных перекрытий каркасных зданий / Ю. П. Назаров, Ю. Н. Жук, В. Н. Симбиркин // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 10. – С. 48–50.

7. Richart, F. E. Reinforced Concrete Wall and Column Footings / F. E. Richart: Part 1 // Journal of the ACI. – 1948. – Oct. – P. 97–127; Part 2 // Journal of the ACI. – 1948. – Nov. – P. 237–260.

8. Коршунов, А. А. О прочности железобетонной плиты в месте локального погружения / А. А. Коршунов, А. А. Барышников // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 10. – С. 57–59.

9. Тетиор, А. Н. Расчет на продавливание должен быть исключен из норм. Бетон на рубеже 3-го тысячелетия / А. Н. Тетиор // Материалы 1-го всероссийского конгресса по проблемам бетона и железобетона. – М.: Асс «Железобетон», 2001. – Кн. 3.

Поступила 8.08.2007

УДК 628.112

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ РЕГЕНЕРАЦИИ ФИЛЬТРОВ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

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

*Белорусский национальный технический университет*

Время устойчивой работы новых скважин, каптирующих воду из четвертичных отложений Республики Беларусь, составляет два–четыре года. Учитывая, что большинство скважин подземных водозаборов Республики Беларусь проработало свыше 15–20 лет, произошло существенное снижение их удельного дебита за счет накопления в прифильтровой зоне большого количества осадков. За это время осадки успевают цементироваться, для их разрушения и растворения требуется одновременное или последовательное физико-химическое воздействие [1–7]. Комбинированные обработки фильтров длительно эксплуатирующихся скважин в настоящее время наиболее актуальны, так как повышают их долговечность. В БНТУ сравнительно недавно разработана газоимпульсно-реагентно-виброволновая технология восстановления дебита [8].

Цель настоящей работы – отработка и совершенствование комбинированной технологии восстановления снизивших свой дебит скважин.

### **Предлагаемые технологические схемы.**

В производственных условиях исследовалась эффективность двух технологических схем: 1) газоимпульсная обработка фильтра с его последующей реагентной очисткой в режиме реагентной ванны в негерметизированной скважине и далее – виброволновая обработка при одновременной откачке эрлифтом; 2) газоимпульсная обработка фильтра с его последующей реагентной очисткой в режиме циклического задавливания сжатым воздухом в герметизированной скважине и виброволновая обработка при одновременной откачке эрлифтом.

Основное отличие первой технологической схемы от второй заключается в проведении реагентной обработки в незагерметизированной скважине, но с использованием кислотной флейты, которая позволяет адресно обрабатывать наиболее закольматированные участки фильтра и экономить кислоту по сравнению со второй схемой обработки, при использовании которой в процессе задавливания реагента сжатым воздухом он может поглощаться наиболее

проницаемыми участками. Вторая схема требует применения более сложного технологического оборудования для герметизации скважины, однако является особенно эффективной при регенерации длительно эксплуатирующихся скважин, имеющих фильтры большого диаметра со значительным контуром гравийной обсыпки.

Для реализации второй технологической схемы разработано специальное технологическое оборудование, отличительной особенностью которого является совмещение эрлифтного водоподъемника с герметизированным оголовком, смонтированным на устье скважины (рис. 1). Это позволяет производить циклическое задавливание реагента в прифильтровую зону до полного растворения отложений и откачивать продукты реакции без дополнительных монтажных операций, что способствует снижению трудозатрат и повышает безопасность ведения работ.

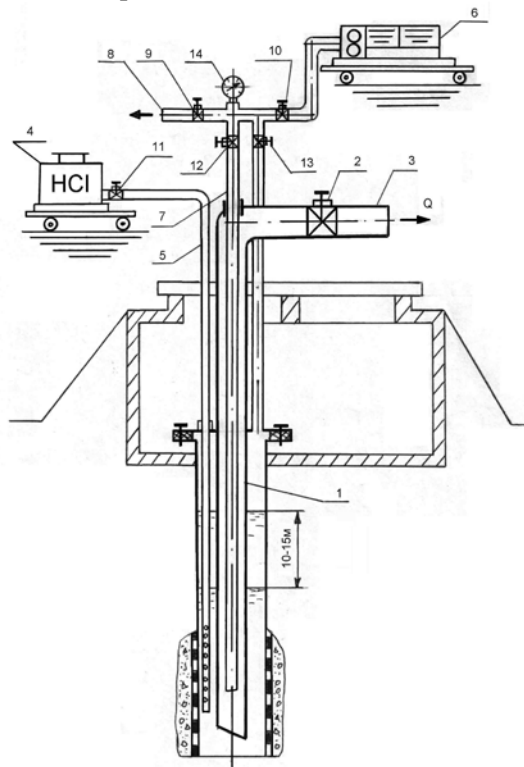


Рис. 1. Схема обвязки скважины при циклической реагентной обработке: 1 – эрлифт; 2 – вентиль эрлифта; 3 – сбросной шланг эрлифта; 4 – емкость с кислотой; 5 – заливочный шланг; 6 – компрессор; 7 – воздухопроводная труба; 8 – воздухообсранный патрубок; 9–13 – запорно-регулирующая арматура; 14 – манометр

**Испытания технологических схем.** Сравнительные испытания применения двух техно-

логических схем производились на высокодебитных скважинах водозаборов г. Минска: «Зеленовка», «Дражня», «Новинки», «Боровляны» и г. Слонима («Рыщицы»), которые каптируют межморенный днепровско-сожский водоносный горизонт. Их глубины составляют 50–70 м, оборудованы проволочными фильтрами из нержавеющей стали на трубчатом перфорированном каркасе диаметрами 325 мм и длиной 10–20 м с гравийной обсыпкой толщиной  $\delta = 150\text{--}300$  мм.

В качестве реагента при обработках скважин использовался реагент оптимального состава – 20%-й раствор синтетической соляной кислоты со стабилизирующей добавкой триполифосфата натрия 0,01%-й концентрации и кислотного средства «Дескам» 5%-й концентрации в качестве антикоррозионной добавки [8].

Данные о скважинах и параметрах газои-пульсно-реагентно-виброволновой декольматации при использовании первой и второй технологических схем приведены в табл. 1 и 2.

**Анализ применения технологических схем.** Анализ эффективности обработок скважин показывает, что наибольшая степень восстановления удельного дебита (53–79 %) достигнута при использовании циклического задавливания реагента и несколько меньшая (30–69 %) – при растворении отложений методом реагентной ванны (табл. 3). Наилучшие результаты были получены на скважине № 5б. Здесь, помимо обычных замеров удельного дебита, производились геофизические исследования фильтра и прифильтровой зоны партией скважинных методов (РУП «Белгеология») до обработки 14.11.05 и после полного цикла работ 24.11.05, а также телеметрия камерой, принадлежащей УП «Минскводоканал».

**Результаты геофизических исследований.** Геофизические исследования включали в себя радиометрию посредством гамма- и гамма-гамма-каротажа (прибор КУРА 2), кавернометрию (прибор КМ-2); расходомерию (прибор РС-70) акустический каротаж (прибор «Парус-4»). Сигналы со скважинных приборов поступали в пульт управления каротажной станции, записывались самописцем на специальной бумаге и расшифровывались.

Таблица 1

**Данные о скважинах и условиях проведения обработок  
газоимпульсно-реагентно-виброволновой технологией с использованием реагентной ванны**

Номер скважины (дата работ)	Месторасположе- ние скважины (воз- раст, лет)	Глубина, м		Количество импульсов ( $E_0 = 70$ кДж), шт.	Время реа- гентной обра- ботки, ч	Масса 35%-й HCl, кг	Продолжитель- ность вибровол- новой обработки, мин
		Длина фильтра, м					
№ 18 (08.03)	«Зеленовка» (17)	$\frac{78}{13,5}$		56	20	1600 кг HCl + 2 кг триполифосфата натрия	173
№ 286 (07.04)	– » – (20)	$\frac{61}{19}$		76	22	1500 кг HCl + 100 кг «Дескам»	60
№ 196 (08.04)	(29)	$\frac{66,7}{10,4}$		40	24	1536 кг HCl + 100 кг «Дескам»	90
№ 7 (08.04)	«Рыщицы»	$\frac{75}{20}$		100	24	1800 кг HCl + 100 кг «Дескама»	–

Таблица 2

**Данные об условиях применения газоимпульсно-реагентно-виброволновой технологии  
с использованием циклического задавливания реагента**

Номер скважи- ны (дата работ)	Водозабор (возраст, лет)	Глубина, м		Количество импульсов ( $E_0 = 70$ кДж), шт.	Продолжи- тельность газоимпульс- ной обработ- ки, ч	Характеристика цикла		Количе- ство циклов, шт.	Общая продолжи- тельность реагент- ной обра- ботки, ч	Масса 35%-й HCl, кг	Продол- жительность виб- роволно- вой обра- ботки, ч
		Длина фильтра, м				Задав- ливание, мин	Сброс давле- ния, мин				
№ 06 (12.04)	«Дражня» (13)	$\frac{74,8}{20,7}$		80	6	15	15	4	20	1777 кг HCl + + 200 кг «Дескам»	–
№ 296 (08.05)	«Дражня» (29)	$\frac{70}{12}$		72	9	8	10	5	24	1885 кг HCl + + 86 кг «Дес- кам»	2
№ 286 (08.05)	«Новинки» (18)	$\frac{55}{18}$		90	10	8	8	7	20	1800 кг HCl + + 100 кг «Дескам»	2
№ 56 (11.05)	«Боровляны» (27)	$\frac{55}{12}$		60	10	8	8	8	24	1600 кг HCl + + 100 кг «Дескам»	0,5

Результаты геофизических исследований представлены в виде соответствующих диаграмм на рис. 2. Сравнительный анализ диаграмм до и после восстановительных работ показал следующее.

*Расходометрия.* До обработки, по данным расходометрии, фильтр работал в интервале 43–50 м. Причем большая часть притока (77 %) имела место в верхней части фильтра на участке длиной 2,7 м (в интервале 43,0–45,7 м). Максимальный приток воды из фильтра при загрузке эрлифта до его верха составил 18 м<sup>3</sup>/ч. Удельный дебит скважины – 5,6 м<sup>2</sup>/ч. После обработки произошло увеличение работающей части фильтра на 2,8 м, что составило 28 %

общей обеспечивающей приток поверхности в интервале 42,2–52 м. Дебит скважины при той же глубине загрузки эрлифта вырос с 18 до 36 м<sup>3</sup>/ч, а удельный дебит – с 5,6 до 18 м<sup>2</sup>/ч. Произошло перераспределение притока воды через фильтр: если до обработки нижняя половина фильтра обеспечивала 23,1 % общего притока, то после обработки ее приток составил 36,1 % (рис. 3).

*Радиометрия.* Сравнение кривых показывает, что после обработки произошло уменьшение радиоактивности в интервале фильтра, что указывает на удаление кольматанта, имеющего повышенную радиоактивность (соединения калия, урана, тория).

Эффективность восстановления скважин газомпульсно-реагентно-виброволновой технологией

Скважина	Первоначальный удельный дебит, м <sup>2</sup> /ч	Газомпульсная обработка		Увеличение удельного дебита, раз	Реагентная обработка		Виброволновая обработка		Общее увеличение удельного дебита, раз	Восстановление удельного дебита относительно первоначального, %
		Удельный дебит до обработки, м <sup>2</sup> /ч	Удельный дебит после обработки, м <sup>2</sup> /ч		Удельный дебит после обработки, м <sup>2</sup> /ч	Увеличение удельного дебита, раз	Удельный дебит после обработки, м <sup>2</sup> /ч	Увеличение удельного дебита, раз		
№ 18 «Зеленовка»	21,7	6	11,7	1,95	13,5	1,15	15	1,11	2,5	69
№ 28б «Зеленовка»	13,3	2,2	2,8	1,27	5,76	2,06	8,57	1,5	3,9	30
№ 19б «Зеленовка»	4,8	1,7	1,9	1,11	2,7	1,42	3,64	1,35	2,4	50
№ 7б «Рыщицы»	3	0,3	0,4	1,33	1,2	3,00	–	–	4	40
№ 0б «Дражня»	20	4	6	1,5	11,3	1,90	–	–	2,8	57
№ 29б «Дражня»	25,5	3,3	12	3,6	16	1,3	18,9	1,2	5,7	74
№ 28б «Новинки»	10,2	0,84	1,9	2,3	3,6	1,9	4,5	1,25	5,4	53
№ 5б «Боровляны»	24	6,4	9,8	1,5	16	1,6	18	1,13	2,8	79

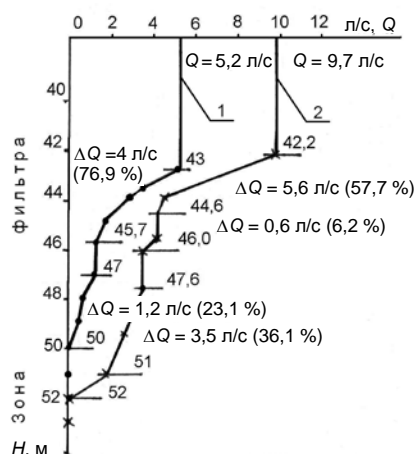


Рис. 2. График изменения расхода по длине фильтра: 1 – до обработки скважины; 2 – после

**Кавернометрия.** Из сравнительных данных кавернометрии видно, что после обработки произошло увеличение и выравнивание внутреннего диаметра фильтровой колонны, свидетельствующее об удалении кольматанта с внутренней поверхности дырчатого каркаса. Это отразилось на увеличении удельного дебита скважины и улучшении распределения притока по фильтру (см. расходомерию).

**Гамма-гамма-каротаж.** Методом гамма-гамма-каротажа никаких изменений не отмечено.

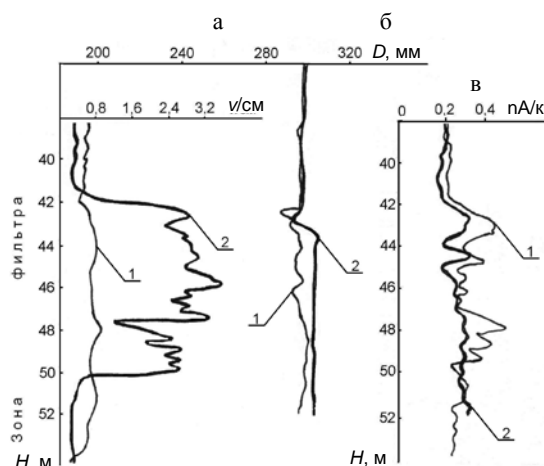


Рис. 3. Диаграммы изменения параметров фильтра скважины при применении технологии комплексного газомпульсно-реагентно-виброволнового воздействия на фильтр и прифильтровую зону: а – изменение акустических параметров фильтра (акустический каротаж): 1 – до обработки скважины; 2 – после; б – кавернометрия зоны фильтра: 1 – до обработки скважины; 2 – после; в – нейтронный каротаж зоны фильтра: 1 – до обработки скважины; 2 – после

В целом, по данным геофизических исследований, уверенно отмечается освобождение фильтра и прифильтровой зоны от кольматанта.

**Расчет затрат реагента.** К основным технологическим параметрам реагентной обработки относятся удельное количество реагента, необходимое для растворения единицы массы

кольматанта, и расход реагента на 1 м. п. фильтра. Эти параметры разработанной комбинированной технологии определялись по результатам обработок скважин на основе анализов проб жидкости, откачиваемой из скважин после окончания реакции.

Расчетная масса хлористого водорода HCl оценивалась по известной формуле [2]

$$M_{\text{HCl}} = 1,2K_c M_k, \quad (1)$$

где  $K_c$  – коэффициент стехиометрии реакции, учитывающий соотношение «кольматант – реагент» концентрацией 100 %;  $M_k$  – теоретическая масса кольматанта в скважине, которая определялась по предполагаемой насыщенности порового пространства гравийной обсыпки.

Теоретическое значение коэффициента  $K_{c,r}$  рассчитывалось согласно уравнениям реакции по известному химическому составу кольматанта и вычислялось следующим образом:

$$K_{c,r} = \frac{m_{(\text{HCl})r}}{m_k} = \frac{m_{(\text{HCl})r}}{100}, \quad (2)$$

где  $m_{(\text{HCl})r}$  – теоретическая масса HCl, приходящаяся на 100 кг кольматанта общей массой  $m_k$ ;  $m_k = 100$  кг.

Также теоретически рассчитывался коэффициент образования солей  $K_{(\text{сол})r}$ , который определяет соотношение расчетной массы образующихся растворенных солей  $m_{(\text{сол})r}$  после реакции к исходному количеству кольматанта  $m_k = 100$  кг:

$$K_{(\text{сол})r} = \frac{m_{(\text{сол})r}}{m_k} = \frac{m_{(\text{сол})r}}{100}. \quad (3)$$

Представляло интерес найти опытные значения коэффициентов  $K_{c,оп}$ ,  $K_{(\text{сол})оп}$  и массу  $M_k$  растворенного кольматанта в скважине.

Определив по (1) величину  $M_{\text{HCl}}$ , необходимый объем реагента  $V_{\text{HCl}}$  заданной концентрации для обработки скважины вычислялся по формуле

$$V_{\text{HCl}} = \frac{M_{\text{HCl}}}{\rho C_{\text{HCl}}}, \quad (4)$$

где  $C_{\text{HCl}}$  – массовая концентрация реагента;  $\rho$  – плотность реагента.

После обработки фильтра реагентом в течение 20–24 ч проводилась опытная откачка скважины эрлифтом с взятием проб жидкости в определенные моменты времени.

По замеренным данным устанавливали следующие исходные характеристики.

Объем  $\Delta V_i$  жидкости, пошедшей на выброс за промежуток времени  $\Delta t_i$  между взятием проб:

$$\Delta V_i = Q_3 \Delta t_i, \quad (5)$$

где  $Q_3$  – производительность эрлифта.

Концентрацию  $C_{(\text{сол})i}$  солей в пробах определяли по методике анализа природной воды выпариванием [9]. Массу  $\overline{M}_{(\text{сол})i}$  откачанных солей за промежуток времени  $\Delta t_i$  определяли, используя выражение

$$\overline{M}_{(\text{сол})i} = \Delta V_i C_{(\text{сол})i}. \quad (6)$$

Концентрацию  $C_{(\text{HCl})i}$  избытка соляной кислоты в пробах рассчитывали по формуле

$$C_{(\text{HCl})i} = 10^{-\text{pH}}. \quad (7)$$

Массу откачанной соляной кислоты  $\overline{\Delta M}_{(\text{HCl})i}$  за промежуток времени  $\Delta t_i$  определяем следующим образом:

$$\overline{\Delta M}_{(\text{HCl})i} = C_{(\text{HCl})i} \Delta V_i. \quad (8)$$

Суммарные массы солей  $\overline{M}_{\text{сол}}$ , весь откачанный объем жидкости  $V$ , массу откачанной соляной кислоты  $\overline{\Delta M}_{\text{HCl}}$ :

$$\begin{cases} \overline{M}_{\text{сол}} = \sum_{i=1}^n \overline{\Delta M}_{(\text{сол})i}; \\ \overline{\Delta M}_{\text{HCl}} = \sum_{i=1}^n \overline{\Delta M}_{(\text{HCl})i}; \\ V = \sum_{i=1}^n \Delta V_i, \end{cases} \quad (9)$$

где  $n$  – число замеров (проб).

На ряде скважин дополнительно определялось количество остаточного кольматанта, удаляемого в процессе виброволновой обработки, осуществляемой после откачки продуктов реакции. В заданные промежутки времени отбирали определенное количество жидкости, которую фильтровали через предварительно взвешенный бумажный фильтр [10]. Фильтрат отбрасывали: твердую фазу высушивали до постоянного веса при 85 °С, взвешивали и относили к единице объема (1 дм<sup>3</sup>). Умножением этой величины на объем откачиваемой жидкости получали массу остаточного кольматанта  $M_k$  при работе виброволнового генератора.

В табл. 4 представлены результаты расчетов по определению количества откачанных солей  $\overline{M}_{\text{сол}}$  и остаточной соляной кислоты  $\Delta \overline{M}_{\text{HCl}}$  из скважины № 5б, при этом для кольматанта этой скважины теоретические значения коэффициентов составили:  $K_{\text{с,т}} = 1,058$ ;  $K_{(\text{сол})\text{т}} = 1,59$ .

Согласно полученным данным:  $\Delta \overline{M}_{\text{HCl}} = 5$  кг;  $\overline{M}_{\text{сол}} = 815$  кг. С учетом загрузки в скважину 1600 кг 35%-й соляной кислоты и 100 кг

«Дескама» (табл. 2), что составило  $M_{\text{HCl}} = 580$  кг, на реакцию израсходовано

$$M_{\text{HCl}} = M_{\text{HCl}} - \Delta \overline{M}_{\text{HCl}} = 580 - 5 = 575 \text{ кг.}$$

Теоретическое значение коэффициента  $K_{(\text{сол})\text{т}} = 1,59$ , тогда теоретическая масса солей, образовавшаяся при разложении кольматанта массой  $M_{\text{к}} = 543$  кг, равна

$$M_{(\text{сол})\text{т}} = K_{(\text{сол})\text{т}} M_{\text{к(HCl)}} = 543 \cdot 1,59 = 863 \text{ кг.}$$

После обработки скважины объем откачанной жидкости составил  $V = 142,2 \text{ м}^3$ , а опытная масса солей  $M_{\text{сол}} = 815$  кг (табл. 4).

Учитывая, что концентрация природных солей в объеме  $V$  составила  $C_0 = 0,270 \text{ кг/м}^3$ , общая масса природных солей

$$M_{(\text{сол})\text{о}} = C_0 V = 142,2 \cdot 0,279 = 40 \text{ кг.}$$

Тогда масса солей, полученных в результате обработки, равна

$$M_{\text{сол}} = \overline{M}_{\text{сол}} - M_{(\text{сол})\text{о}} = 815 - 38 = 777 \text{ кг.}$$

а кольматанта  $M_{\text{к(сол)}}$  по количеству откачанных солей равна

$$M_{\text{к(сол)}} = \frac{M_{\text{сол}}}{K_{(\text{сол})\text{т}}} = \frac{777}{1,59} = 488 \text{ кг.}$$

Значения масс кольматанта, полученных по фактическим затратам кислоты ( $M_{\text{к(HCl)}} = 543$  кг) и по количеству откачанных солей из скважины ( $M_{\text{к(сол)}} = 488$  кг), отличаются между собой на 10 %, что обусловлено переменным расходом эрлифта ( $Q \neq \text{const}$ ) первые 5 – 10 мин откачки.

Среднее значение расчетной массы кольматанта, удаленной из скважины:

$$M_{\text{к}} = \frac{M_{\text{к(HCl)}} + M_{\text{к(сол)}}}{2} = \frac{543 + 488}{2} = 515 \text{ кг.}$$

Фактические затраты 100%-го хлористого водорода  $M_{\text{HCl}} = 575$  кг. Откуда опытное значение коэффициента стехиометрии реакции

$$K_{\text{с,оп}} = \frac{\overline{M}_{\text{HCl}}}{M_{\text{к(HCl)}}} = \frac{575}{515} = 1,12,$$

а опытное значение коэффициента  $K_{(\text{сол})\text{оп}}$  равно

$$K_{(\text{сол})\text{оп}} = \frac{\overline{M}_{(\text{сол})\text{оп}}}{M_{\text{к}}} = \frac{815}{543} = 1,5.$$

По аналогичной методике рассчитан ряд скважин, данные по которым приведены в сводной табл. 5.

Таблица 4

Опытные данные откачки из скважины № 5б водозабора «Боровляны» после реagentной обработки

Номер пробы	$\Delta t$ , мин	$\Delta V_{\text{в}}$ , м <sup>3</sup>	$C_{(\text{сол})\text{в}}$ , г/л	$\overline{M}_{(\text{сол})\text{в}}$ , кг	pH	$C_{\text{HCl}}$ , г/л	$\Delta \overline{M}_{(\text{сол})\text{в}}$ , кг
1	2	1,2	28,356	34,027	1,2	2,309	2,770
2	2	1,2	34,460	43,750	1,4	1,457	1,748
3	2	1,2	38,796	46,555	2,0	0,365	0,438
4	3	1,8	30,026	54,047	5,0	0,0003	0,0007
5	5	3,0	19,474	58,422	5,6	$9,1 \cdot 10^{-5}$	0,00027
6	7	4,2	16,520	69,384	5,8	$5,4 \cdot 10^{-5}$	0,00023
7	10	6,0	13,314	79,884	6,0	$3,6 \cdot 10^{-5}$	0,00022
8	12	7,2	8,760	63,072	6,2	–	–
9	15	9,0	7,077	63,693	6,4	–	–
10	30	18,0	5,934	106,812	6,4	–	–
11	30	18,0	4,783	86,094	7,0	–	–
12	30	18,0	2,937	52,866	7,0	–	–
13	30	18,0	1,857	33,426	7,4	–	–
14	30	18,0	1,015	18,270	7,6	–	–
15	30	18,0	0,278	5,004	7,6	–	–
Итого		$V \approx 142,2$		$\overline{M}_{\text{сол}} \approx 815$			$\Delta \overline{M}_{\text{HCl}} \approx 5$

Результаты расчетов количества реагента и кольматанта по откачкам

Номер скважины, водозабор	Исходная масса 100%-й HCl $M_{(0)HCl}$ , кг	Коэффициент стехиометрии реакции (теор.) $K_{с.т.}$	Коэффициент образования солей (теор.) $K_{(сол)г}$	Объем откачанной жидкости $V$ , м <sup>3</sup>	Остаток 100%-й HCl после реакции $\Delta M_{HCl}$ , кг	Масса откачанных солей $M_{сол}$ , кг	Масса прореагировавшей 100%-й HCl $M_{HCl}$ , кг	Масса кольматанта, рассчитанная по затратам HCl $M_{к(HCl)}$ , кг	Масса кольматанта, рассчитанная по образованию солей $M_{к(сол)}$ , кг	Расчетная масса кольматанта $M_k$ , кг	Коэффициент стехиометрии реакции (факт.) $K_{с.ф.}$	Масса шлама, $M$ , кг
№ 18 «Зеленовка»	389,3	1,109	1,646	280	9,5	–	379,8	342	–	342	1,109	217
№ 19 «Зеленовка»	560,7	0,907	1,35	56	19,7	–	541	596	–	596	0,907	61
№ 286 «Зеленовка»	548	0,709	1,08	97,92	15	–	533	751	–	751	0,709	16
№ 29б «Дражня»	679,8	0,984	1,51	98,5	7,2	1003	672,3	683	664	674	1	42
№ 286 «Новинки»	650	1,01	1,51	12,96	13	929,7	637	630	615	633	1	73
№ 5б «Боровляны»	580	1,058	1,59	142,2	5	777	575	543	488	515	1,12	58

Из анализа данных (табл. 5) следует, что с одного погонного метра фильтра с помощью комбинированных технологий удалось извлечь в среднем от 40 до 63 кг кольматанта в растворенном виде и затем – в виде шлама в процессе виброволновой обработки. Во всех случаях применения технологии соляная кислота израсходовалась практически полностью, ее остаток составлял от 5 до 20 кг в пересчете на 100%-й хлористый водород. Фактические затраты 100%-й HCl на 1 м. п. фильтра составили от 28 до 57 кг.

Уточненное значение массы кольматанта в фильтре получено как среднее арифметическое его количества, рассчитанного по фактическим затратам хлористого водорода и массы растворенных этой кислотой солей.

### ВЫВОДЫ

1. Разработано комбинированное технологическое оборудование для подачи реагента в фильтр, циклического его задавливания в пласт сжатым воздухом и эрлифтной откачки продуктов реакции, отличающееся простотой и безопасностью ведения работ.

2. Сравнительные испытания двух технологических схем проведения комбинированных обработок показали, что наибольшая степень восстановления удельного дебита достигается при использовании в технологии циклического задавливания реагента (53–79 %) и несколько меньшая (30–69 %) – при использовании реагентной ванны. К тому же после реагентной ванны больше остается непрореагированного хлористого водорода (9,5–19,7 кг), нежели при использовании циклического задавливания (5–13 кг), при одинаковом времени обработки.

Геофизические и телеметрические исследования, проведенные на скважине № 5б до и после восстановительных работ, показали высокую эффективность разработанной в БНТУ комбинированной технологии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилко, В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 334 с.
2. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду: справ. / Д. Н. Башкатов [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 267 с.
3. Кремер, В. В. Гидрогеологические исследования в связи с оценкой эффективности строительства и эксплуатации водозаборных скважин (на примере юго-восточной части западно-сибирского артезианского бассейна): автореф. ... дис. канд. геол.-минералогич. наук: 04.00.06 / В. В. Кремер; ТПИ. – Томск, 1987. – 18 с.
4. Алексеев, В. С. Восстановление дебита водозаборных скважин / В. С. Алексеев, В. Т. Гребенников. – М.: Агропромиздат, 1987. – 239 с.
5. Воропанов, В. Е. Виброреагентная регенерация скважин на воду: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 04.00.06 / В. Е. Воропанов; ВНИИ ВОДГЕО. – М., 1986. – 24 с.
6. Гуринович, А. Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения / А. Д. Гуринович. – Минск: Технопринт, 2001. – 305 с.
7. Андреев, К. Н. Пневмореагентная регенерация скважин на воду: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.23.04 / К. Н. Андреев; ВНИИ ВОДГЕО. – М., 1990. – 23 с.
8. Ивашечкин, В. В. Газоимпульсная технология восстановления пропускной способности фильтров водозаборных скважин / В. В. Ивашечкин; под ред. А. Д. Гуриновича. – Минск: БНТУ, 2005. – 270 с.
9. ГОСТ 4011–76. Вода питьевая. Методы определения общего железа // Вода питьевая. Методы анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – С. 60.
10. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. – М.: Стройиздат, 1973.

Поступила 10.01.2007