

2. Лафта, Дж. К. Теория организации / Дж. К. Лафта. – М.: Проспект, 2003.

3. Самодурова, Т. В. Оперативное управление зимним содержанием дорог: науч. основы / Т. В. Самодурова. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. – 168 с.

4. Крысин, С. П. Оценка безопасности движения с использованием информационной системы IndorInfo / Road / С. П. Крысин, Д. С. Сарычев, А. В. Скворцов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2005. – № 1. – С. 29–30.

5. Государственная программа «Дороги Беларуси на период 2006–2015 гг.». – Т. 1: Основные положения. – Минск, 2004.

6. Седегов, Р. С. Особенности процессного управления микроэкономическими системами / Р. С. Седегов, О. А. Высоцкий // Проблемы управления. – 2005. – № 4 (17). – С. 57–63.

7. Методы менеджмента качества. Функционально-стоимостный анализ: учеб. пособие / П. С. Серенков [и др.]. – Минск: БНТУ, 2005. – 184 с.

8. Леонович, И. И. Особенности процессного управления качеством автомобильных дорог / И. И. Леонович, Е. В. Кашевская // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – № 1. – С. 8–11.

Поступила 13.02.2006

УДК 628.112.4

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

*Канд. техн. наук, доц. ИВАШЕЧКИН В. В.,
инженеры КОНДРАТОВИЧ А. Н., МАКАРОВА Э. А.*

*Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный аграрный технический университет*

Регенерация фильтров скважин импульсными методами – мероприятие недорогое, однако в большинстве случаев она обеспечивает разрушение цементирующих связей кольматирующего материала и частичное его удаление только из прилегающего к фильтру участка прифильтровой зоны. Учитывая большую глубину распространения кольматанта в гравийной обсыпке (250–300 мм), следует заключить, что значительная часть кольматирующего материала остается в поровом пространстве водовмещающих пород и не удаляется при откачке. Поэтому продолжительность эффекта импульсной регенерации обычно не превышает одного года.

В этой связи для длительно эксплуатирующихся скважин становятся актуальными комбинированные обработки, представляющие собой сочетание импульсных, механических и реагентных методов восстановления их дебита.

Период стабильной работы скважин после таких обработок может достигать нескольких лет. Стоимость обработок несколько возрастает

за счет дополнительного использования реагентов, однако она на порядок меньше стоимости новой скважины. Это позволяет считать эти методы ресурсосберегающими. Применение же правильно подобранных на стадии лабораторных исследований реагентов, не наносящих ущерба окружающей среде, позволяет считать эти методы экологически безопасными.

В настоящей работе рассматривается опыт внедрения двух комбинированных технологий регенерации фильтров скважин: газоимпульсно-виброреагентной и электроразрядно-газоимпульсной.

Газоимпульсно-виброреагентная технология представляет собой последовательную обработку фильтра подводными взрывами водородно-кислородной газовой смеси (ВКГС), механическую очистку щетками, реагентную обработку с последующей виброволновой обработкой прифильтровой зоны, совмещенной с эрлифтной откачкой. Такая последовательность операций обоснована следующими факторами: подводные взрывы обеспечивают дробление и

разрушение колюматурующих отложений в прифильтровой зоне; с помощью механической обработки очищаются перфорация и внутренняя поверхность фильтра; реагентная обработка способствует растворению раздробленного колюматанта, нарушению связи внутри частиц колюматанта и на контакте с зернами обсыпки; виброволновая обработка с эрлифтной откачкой обеспечивает создание пульсирующего низкочастотного гидропотока, направленного в сторону призабойной зоны скважины, и облегчает вынос нерастворившегося колюматанта из глубины прифильтровой зоны.

Электроразрядно-газоимпульсная технология представляет собой последовательную обработку фильтра сначала электроразрядами, прокачку эрлифтом с целью удаления шлама, а затем газоимпульсную обработку, совмещенную с эрлифтной прокачкой. Такая технология позволяет разрушить наиболее прочные связи в колюматурующих отложениях электрогидравлическими разрядами, имеющими высокое давление на фронте ударной волны, а затем подвергнуть отложения воздействию мощного знакопеременного гидропотока, возникающего при подводном взрыве водородно-кислородной газовой смеси. Эффективность технологии обусловлена высокой степенью удаления колюматурующих отложений из прифильтровой зоны импlosionией подводного взрыва с оперативным отводом загрязнений из зоны обработки эрлифтом.

Газоимпульсно-виброреагентная технология. В 2003 г. были проведены опытно-восстановительные работы на артезианской скважине № 18 (38236/84) водозабора «Зеленовка», снизившей свой дебит в процессе эксплуатации. Скважина № 18 одноколонная, каптuriрует воду из межморенного днепровско-сожского комплекса четвертичных отложений. Пробурена станком с обратной промывкой. Фильтр проволочный из нержавеющей стали на перфорированном стальном каркасе диаметром 325 мм и состоит из двух секций: первая в интервале 61,4–73,4 м и вторая – 79–85 м. Срок эксплуатации скважины – 19 лет. За это время в прифильтровой зоне и на фильтре сформировался прочный дегидратированный осадок.

В период эксплуатации удельный дебит скважины значительно снизился с $q_0 = 21,7 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м})$ (4.08.1984) до $q = 3,67 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м})$ (14.02.2003),

причем снижение удельного дебита обусловлено как колюматационными процессами, так и выходом из строя части нижней секции фильтра длиной 4,4 м (общая длина – 6 м). На момент испытаний (14.02.2003) глубина скважины составляла 78,6 м, причем, как было зафиксировано телеметрией, нижний фильтр начинается на отметке 77 м от устья скважины и заканчивается на отметке 78,6 м, т. е. открыто всего 1,6 м фильтра. Нижняя часть фильтра ранее была специально засыпана гравием для предотвращения пескования скважины.

Отбор проб колюматурующих отложений из фильтра и прифильтровой зоны производился с помощью скважинного снаряда газодинамической установки ГДУ-150, который был снабжен ловушкой для сбора колюматанта. Всего было произведено пять подводных газовых взрывов водорода и извлечено 3 дм^3 колюматанта.

Результаты химического анализа колюматурующих отложений показали, что во всех пробах (с поверхности насоса, внутренней поверхности водоподъемных труб, фильтра и прифильтровой зоны) преобладают окислы трехвалентного железа (до 81 %), сера общая не превышает 0,32 %, окислы кальция – 0,79 %. Отложения на фильтре и в прифильтровой зоне содержат 79,5 % окислов железа [1].

Проведены лабораторные опыты по подбору наиболее эффективного реагента для растворения колюматурующих отложений и определен его состав. Рекомендован раствор соляной кислоты 20%-й концентрации со временем контакта не менее 24 ч. [1].

Количество реагента P_R определялось по рекомендуемой ВНИИВодгео формуле [2, 3]

$$P_R = 1,2K_c P_k, \quad (1)$$

где 1,2 – коэффициент запаса, который предусматривает 20%-й избыток реагента по отношению к расчетному для создания необходимого показателя рН в зоне реакции; K_c – коэффициент, учитывающий вид реагента, степень растворения в нем конкретного колюматурующего образования и содержание растворяемого вещества в колюматанте; P_k – масса колюматанта.

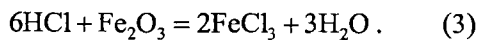
Значение K_c для колюматанта, взятого на скважине № 18 «Зеленовка» и представленного

на 79,5 % окислами железа Fe_2O_3 , рассчитывалось по формуле

$$K_c = pSn, \quad (2)$$

где p – соотношение весов исходных веществ, вступающих в реакцию; S – весовая доля окислов Fe_2O_3 в составе кольтатирующих отложений; n – степень превращения железа при растворении Fe_2O_3 .

Уравнение реакции взаимодействия соляной кислоты с окислами трехвалентного железа имеет вид



Согласно уравнению реакции 6 молей HCl идут на образование 2 молей $FeCl_3$. Молекулярный вес 6 молей HCl – $6 \cdot 36 \text{ г} = 216 \text{ г}$. Следовательно, для полного растворения 160 г Fe_2O_3 требуется 216 г HCl .

Тогда соотношение весов исходных веществ, вступающих в реакцию, равно

$$p = \frac{M_{HCl}}{M_{Fe_2O_3}} = \frac{216}{160} = 1,35.$$

По данным химического анализа [1], весовая доля Fe_2O_3 в составе кольтатирующих отложений составляет $S = 0,795$, поэтому расход кислоты будет пропорционален этой доле.

По данным растворения кольтатанта в лабораторных условиях, степень превращения железа составила 90 %, т. е. степень использования кислоты $n = 0,9$. Окончательное значение K_c равно

$$K_c = 1,35 \cdot 0,795 \cdot 0,9 = 0,96.$$

Масса кольтатанта P_k определялась по насыщенности порового пространства α гравийной обсыпки с объемом пор $W_{пор}$ по формуле

$$P_k = \alpha W_{пор} \rho_{oc} = \alpha \pi (R^2 - r_c^2) l_{\phi} n_0 \rho_{oc}, \quad (4)$$

где ρ_{oc} – плотность твердых частиц скелета осадка, которую определяли пикнометрическим методом; α – насыщенность порового пространства, которая находится по соотношению коэффициентов фильтрации K_1 на дату обследования скважины и K_0 – его первоначального значения $\alpha = 1 - (K_1 / K_0)^{1/3}$; R – радиус заколь-

матированной гравийной обсыпки; r_c – наружный радиус фильтра; l_{ϕ} – длина рабочей части фильтра; n_0 – начальная пористость гравийной обсыпки.

Расчет производился при следующих исходных данных:

$$\rho_{oc} = 2460 \text{ кг/м}^3;$$

$$\alpha = 0,21 \left(\text{при } \frac{K_1}{K_0} = 0,5 \right); n_0 = 0,3; l_{\phi} = 14 \text{ м};$$

$$R = 0,32 \text{ м}; r_c = 0,17 \text{ м}.$$

После подстановки исходных данных в выражения (4) и (1) получим массу кольтатанта $P_k = 516 \text{ кг}$ и массу HCl (хлористого водорода) $P_R = 594 \text{ кг}$.

Определенное расчетным путем количество реагента можно считать ориентировочным. Фактическое количество реагента и кольтатирующих отложений определялось после обработки по химическому анализу откачиваемой жидкости. Эти данные позволяют уточнить степень растворения кольтатанта, его количество и количество необходимого реагента для более полного растворения отложений при последующих обработках.

При обработке использовалась синтетическая техническая соляная кислота по ГОСТ 857–95, полученная из хлора и водорода, образующихся при ртутном электролизе поваренной соли, и соответствующая по фактическим данным марке Б I сорта (массовые доли: хлористого водорода – 35,2 %, железа – 0,0003 %, остатка после прокаливания – 0,025 %, свободного хлора – 0,0001 %, мышьяка – <0,0001 %, ртути – 0,00001 %).

Обработку скважины производили с использованием следующих технологических приемов:

1. Разрушение кольтатирующих отложений механическим способом. Для этого в фильтр скважины опускали цилиндрическую щетку с неметаллическим ворсом, которую размещали над всасывающей трубой эрлифта. Возвратно-поступательные движения щетки производились с прокачкой эрлифтом (рис. 1).

2. Декольтатация фильтра газоимпульсным способом в интервале 61,4–72 м. Запасаемая энергия в рабочей камере скважинного устройства составляла 70 кДж, интервал обработки – 0,15 м (рис. 1).

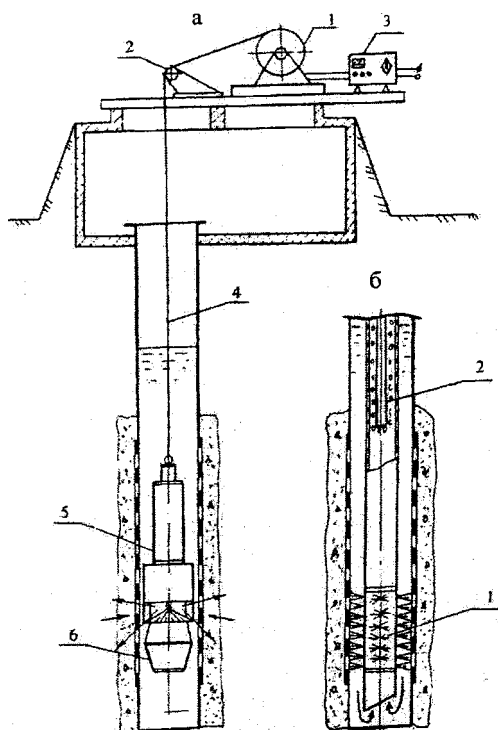


Рис. 1. Схема газоимпульсной обработки и механической очистки фильтра: а – газоимпульсная обработка: 1 – лебедка; 2 – скважинный блок; 3 – пульт управления; 4 – кабель-трос; 5 – скважинный снаряд; 6 – ловушка; б – механическая очистка с эрлифтной откачкой шлама: 1 – щетка; 2 – эрлифт

3. Монтаж эрлифта, откачка шлама после механической и газоимпульсной обработки, телеметрия скважины.

4. Приготовление раствора триполифосфата натрия и заливка его через флейту в скважину за 2 ч до обработки, концентрация раствора триполифосфата натрия в зоне фильтра составила 0,1 %.

5. Заливка соляной кислоты в количестве 1300 дм³ (35,2%-й соляной кислоты с удельным весом 1,175 г/см³) из емкости по шлангу через флейту поинтервально в фильтр скважины. Циклическое задавливание реагента сжатым воздухом в прифильтровую зону скважины в течение 2 ч после окончания заливки с обеспечением концентрации соляной кислоты в зоне фильтра и прифильтровой зоне – 20 %.

6. Монтаж эрлифта и откачка продуктов реакции с определением рН, солесодержания по электропроводности, фиксация времени отбора проб для определения объема откачиваемой жидкости и соответственно измерение рН и солесодержания в процессе откачки.

7. Проведение виброволновой обработки при одновременной работе эрлифта (рис. 2). Генератор был подключен к армированному шлангу гидродинамической машины и перемещался вдоль фильтра. Производительность эрлифта составляла 20,3 м³/ч при давлении компрессора 0,44 МПа, объем закачиваемой воды в емкости – 3,7–4,5 м³. Режимы обработки представлены в табл. 1.

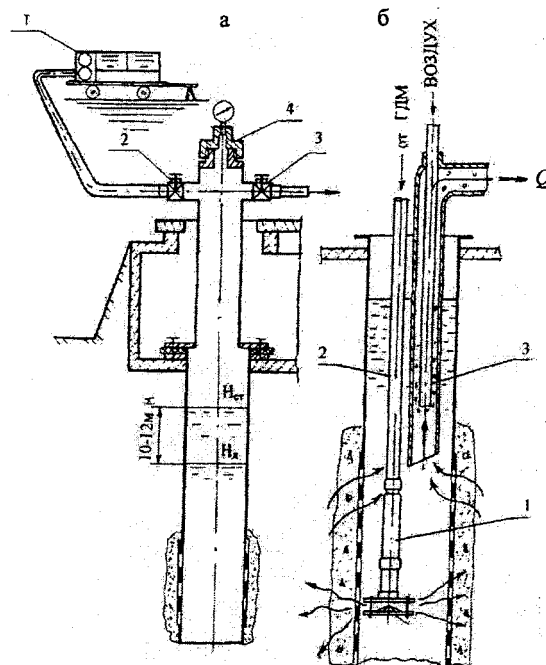


Рис. 2. Схема реагентной и виброволновой обработки фильтра: а – циклическая реагентная обработка: 1 – компрессор; 2 – входной вентиль; 3 – сбросной вентиль; 4 – крышка с манометром; б – виброволновая обработка с откачкой шлама эрлифтом: 1 – генератор импульсов; 2 – нагнетательная линия; 3 – эрлифт

Таблица 1

Режимы виброволновой обработки

№ п/п	Рабочее давление насоса, МПа	Производительность эрлифта, м ³ /ч	Объем закачиваемой воды, м ³	Время закачки, мин	Производительность насоса, м ³ /ч
1	8,5	20,3	3,7	20	11,0
2	7	20,3	4,0	38	6,3
3	10,5	20,3	4,5	25	11,0
4	10	20,3	4,5	32	8,5
5	10	20,3	4,5	33	8,2
6	10,5	20,3	4,5	25	11,0

В процессе виброволновой обработки отбирались пробы воды со шламом с целью определения его количественного и качественного состава.

8. Демонтаж эрлифта, монтаж насоса ЭЦВ 10-120-60 производительностью 120 м³/ч при напоре 60 м. Прокачка скважины с целью удаления остатков продуктов растворения кольматанта.

Эффективность проведенных на скважине опытно-восстановительных мероприятий представлена в сводной табл. 2.

Достигнуто увеличение удельного дебита в 4,1 раза по отношению к удельному дебиту до обработки, что составило 69 % от первоначального. Однако, учитывая тот факт, что на момент первого обследования скважины из 18 м фильтра в рабочем состоянии находилось только 13,5 м (75 %), эффективность обработки составляет более 90 %. Методика измерений и вычисления количества кольматанта представлена ниже.

Откачиваемая жидкость с первых минут подвергалась химическому анализу. Пробы отбирали из средней и нижней частей фильтра через 4, 5, 6, 7, 10, 13, 20, 50, 60, 100 мин от начала откачки. Анализ производили на содержание в жидкости ионов железа, на общее солесодержание, а также на количество остаточной (непрореагировавшей) соляной кислоты. Общее время откачки – 11 ч с расходом 20 м³/ч, из них последние 3 ч – откачка с одновременной работой виброволнового генератора. Откачиваемая жидкость состояла из солей (прореагировавший кольматант) и твердой фазы (взвешенные частицы непрореагировавшего кольматанта). Массовую долю взвешенных частиц определяли по методике, изложенной [4]. Массу непрореагировавшего кольматанта находили умножением массовой доли взвешенных частиц в 1 л на объем откачиваемой жидкости во времени. Она составила немногим более 217 кг.

Концентрацию ионов железа определяли фотометрически на фотометре КФК-5М и вычисляли по формуле [5]

$$C_{Fe} = \frac{C_1 \cdot 50}{V}, \quad (5)$$

где C_1 – концентрация железа, найденная по калибровочному графику, мг/дм³; V – объем пробы. Массу непрореагировавшего кольматанта определяли как количество взвешенных частиц в объеме откачиваемой жидкости.

Общее солесодержание определяли кондуктометрически на микропроцессорном портативном кондуктометре фирмы «Нетафим» (Израиль) по электропроводности жидкости, где электропроводность (ЭП) или (ЕС) выражается в мСм/см. Солесодержание (количество растворенных веществ (г) на единицу объема (дм³)) рассчитывали по формуле $1ЭП = 700$ мг соли в 1 дм³ (паспортные данные прибора) или $3ЭП = 1$ атм осмотического давления. Общее солесодержание рассчитывали умножением концентрации солей на объем откачиваемой жидкости во времени.

О количестве остаточной соляной кислоты судили по показателям рН откачиваемой жидкости. Величину рН определяли кондуктометрически с помощью портативного кондуктометра фирмы «Нетафим» на месте откачки.

В связи с тем, что соляная кислота является сильной кислотой, а сильные кислоты полностью диссоциируют в растворах, то концентрация водородных ионов равна общей концентрации кислоты:

$$-\lg C_{\text{кисл}} = \text{pH} \quad \text{или} \quad (6)$$

$$C_{\text{кисл}} = \frac{1}{10^{\text{pH}}},$$

где $C_{\text{кисл}}$ – концентрация кислоты, г-экв/дм³.

Таблица 2

Результаты опытно-восстановительных работ на скважине № 18

Удельный дебит, м ³ /(ч·м)						Степень увеличения удельного дебита, раз	
						Степень восстановления удельного дебита к первоначальному, %	
Новая скважина q_0	Перед взятием проб кольматанта q_1	После взятия проб кольматанта q_2	Перед комплексной обработкой q_3	После механической и импульсной обработки q_4	После реакгентной и виброволновой обработки q_5	$\frac{q_4/q_1}{(q_4/q_0) \cdot 100 \%}$	$\frac{q_5/q_1}{(q_5/q_0) \cdot 100 \%}$
21,7	3,67	8,24	6	11,7	15	$\frac{3,2}{54}$	$\frac{4,1}{69}$

Изменение концентрации соляной кислоты в объеме откачиваемой жидкости представлено на рис. 3.

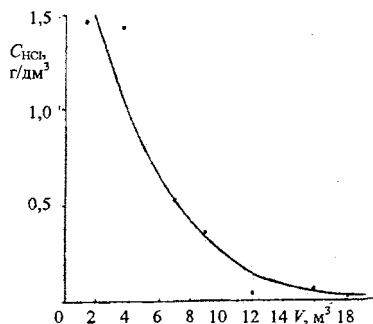


Рис. 3. Зависимость концентрации соляной кислоты от объема откачанного раствора

Помимо растворенного кольматанта в откачиваемой жидкости наблюдалось наличие взвеси (твердая фаза).

Фактическое весовое содержание кольматанта, отложившегося в порах гравийной обсыпки, определяли следующим образом.

Фактически загружено 1300 дм³ 35,2%-й соляной кислоты с удельным весом $\gamma = 1,175 \text{ г/см}^3$. В данном объеме содержание хлористого водорода составляет 389,3 кг, избыток хлористого водорода (рассчитанный по концентрации соляной кислоты в объеме откачиваемой жидкости) – 9,5 кг, следовательно, на реакцию израсходовано $P_R = 379,8 \text{ кг}$ хлористого водорода.

Если предположить, что химический процесс в прифильтровой зоне и зоне фильтра идет согласно реакции (3), то количество растворенного кольматанта, вычисленное по пропорции, составит 277 кг.

Учитывая тот факт, что вместе с откачиваемой жидкостью ушло 217 кг твердой фазы (нерастворенного кольматанта), количество удаленного кольматанта составило

$$P_R = 277 + 217 = 494 \text{ кг,}$$

что несколько меньше расчетного.

Масса твердой фазы изменялась в процессе откачки и составляла 0,1–0,3 % объема жидкости, израсходованной на выброс.

Весовое количество твердой фазы резко увеличивалось при виброимпульсной обработке с использованием ГДМ.

Электроразрядно-газоимпульсная технология. Опытно-восстановительные работы производились на скважине № 17-б (40894/88) водозабора «Зеленовка». Скважина эксплуатируется с 1992 г. Пробурена роторным способом с обратной промывкой, фильтр проволочный $D = 325 \text{ мм}$ с гравийной обсыпкой в интервале 45,5–60,5 м. К январю 2004 г. скважина снизила удельный дебит с 20 до 5,2 м³/(ч·м) (в 3,8 раза). После механической очистки ершом и прокачки эрлифтом удельный дебит скважины незначительно увеличился до 6 м³/(ч·м). В апреле 2004 г. фильтр скважины был подвергнут обработке электроразрядами. Это позволило увеличить удельный дебит до 10 м³/(ч·м), что составило 50 % первоначального. Затем после прокачки скважины эрлифтом произвели обработку фильтра взрывами ВКГС в режиме горения с энергией в импульсе 70 кДж, причем над фильтром был смонтирован эрлифт, который периодически включали для удаления шлама. Так как скважинный снаряд был снабжен пакерами и перемещался вдоль фильтра в процессе обработки, фильтр прокачивался поинтервально и наиболее интенсивно в верхней части. Результаты комплексной электроразрядно-газоимпульсной технологии представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты опытно-восстановительных работ на скважине № 17-б

Удельный дебит, м³/(ч·м)						Степень увеличения удельного дебита, раз	
						Степень восстановления удельного дебита в % к первоначальному	
Новая скважина q_0 (10.04.1992)	Перед очисткой ершом q_1 (5.01.2004)	После очистки ершом q_2 (5.01.2004)	Перед комплексной обработкой q_3 (5.04.2004)	После электроимпульсной обработки q_4 (5.04.2004)	После газоимпульсной обработки q_5 (7.04.2004)	$\frac{q_4/q_3}{(q_4/q_0) \cdot 100 \%}$	$\frac{q_5/q_3}{(q_5/q_0) \cdot 100 \%}$
20,0	5,2	6,0	5,8	10,0	21,2	$\frac{1,72}{50}$	$\frac{3,65}{106}$

ВЫВОДЫ

1. Разработана технология восстановления производительности водозаборных скважин газовым взрывом ВКГС в воде с последующей реагентной и виброволновой обработками. Изготовлено оборудование для реализации технологии. Составлен и утвержден проект производства работ.

2. Опробована методика обследования скважин, которая включает обычный комплекс гидравлических исследований, а также взятие проб кольматанта фильтра и прифильтровой зоны импульсным пробоотборником, изучение их химического и минералогического состава, подбор реагента, расчет величины зоны кольматации и определение объема кольматанта с последующим уточнением правильности расчетов по результатам откачек.

3. Результаты отработки методики обследования скважин и импульсно-виброреагентной технологии декольматации фильтров на скважине № 18 показали:

- фактический объем кольматанта оказался больше расчетного значения, которое было получено из предположения о том, что зона кольматации толщиной $\delta = 0,16$ м захватывает не всю зону гравийной обсыпки ($\delta = 0,25$ м), поэтому расчетный 20%-й избыток соляной кислоты оказался недостаточным и в результате реакции прореагировал не весь кольматант;

- значительную часть непрореагировавшего кольматанта (>217 кг) удалось извлечь из прифильтровой зоны посредством виброволнового воздействия, которое обеспечивает создание низкочастотной вибрации в прифильтровой зоне при эрлифтной откачке и вынос потерявшего сплошность и прочность кольматанта в результате механического разрушения за счет газоимпульсной обработки и химического растворения кислотой прочной составляющей кольматанта (гидрогетита);

- в качестве реагента была подобрана и использована синтетическая техническая соляная кислота I сорта марки Б (ГОСТ 857–95), которая в наибольшей степени удовлетворяет требованию оптимального соотношения цены и качества: стоимость 1 т HCl без НДС – 185300 руб,

содержание примесей железа, серной кислоты, ртути и мышьяка – меньше ПДК;

- антикоррозийная обработка осуществлялась раствором триполифосфата натрия с расходом на скважину 8 кг стоимостью 5–10 тыс. за 1 кг; отпала необходимость в применении дорогостоящих ингибиторов коррозии;

- удельный дебит скважины № 18 за 20 лет эксплуатации снизился с 21,7 до 3,67 м³/(ч·м) (в 5,9 раза) и составил 17 % первоначального, что произошло в результате кольматации и выхода из строя 4,4 м нижнего фильтра; в результате декольматации удалось восстановить удельный дебит до 15 м³/(ч·м), что составило 70 % первоначального, а с учетом уменьшения рабочей части фильтра на 25 % до обработки, удельный дебит восстановлен более чем на 90 %.

4. Апробирована технология последовательного электроразрядно-газоимпульсного воздействия с одновременной откачкой шлама эрлифтом, которая позволила не только восстановить удельный дебит скважины №17-б до первоначального значения, но и несколько превысить его. Результат достигнут за счет разрушения цементирующих связей кольматанта ударными волнами электроразрядов и размыва и удаления из прифильтровой зоны потерявшего прочность кольматанта прямым и обратным гидропотокком, возникающим при взрыве ВКГС и конденсации продуктов взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ивашечкин, В. В.** Исследование отложений в фильтрах водозаборных скважин и тестирование реагентов для их удаления / В. В. Ивашечкин, А. Н. Кондратович, Э. А. Макарова // Мир технологий. – 2004. – № 1. – С. 81–88.
2. **Алексеев, В. С.** Восстановление дебита водозаборных скважин / В. С. Алексеев, В. Т. Гребенников. – М.: Агропромиздат, 1987. – 239 с.
3. **Гаврилко, В. М.** Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 334 с.
4. **Руководство** по химическому и технологическому анализу воды. – М.: Стройиздат, 1973.
5. **ГОСТ 4011–76.**

Поступила 1.06.2004