

УДК 620.197

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ КИСЛОТНЫМИ РЕАГЕНТАМИ В ФИЛЬТРАХ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

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

*Белорусский национальный технический университет*

Как показали исследования, кольматирующие отложения, закупоривающие водопримную часть и прифильтровую зону скважин, многокомпонентны. Наиболее универсальный реагент, способный взаимодействовать с большей частью компонентов кольматанта с образованием легко растворимых продуктов, удаляемых при прокачках после обработок, – это соляная кислота [1]. Однако ее использование сопряжено с опасностью коррозионного повреждения конструктивных элементов старых скважин, фильтры которых в результате длительной эксплуатации подверглись воздействию коррозии. Для предотвращения коррозии конструктивных элементов скважин и выхода их из строя во время кислотных обработок обычно применяются ингибиторы коррозии: формалин, уротропин, катапин, КИ-1, В-2 [2].

В Республике Беларусь начато производство очищающих кислотных средств «МСК» и «Дескам», которые включают в себя водные растворы активных добавок и органических растворителей [3]. В состав очищающих средств входят ингибиторы и специальные присадки, не содержащие ядов. Рабочая температура реагентов не должна превышать 55 °С. При нагревании выше 60 °С ингибиторы и присадки термически разрушаются, и содержание соляной кислоты составляет около 20 %.

В этой связи представляло интерес исследовать эффективность применения новых кислотных чистящих средств «МСК» и «Дескам» для растворения кольматирующих отложений фильтров скважин, а также степень защиты металлических элементов фильтров от коррозионного повреждения при их использовании в композиции с соляной кислотой.

В опытах применялись кольматирующие отложения скважин № 17<sup>б</sup> и № 18 (водозабор «Зеленовка», г. Минск), а также скважины № 7 (водозабор «Рыщицы», г. Слоним).

Химический анализ отложений, полученный в ЦГЛ РУП «Белгеология», представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав проб кольматанта

Химический состав	Содержание в процентах по массе		
	Скважина № 18 «Зеленовка» (фильтр), г. Минск	Скважина № 17 <sup>б</sup> «Зеленовка» (водоподъемные трубы), г. Минск	Скважина № 7 «Рыщичицы» (фильтр), г. Слоним
SiO <sub>2</sub>	3,93	3,68	51,24
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,01	0,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,43	0,29	2,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	79,5	80,65	23,9
MnO	0,40	0,1	0,08
CaO	0,37	1,28	3,08
MgO	0,8	0,76	0,61
K <sub>2</sub> O	0,12	0,18	0,75
Na <sub>2</sub> O	0,2	0,30	0,45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2	0,06	0,19
SO <sub>3</sub>	0,25	0,58	0,68
Потери при прокаливании	13,21	12,45	12,98
FeO	—	—	10,5
S	—	—	4,87
Сумма	99,44	100,4	100,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (общая)	79,5	80,65	23,9
SO <sub>3</sub> (общая)	0,25	0,58	12,86

Определенное количество пробы кольматанта подвергалось воздействию реагентов по методу реагентной ванны. Так как состав кольматанта многокомпонентен, для оценки степени растворения его в реагентах применялся гравиметрический метод, заключающийся в сравнении массы кольматанта до и после взаимодействия с реагентом. Лабораторные эксперименты проводились по следующей методике. Приготавливали растворы реагентов: соляной кислоты, «МКС» и «Дескама» различных концентраций объемом 50 мл при температуре 20 °С. Каждый раствор помещали в отдельный стеклянный сосуд. Образцы кольматанта, предварительно высушенного на воздухе, измельченного и просеянного через сито с размером ячеек 1 мм, взвешивали на весах с точностью до 0,01 г и помещали в сосуд с растворами. Масса образцов составляла 1,3–2,15 г. Время опыта – 20 ч.

После этого раствор фильтровали. Нерастворившийся осадок высушивали до постоянного веса и взвешивали. Эффективность растворения кольматанта определяли по формуле

$$\Theta = \left( \frac{\Delta m}{m_0 - m_n} \right) \cdot 100 \%,$$

где  $m_n$  – масса SiO<sub>2</sub> в образце;  $\Delta m$  – изменение массы в процессе опыта,  $\Delta m = m_0 - m'$ ;  $m_0, m'$  – массы образца соответственно до и после опыта.

Результаты эффективности растворения кольматанта скважины № 18 представлены на рис. 1.

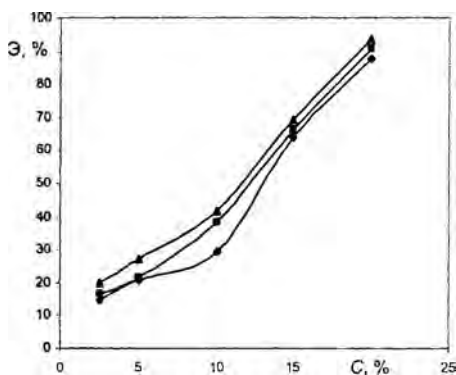


Рис. 1. Влияние концентрации  $C$  соляной кислоты  $HCl$  в составе реагентов на эффективность  $\mathcal{E}$  растворения кольматанта скважины № 18 «Зеленовка»:  $\blacklozenge$  – «Дескам»;  $\blacksquare$  – «МСК»;  $\blacktriangle$  –  $HCl + 0,1\%$  триполифосфата натрия

Анализ полученных результатов показывает, что растворяющая способность «Дескама» при разбавлении его водой до соотношения 1:4 плавно уменьшается от 87,5 до 20,6 %, т. е. в 4,2 раза. Эффективность «МСК» в среднем на 3–6 % выше, чем «Дескама», и темпы снижения эффективности у этих реагентов при разбавлении практически одинаковые.

Наилучшей растворяющей способностью обладает 20%-й  $HCl$  с добавками триполифосфата (1 % по весу), его растворяющая способность в среднем на 6–10 % выше, чем у «Дескама», и на 3–5 % выше, чем у «МСК», во всем диапазоне концентраций.

С учетом того, что наилучшей растворяющей способностью обладают неразбавленные реагенты «Дескам» и «МСК», следующий опыт производился без их разбавления.

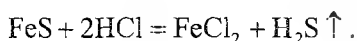
В табл. 2 представлены результаты испытаний реагентов при растворении кольматирующих отложений скважин № 17<sup>б</sup> (водозабор «Зеленовка», г. Минск) и скважины № 7 (водозабор «Рыщицы», г. Слоним).

Таблица 2

**Эффективность растворения кольматирующих отложений**

Место взятия проб	Наименование реагента	Масса образца, г		$\Delta m = m_0 - m', \text{ г}$	$m_n, \text{ г}$	$\mathcal{E}, \%$
		$m_0$	$m'$			
Скв. № 17 <sup>б</sup> «Зеленовка», г. Минск	$HCl$ (20 %)	5,92	1,21	4,71	0,21	82,5
	«МСК»	8,63	2,52	6,11	0,32	73,5
	«Дескам»	6,54	2,23	4,31	0,24	68,4
Скв. № 7, «Рыщицы», г. Слоним	$HCl$ (20 %)	1,41	0,73	0,68	0,71	97,4
	«МСК»	1,59	0,86	0,73	0,81	93,5
	«Дескам»	1,41	0,81	0,60	0,71	85,7

Растворение образцов скважины № 7, имеющих в своем составе высокое содержание сульфатов и сульфидов железа (табл. 1), сопровождалось активным выделением сероводорода, который является сильным ядом. При концентрации 1 мг/л он опасен для жизни. Реакция с сульфидами имеет вид



Полученные результаты по эффективности растворения кольматантов скважин № 17<sup>б</sup> и № 7 указывают, что HCl (20 %) так же, как и в первом опыте, является наиболее эффективным реагентом из рассмотренных: ее растворяющая способность на 3–8 % выше, чем у «МСК», и на 11–14 % выше, чем у «Дескама».

Для тестирования коррозионного воздействия указанных реагентов на элементы конструкций фильтров скважин проводились опыты по следующей методике.

Из извлеченного на водозаборе «Неманица» (г. Борисов) фирмой «Дельта» старого проволочного фильтра на перфорированном каркасе выпиливали кусочки каркаса, прокладочных стальных стержней диаметром 6 мм, обмоточной стальной проволоки диаметром 2 мм. В опытах использовались также кусочки новой обмоточной проволоки диаметром 2 мм из нержавеющей стали марки 12х18Н10Т. Образцы зачищали тонкой наждачной бумагой, обезжиривали, промывали водой, сушили и взвешивали на весах с точностью до 0,01 г. В стеклянные сосуды наливали реагенты. После 72 ч образцы извлекали из сосудов, промывали водой, сушили и взвешивали. Степень коррозии определяли как потерю массы в образце, т. е. по количеству растворившегося материала в реагенте.

Результаты коррозионных испытаний элементов конструкций фильтра при обработке их кислотными реагентами представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты коррозионных испытаний элементов фильтра

Наименование образца	20 % HCl + 0,1 % ТПФ Na				«МСК»				«Дескам»			
	Масса образца, г		$\Delta m$	Степень уменьшения массы $\frac{\Delta m}{m_0}$ , %	Масса образца, г		$\Delta m$	Степень уменьшения массы $\frac{\Delta m}{m_0}$ , %	Масса образца, г		$\Delta m$	Степень уменьшения массы $\frac{\Delta m}{m_0}$ , %
	$m_0$	$m'$			$m_0$	$m'$			$m_0$	$m'$		
1. Каркас	2,32	2,03	0,29	12,5	2,65	2,62	0,03	1,13	2,8	2,77	0,03	1,07
2. Прокладочные стержни	3,91	3,51	0,4	10,23	4,91	4,87	0,04	0,8	3,31	3,27	0,04	1,2
3. Обмоточная проволока	1,01	0,81	0,2	24,6	0,85	0,84	0,01	1,17	0,86	0,85	0,01	1,16
4. Обмоточная проволока (нерж.)	0,4	0,35	0,05	12,5	0,48	0,48	0	0	0,47	0,47	0	0

Применение в испытаниях двухкомпонентной смеси 20 % HCl + 0,1 % триполифосфата натрия обусловлено тем, что и фосфаты, и соляная кислота растворяют отложения, но, кроме этого, триполифосфат натрия относится к группе пленкообразующих ингибиторов (пассиваторов) коррозии, образующих на поверхности стали тонкий защитный слой фосфатов.

Анализ результатов экспериментов показывает, что при прочих равных условиях наибольшая потеря массы образцов имеет место при их обработке реагентом 20 % HCl + 0,1 % ТПФ Na. Причем наибольшему коррозионному воздействию подвержена проволока диаметром 2 мм (потеря веса – 24,6 %), затем идут прокладочные стержни и каркас (10,23 и 12,5 % соответственно). И если каркас фильтра обычно выполняется из толстостенной стальной трубы толщиной 6–10 мм и в силу этого обладает определенным запасом надежности против коррозии, то значительная коррозия прокладочных стержней и обмоточной проволоки при кислотной обработке может привести к их разрушению и пескованию скважины.

В то же время коррозионное воздействие, оказываемое реагентами «Дескам» и «МСК» на элементы конструкций старого фильтра, в 8–20 раз меньше, чем воздействие смеси 20 % HCl + 0,1 % ТПФ Na, и совсем отсутствует коррозионное воздействие указанных реагентов на обмоточную проволоку из нержавеющей стали (табл. 3). Это свидетельствует об их высокой безопасности при обработках фильтров старых скважин.

Таким образом, опытным путем установлено, что кислотные чистящие средства «Дескам» и «МСК» обладают высоким антикоррозионным эффектом при воздействии на конструктивные элементы фильтра и хорошей растворяющей способностью при воздействии на кольматант, правда, несколько уступающей соляной кислоте оптимальной (20%-й) концентрации.

Одним из важнейших требований к выбору реагента для регенерации фильтров скважин является оптимальное соотношение цены и качества реагента. Высокая стоимость «Дескама» и «МСК» (примерно 1 \$/л) более чем в 10 раз превышает стоимость синтетической соляной кислоты. Последнее может привести к нерентабельности обработок.

Это потребовало дополнительных исследований с композициями реагентов с целью снижения стоимости обработок без ущерба для качества работ.

На первом этапе исследовалась эффективность применения средства «Дескам» как замедлителя коррозии стали в соляной кислоте при последовательной обработке элементов конструкций фильтра сначала раствором «Дескам», а затем – кислотой.

На втором этапе раствор «Дескама» добавлялся в раствор соляной кислоты и элементы конструкций обрабатывались композицией этих реагентов.

В табл. 4 представлены результаты коррозионных исследований образцов при их последовательном погружении в 5%-й водный раствор «Дескама» на 2 ч, а затем – в раствор 20%-й HCl, в котором образцы выдерживались 22 ч. В опытах моделировалась возможная технологическая последовательность операций на реальной скважине.

Анализ коррозионных испытаний образцов при их последовательной обработке двумя кислотными реагентами – сначала 5%-м «Дескамом», а затем – 20%-й HCl – показал, что степень уменьшения массы элементов фильтра из обычной стали не превышает 2,5 %. Это примерно на 1–1,2 % больше, чем при обработке тех же элементов «Дескамом», и значительно (на 8–20 %) меньше, чем при обработке 20%-м HCl с добавкой 0,1 % триполифосфата натрия (табл. 2). Коррозионное воздействие на нержавеющую

проволоку отсутствует. Опыты показывают, что «Дескам», содержащий в своем составе ингибиторы коррозии и ПАВы, создает на поверхности металла защитную пленку, которая снижает коррозию при последующей обработке основным реагентом.

Таблица 4

Результаты коррозионных исследований элементов фильтров при последовательной обработке реагентами: 2 ч – 5%-м «Дескамом» и 22 ч – 20%-м HCl

Наименование образца	Масса образца, г		$\Delta m$ , г	Степень уменьшения массы $\frac{\Delta m}{m_0}, \%$
	$m_0$	$m'$		
Каркас	2,77	2,7	0,07	2,52
Прокладочные стержни	4,87	4,81	0,06	1,23
Обмоточная проволока	0,81	0,79	0,02	2,45
Обмоточная проволока (нерж.)	0,47	0,47	0	0

В табл. 5 представлены результаты коррозионных испытаний тех же образцов при совместной обработке их композицией «Дескама» с 10%-м HCl.

Таблица 5

Результаты коррозионных исследований элементов фильтра при их обработке композицией реагентов

Наименование образца	Содержание «Дескама» в 10%-м HCl, %	Масса образца, г		Изменение массы $\Delta m$ , г	Степень уменьшения массы $\frac{\Delta m}{m_0}, \%$
		$m_0$	$m'$		
Каркас	0,5 %	2,03	1,99	0,04	0,5
	1 %	2,69	2,69	0	0
	2,5 %	2,62	2,62	0	0
	5 %	2,04	2,03	0,01	0,5
Прокладочные стержни	0,5 %	3,48	3,44	0,04	1,14
	1 %	4,8	4,79	0,01	0,2
	2,5 %	4,87	4,87	0	0
	5 %	3,51	3,48	0,03	0,85
Обмоточная проволока	0,5 %	1,13	1,12	0,01	0,9
	1 %	0,78	0,78	0	0
	2,5 %	0,84	0,83	0,01	1,2
	5 %	0,84	0,84	0	0
Обмоточная проволока (нерж.)	0,5 %	0,48	0,48	0	0
	1 %	0,47	0,47	0	0
	2,5 %	0,35	0,35	0	0
	5 %	0,47	0,47	0	0

В отличие от предыдущих опытов здесь использовалась соляная кислота 10%-й концентрации. Более «мягкие» условия испытаний образцов были обусловлены тем, что в реальных условиях нахождения соляной кислоты в фильтре ее концентрация в течение времени обработки уменьшается от 20 до нескольких процентов. Поэтому для создания условий, более приближенных к реальным условиям, использовалась усредненная 10%-я концентрация соляной кислоты.

Как видим, композиция соляной кислоты 10%-й концентрации с добавками «Дескама» от 0,5 до 5 % оказывает незначительное коррозионное воздействие на стальные образцы по степени уменьшения массы. Наименьшее воздействие в диапазоне рассмотренных концентраций «Дескама» в соляной кислоте наблюдается для концентраций 1–2,5 %. Коррозионное воздействие на нержавеющую проволоку всеми композициями отсутствует.

## ВЫВОДЫ

1. Исследование эффективности растворения кольматантов трех скважин кислотосодержащими реагентами показало, что растворяющая способность HCl на 3–5 % выше, чем у «МСК», и на 6–10 % выше, чем у «Дескама», при концентрациях от 5 до 20 % (по содержанию HCl в реагентах).

2. Коррозионные испытания элементов фильтра в кислотных реагентах показали, что неразбавленные «Дескам» и «МСК» оказывают минимальное коррозионное воздействие, которое составляет 1–1,2 % по относительной потере массы образцов после 72 ч нахождения в реагентах, в то время как у 20%-го HCl с 0,1 % триполифосфата натрия этот параметр составляет 12–25 %. Наибольшей коррозии подвержены оцинкованная обмоточная проволока и прокладочные стержни. Коррозия минимальна или практически отсутствует у нержавеющей обмоточной проволоки при ее нахождении в HCl и реагентах «Дескам» и «МСК».

3. При последовательной обработке реагентом «Дескам» 5%-й концентрации (2 ч) и 20%-м HCl (22 ч) относительная потеря массы образцов не превысила 2,5 %. Коррозионные испытания образцов при нахождении их в 10%-м HCl с добавками «Дескама» от 0,5 до 5 % указывают на незначительную относительную потерю массы – 1–2 %.

4. Учитывая экологическую безопасность изученных кислотных чистящих средств и их композиций с соляной кислотой, их можно рекомендовать для восстановления дебита водозаборных скважин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. И в а ш е ч к и н, 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. С п е ц и а л ь н ы е работы при бурении и оборудовании скважин на воду / Д. Н. Башкатов [и др.]. – М.: Недра, 1988. – 268 с.

3. С р е д с т в а очищающие универсальные кислотные. ТУ РБ 37430824.001–97.

Представлена кафедрой  
гидравлики

Поступила 30.05.2005