

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ КОЛЬМАТИРУЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДИТИОНИТОМ НАТРИЯ

Шейко А. М., Ивашечкин В. В.

Белорусский национальный технический университет

Введение. Основной задачей химической регенерации водозаборных скважин является растворение кольматирующего осадка из фильтра и прифильтровой зоны с последующим удалением продуктов реакции из скважины. Вопросами интенсификации кинетики массообмена и растворения занимались Аксельруд Г. А., Бочеввер Ф. М., Веригин Н. Н., Вигдорчик Е. М., Орадовская А. Е., Фиклистов И. Н. и др. В работах [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] представлены основные уравнения растворения и вымыва солей, выведены критериальные уравнения кинетики растворения солей в различных гидродинамических условиях. В работах [8], [9], [10], [11] представлены теоретические исследования растворения кольматирующего фильтр и прифильтровую зону водозаборной скважины осадка. В работе [12] описан процесс растворения солей при движении реагента через закольматированную пористую среду без учета упругих свойств жидкости и среды следующим уравнением:

$$\frac{C_t}{C_m} = \frac{1 - e^{-B_0 \left(\frac{\sigma_0 + N_0}{n_0} - C_m \right) t}}{1 - \frac{C_m n_0}{\sigma_0 + N_0} e^{-B_0 \left(\frac{\sigma_0 + N_0}{n_0} - C_m \right) t}} \quad (1)$$

где C_t - концентрация раствора к моменту времени t ; C_m - концентрация насыщенного раствора; N_0 - удельный объем отложений к моменту времени t ; n_0 - начальная пористость; $\sigma_0 = \frac{0.834}{\sqrt{n_0}}$,

$B_0 = \frac{1.2B\omega_0}{\rho_0} \left(\frac{D}{9} \right)^{1/6} \sqrt{\frac{v}{d}}$; ω_0 - удельный объем закольматированной пористой среды; ρ_0 - плотность соли; v - скорость движения реагента; D - коэффициент молекулярной диффузии; 9 - коэффициент кинематической вязкости. Из уравнения (1) следует, что процесс растворения значительно интенсифицируется с увеличением скорости движения реагента в закольматированной зоне. Повысить же скорость реагента в прифильтровой зоне скважины с целью интенсификации кинетики растворения можно за счет создания циркуляционных потоков, возникающих при разделении фильтра скважины на ряд нагнетательных и всасывающих секторов. Циркуляция жидкости осуществляется за счет того, что в каждый нагнетательный сектор подается жидкость с расходом Q_{CH} , а из каждого всасывающего сектора происходит отбор жидкости с расходом Q_{CB} .

На кафедре «Гидравлика» БНТУ изготовлена и испытана лабораторная циркуляционная установка, в которой скважинный фильтр разделен горизонтальными пакерами, а также и вертикальными уплотняющими перегородками. Разработанная математическая модель циркуляционного движения от нагнетательного к всасывающему сектору позволяет определить основной параметр конвективного диффузионного переноса вещества – скорость движения реагента v в любой точке закольматированной области с координатами r, θ радиусом r_0 :

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_\theta^2}, \quad r_c < r < r_0 \quad (2)$$

$$v_r = -\frac{Q_{\text{CH}} - Q_{\text{CB}}}{(\alpha + \beta)L_y r} - \left(\frac{Q_{\text{CH}}}{\alpha} + \frac{Q_{\text{CB}}}{\beta} \right) \frac{1}{\pi L_y r} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(mk\theta) + \sin(mk(\alpha - \theta))}{k} F_{3k}(r), \quad (3)$$

$$v_\theta = -\left(\frac{Q_{\text{CH}}}{\alpha} + \frac{Q_{\text{CB}}}{\beta} \right) \frac{1}{\pi L_y r} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos(mk\theta) - \cos(mk(\alpha - \theta))}{k} F_{1k}(r), \quad (4)$$

$$\text{где, } F_{1k}(x) = \frac{G_k^{(-)}(x)}{G_k^{(+)}(r_c)}, \quad F_{3k}(x) = \frac{G_k^{(+)}(x)}{G_k^{(+)}(r_c)}, \quad G_k^{(-)}(x) = \left(\frac{x}{R}\right)^{mk} R_{1k} - \left(\frac{R}{x}\right)^{mk} R_{2k},$$

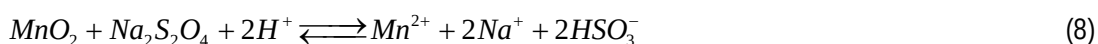
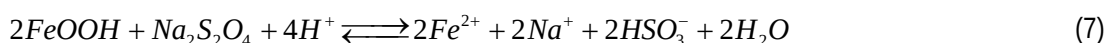
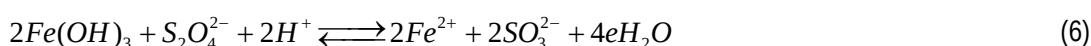
$$G_k^{(+)}(x) = \left(\frac{x}{R}\right)^{mk} R_{1k} + \left(\frac{R}{x}\right)^{mk} R_{2k}, \quad R_{1k} = 1 - \kappa \left(\frac{R}{r_0}\right)^{mk}, \quad R_{2k} = 1 - \kappa \left(\frac{r_0}{R}\right)^{mk}, \quad \kappa_0 = \frac{\kappa_1 - \kappa_2}{\kappa_1 + \kappa_2},$$

(... ↑ и до!!!) r_c – радиус скважины, R – радиус контура питания, α и β – углы нагнетательного и всасывающего секторов, m – число нагнетательных секторов равное числу всасывающих секторов, v_r и v_θ – радиальная и угловая составляющие вектора скорости, κ_1 и κ_2 – коэффициенты фильтрации водовмещающей породы и закольматированной зоны, L_y – длина циркуляционного устройства.

Однако кинетика выщелачивания кольматирующего осадка из закольматированной прифилтровой зоны скважины очень сложна. Необходимо учесть состав и количество кольматанта, его физические характеристики, вид используемого реагента, температуру и его вязкость, способ химической регенерации, обеспечивающий интенсификацию процесса декольматации. Поэтому возникла необходимость проведения лабораторных исследований процесса выщелачивания кольматирующих отложений.

Цель данной работы заключается в экспериментальном определении продолжительности процесса выщелачивания железистых кольматирующих отложений в зависимости от скорости обтекания их дитионитом натрия и установления функциональной связи между этими параметрами. Полученные результаты могут служить обоснованием для расчета продолжительности процесса поинтервальной реагентной декольматации секторным циркуляционным устройством в зависимости от скорости движения реагента.

Основная часть. При проведении химической регенерации скважин может эффективно применяться сильный восстановитель – порошкообразный дитионит натрия $Na_2S_2O_4$. Он способен растворять практически полностью дегидратированные соединения железа, а его растворяющая способность практически не уступает растворяющей способности 20...25% – ной соляной кислоты [12]. Механизм процесса восстановления основных компонентов кольматанта дитионитом натрия в водном кислотном и щелочном растворе может быть записан в виде следующих уравнений [12], [13]:



Основными достоинствами дитионита натрия при его использовании в качестве реагента химической регенерации являются: 1) удобство при транспортировке и хранении (в отличие от соляной кислоты); 2) хорошая растворимость в воде без соблюдения специальных мер по технике безопасности; 3) отсутствие газов при взаимодействии с железистыми кольматирующими осадками, способных вызывать газлифтный подъем непрореагировавшего реагента, что упрощает производство работ и минимизирует влияние на окружающую среду 4) нет необходимости в подогреве реагента; 5) слабое корродирующее действие к металлическому оборудованию скважин.

В результате реакции дитионита натрия с гидроксидом железа (III) согласно уравнениям (5) и (6) происходит образование сульфата железа (II), который может быть удален обеспечением необходимых скоростей при циркуляции реагента в прифилтровой области скважины.

В работе [14] установлено, что оптимальным условием растворения железистого кольматанта является концентрация раствора дитионита натрия 6 - 8% при температуре не выше 18° С. Добавка 1% триполифосфата натрия в раствор позволяет предупредить повторное осаждение гидроксида железа в процессе обработки.

Процесс выщелачивания кольматирующих отложений дитионитом натрия исследовался на экспериментальной установке, приведенной на рис 1.

Установка представляла собой насос, установленный жестко на опорной раме. Из емкости реагент насосом подавался в резервуар, в котором поддерживался постоянный уровень при помощи холостого слива. Далее реагент под действием напора, который изменялся регулирующим устройством, поступал в гидроканал, откуда опять попадал в емкость. Гидроканал заполнялся смесью гравия (ТУРБ 16844-241-2001), используемого в качестве обсыпки при сооружении фильтров скважин, железосодержащего кольматирующего осадка и цемента в отношении 1: 0,5: 0,25. Добавка цемента к кольматанту способствовала сцеплению и удержанию кольматирующего осадка на зернах гравия. Железосодержащий осадок был взят на станции обезжелезивания водозабора «Острова». Химический состав его представлен следующими процентными содержаниями элементов: SiO_2 – 16.2 %, Fe_2O_3 – 28.55 %, CaO – 13.64 %, потери при прокаливании – 24, 83 %. Смесь в указанном соотношении предварительно затворялась водой, высушивалась и дробилась на конгломератные структуры. Затем загружалась в гидроканал и послойно трамбовалась. Потери напора в гидроканале фиксировались посредством пьезометров, установленных на щите. Расход реагента измерялся объемным методом.

Методика экспериментальных исследований. Раствор дитионита натрия 10% – ой концентрации с добавкой триполифосфата натрия 1 % – ой концентрации при температуре 16° С подавался насосом в резервуар, откуда под действием напора фильтровался через закольматированный грунт гидроканала площадью поперечного сечения 4,7 см². В процессе фильтрации реагента с определенной скоростью v происходило выщелачивание железистых соединений и вынос продуктов реакции, вследствие чего увеличивалась проницаемость закольматированного грунта, которая контролировалась разностью показаний пьезометров h (рис. 1). Скорость фильтрации изменялась при помощи устройства для регулировки напора и краном. По значению потерь напора через определенные промежутки времени t по замеренному расходу определялся коэффициент фильтрации грунта k_f по формуле Дарси. Опыт длился до стабилизации коэффициента фильтрации грунта k_{ok} . Это свидетельствовало об окончании процесса выщелачивания. Далее гидроканал промывался и заполнялся новой порцией закольматированного грунта и процесс повторялся. Всего было проведено 15 опытов с различными скоростями фильтрации реагента и 3 опыта в режиме реагентной ванны. По полученным данным строился график кинетики выщелачивания при различных гидродинамических условиях в координатах $\frac{k_f}{k_{ok}}100\% - t$, как показано на рис. 2.

Для установления зависимости продолжительности выщелачивания t от скорости фильтрации реагента v из графика (рис.2) определялось время полного выщелачивания, соответствующее стабилизации коэффициента фильтрации k_f для соответствующей скорости. По полученным точкам строилась кривая регрессии $t = f(v)$ (рис. 3).

Анализ полученных данных. Первоначально выполнялся регрессионный анализ полученных выборочных данных. В большей степени экспериментальным данным соответствует логарифмическая регрессионная модель вида:

$$t = A \ln(v) + B \quad (9)$$

Полученная регрессионная модель имеет среднеквадратичное отклонение равное 4,127. Для конкретных лабораторных условий выщелачивания дитионитом натрия железистых соединений установлено, что коэффициенты A и B соответственно равны: $A = -27.558, B = 19.164$ (рис. 3). Принятую регрессионную модель характеризует близкое к единице значение коэффициента детерминации $R^2 = 0.9947$. Статистическая интерпретация этого результата означает, что изменение значений продолжительности выщелачивания t объясняется на 99,5% изменением значений скорости движения реагента v .

Дисперсионный однофакторный анализ, приведенный в табл. 1, показывает, что при выбранном уровне значимости $\alpha = 0.05$ F–статистика значительно больше критического значения F критерия Фишера, т. е. $F > F_{кр}$. Это позволяет принять гипотезу о статистически значимом влиянии скорости фильтрации на продолжительность выщелачивания реагента и отвергнуть нулевую гипотезу, при условии достоверности определения значения F (Р-значение очень малое).

Таблица 1 – Однофакторный дисперсионный анализ

Источник вариации	SS (Сумма квадратов отклонений)	Число степеней свободы	MS (Средний квадрат отклонений)	F – Статистика	P-Значение	F критическое
Между группами	26997,83	1	26997,83	15,76390445	0,000352489	4,13001
Внутри групп	58229,63	34	1712,636			
Итого	85227,46	35				

Анализ кинетики выщелачивания при различных гидродинамических условиях показал, что в режиме реагентной ванны увеличение проницаемости закольматированного грунта происходит очень низкими темпами (с 91 до 100%) за продолжительный промежуток времени равным 180 минутам (рис. 2 б). В работе [13] исследован процесс растворения железистых минералов дитионитом натрия в режиме реагентной ванны. В результате исследований установлено время полного растворения, которое составляет для гетита ($FeOOH$) с удельной внешней поверхностью $22 м^2 / г$ 150 минут, для лепидокрокита ($FeOOH + Mn$) с удельной внешней поверхностью $80 м^2 / г$ – 170 минут и для ферригидрита $((5Fe^{3+})_2 O_3 \cdot 9H_2O)$ и гетита с удельными внешними поверхностями соответственно $309 м^2 / г$ и $93 м^2 / г$ – 70 минут. Данные, приведенные в [13], вполне согласуются с экспериментальными данными выщелачивания в режиме реагентной ванны.

Движение же реагента в закольматированном грунте значительно увеличивает проницаемость (с 65 до 100%) и сокращает время выщелачивания в среднем в 6 раз в зависимости от скорости фильтрации (рис. 2 а).

Задаваясь конкретным значением скорости v на контуре закольматированной зоны радиусом r_0 по формуле (2) определяются конструктивные параметры циркуляционного устройства (L_y и m), а также согласно полученной зависимости (9) определяется продолжительность процесса регенерации на одном интервале.

Заключение. Лабораторными исследованиями установлено, что параметром, интенсифицирующим процесс кинетики выщелачивания кольматирующих отложений, является скорость движения реагента. Процесс выщелачивания значительно сокращается (в среднем в 6 раз) в зависимости от скорости движения реагента.

Установлена логарифмическая регрессионная зависимость продолжительности выщелачивания от скорости движения реагента следующего вида: $t = A \ln(v) + B$. На примере выщелачивания раствором дитионита натрия 10% – ной концентрации с добавками раствора триполифосфата натрия 1% – ной концентрации железистых кольматирующих соединений станции обезжелезивания водозабора «Острова» определены коэффициенты A и B , которые соответственно равны: $A = -27.558, B = 19.164$. Полученная функциональная зависимость может служить обоснованием расчета продолжительности процесса поинтервальной реагентной декольматации секторным циркуляционным устройством t в зависимости от скорости движения реагента v .

При проведении регенерации скважин секторным циркуляционным устройством рекомендуется откачку продуктов реакции проводить не ранее чем через 3 часа после начала циркуляции.

Список цитированных источников

1. Веригин, Н.Н. О кинетике растворения солей при фильтрации воды в грунтах. В кн. Растворение и выщелачивание горных пород / Н. Н. Веригин. – М: Госстройиздат, 1957. – с. 84- 113.
2. Шержуков, Б.С. Прогноз растворения пластовых гипсов в основании гидротехнических сооружений / Б. С. Шержуков, А. С. Малышев, Н. К. Голованова // Сб. науч. тр. / НИИ ВОДГЕО. – Москва, 1984. – Гидрогеология. – С. 26– 29.
3. Веригин, Н.Н. Задачи конвективной диффузии и равновесного массообмена с условиями на движущихся границах / Н. Н. Веригин // Сб. науч. тр. Методы расчета процессов массопереноса в гидрогеологических исследованиях / НИИ ВОДГЕО. – Москва, 1984. – Гидрогеология. – С. 3– 7.
4. Бочеввер, Ф.М. Конвективная диффузия солей в радиальном потоке подземных вод в связи с защитой их от загрязненных стоков / Ф. М. Бочеввер, А. Е. Орадовская // Сб. науч. тр. / НИИ ВОДГЕО. – Москва, 1966. – Вып. 13: Гидрогеология. – С. 159– 180.
5. Веригин, Н.Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники / Н. Н. Веригин // Известия академии наук СССР. – Москва, 1953. - № 10. – С. 1369-1382.
6. Орадовская, А.Е. Приближенный расчет растворения пластовых солей в основании гидротехнических сооружений / А. Е. Орадовская, Ф. М. Бочеввер // Сб. науч. тр. / НИИ ВОДГЕО. – Москва, 1966. – Вып. 13: Гидрогеология. – С. 9– 14.
7. Куранов, Н.П. Растворение и вымыв солей при фильтрации с малыми значениями параметра промывки / Н. П. Куранов, А. Ж. Муфтахов, А. З. Щербак // МЖГ АН СССР. – 1975. - № 1. – С. 29-34.
8. Коммунар, Г.М. Внутрипластовая очистка подземных вод для целей водоснабжения. дис. ... док-ра техн. наук: 05.23.04. / Г. М. Коммунар. – Москва, 1987. – 469 с.
9. Алексеев, В.С. Кинетика растворения кольматанта в прифильтровых зонах скважин / В. С. Алексеев, Г. М. Коммунар, В. Т. Гребенников // Сб. науч. тр. / НИИ ВОДГЕО. – Москва, 1976. – Вып. – 52. – С. 15– 18.
10. Алексеев, В.С. Кинетика растворения кольматанта в прифильтровых зонах скважин / В. С. Алексеев, Г. М. Коммунар, В. Т. Гребенников // Сб. науч. тр. / НИИ ВОДГЕО. – Москва, 1977. – Вып. – 70. – С. 30– 33.
11. Воропанов, В.Е. Виброреагентная регенерация скважин на воду: дис. ... кан-та техн. наук: 04.00.06. / В.Е. Воропанов. – Москва, 1986. – 153 с.
12. Алексеев, В.С. Восстановление дебита водозаборных скважин / В. С. Алексеев, В. Т. Гребенников. – М: Энергия, 1987. – 270 с.
13. Houben, G. Regenerierung und sanierung von Brunnen / G. Houben, C. Treskatis. – Munchen: Oldenbourg industriever, 2003. – 280 s.
14. Гребенников, В.Т. Восстановление дебита скважин дитионитом натрия / В. Т. Гребенников // Гидротехника и мелиорация. – 1976. - № 1. – С. 92-95.

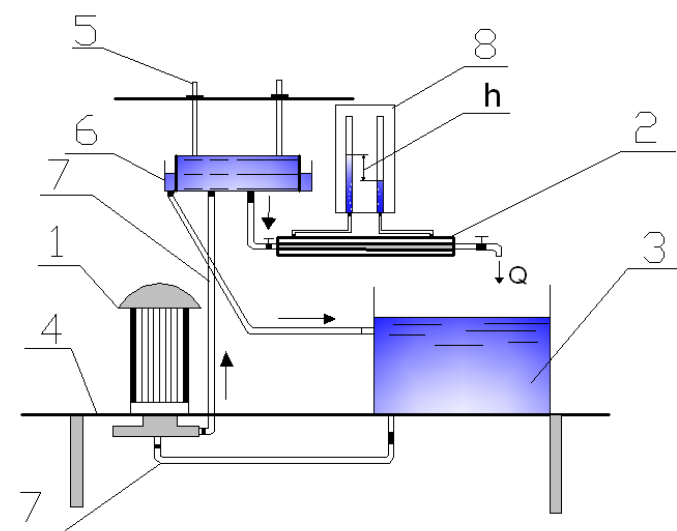


Рис. 1

a)

6)

Рис. 2

статья Шейко А. М., Ивашечкина В. В. «ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
КОЛЬМАТИРУЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДИТИОНИТОМ НАТРИЯ»
рис. 1, рис. 2 а), 2б

Рис. 3

статья Шейко А. М., Ивашечкина В. В. «ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
КОЛЬМАТИРУЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДИТИОНИТОМ НАТРИЯ»
рис. 3

Подстрочные подписи к

рис. 1 – Схема экспериментальной установки для исследования кинетики выщелачивания кольматирующих отложений: 1 – насос; 2 – гидроканал; 3 – емкость для реагента; 4 – опорная рама; 5 – устройство для регулировки напора; 6 – холостой слив; 7 – патрубки; 8 – щит пьезометров

рис. 2 – Кинетика выщелачивания кольматирующих отложений при различных гидродинамических условиях а) при различных скоростях б) при реагентной ванне

рис. 3 – Зависимость продолжительности выщелачивания от скорости фильтрации $t = f(v)$

УДК 628.114

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ КОЛЬМАТИРУЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ
ДИТИОНИТОМ НАТРИЯ

Шейко А. М., Ивашечкин В. В

Белорусский национальный технический университет

Ключевые слова: кольматация, регенерация, выщелачивание, дитионит натрия

Аннотация. Лабораторными исследованиями установлено, что параметром, интенсифицирующим процесс кинетики выщелачивания кольматирующих отложений, является скорость движения реагента. Процесс выщелачивания значительно сокращается в зависимости от скорости движения реагента. Установлена логарифмическая регрессионная зависимость продолжительности выщелачивания от скорости движения реагента следующего вида: $t = A \ln(v) + B$. На примере выщелачивания раствором дитионита натрия 10% – ной концентрации с добавками раствора триполифосфата натрия 1% – ной концентрации железистых кольматирующих соединений станции обезжелезивания водозабора «Острова» определены коэффициенты A и B , которые соответственно равны: $A = -27.558, B = 19.164$. Полученная функциональная зависимость может служить обоснованием расчета продолжительности процесса поинтервальной реагентной декольматации секторным циркуляционным устройством t в зависимости от скорости движения реагента v .