

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА РЕАГЕНТА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКВАЖИН НА ВОДУ

П. А. Аветушко, инженер

В. В. Ивашечкин, доктор технических наук

В. В. Веремениук, кандидат физико-математических наук

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

Ключевые слова: скважина, кольматация, регенерация, реагент.

Введение

В процессе работы водозаборных и дренажных скважин происходит постепенное снижение их производительности. Это вызвано неизбежным зарастанием водоприемной поверхности их фильтров кольматирующими отложениями, выпадающими из воды. Результатом химического кольматажа является рост гидравлического сопротивления скважинных фильтров.

Опыт эксплуатации скважин на воду в различных гидрогеологических условиях показывает, что продолжительность их устойчивой работы с постоянной производительностью (близкой к первоначальной) является незначительной. Нередки случаи, когда уже через 2—3 года эксплуатации водозабор начинает работать малоэффективно [1]. Эксплуатация скважинных водозаборов без своевременного проведения ремонтных мероприятий влечет за собой существенные экономические потери, связанные с перерасходом электроэнергии работающего водоподъемного оборудования.

Ремонтные и восстановительные работы являются неотъемлемой частью процесса технического обслуживания и эксплуатации водозаборных и дренажных скважин. Основной задачей таких работ является повышение эксплуатационной надежности и увеличение сроков службы скважин. В состав мероприятий текущего ремонта входят работы по восстановлению дебита скважины: механическая очистка поверхности фильтра, импульсная и реагентная декольматация, очистка ствола от песчаной пробки. Наиболее эффективным способом декольматации фильтров скважин является реагентная обработка. Она позволяет извлекать в растворенном виде кольматант из прифильтровой зоны и фильтра скважины, что существенно увеличивает срок ее службы и межремонтные периоды. Разработанная в БНТУ конструкция скважины с зафильтровой системой промывки наиболее полно соответствует современным требованиям, предъявляемым к водозаборным и дренажным скважинам. Такая скважина отличается ремонтпригодностью и долговечностью. Ее конструкция обеспечивает возможность подачи реагента непосредственно в прифильтровую зону. Опыт подбора реагентов показывает, что наибо-

лее универсальным средством для растворения многокомпонентных кольматантов является соляная кислота [1].

Определение необходимого количества реагента для обработки скважин является важной прикладной задачей, поэтому целью настоящей работы является обработка результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса растворения кольматанта соляной кислотой и нахождение зависимости для расчета потребного количества этого реагента для растворения отложений известного химического состава.

Основная часть

Количество соляной кислоты, заливаемой в скважину, обычно оценивается по формуле [1]:

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

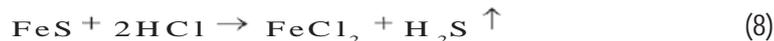
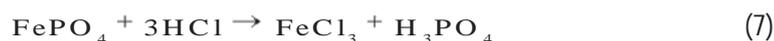
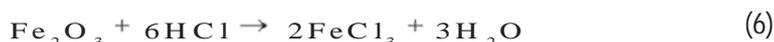
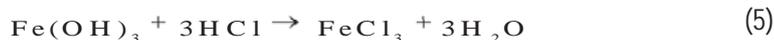
где M_{HCl} , M_k — массы соответственно соляной кислоты (в пересчете на хлористый водород 100% концентрации) и кольматанта;

K_c — коэффициент стехиометрии реакции.

Коэффициент стехиометрии K_c характеризует удельные затраты реагента на растворение кольматанта единичной массы и представляет собой соотношение количеств вступающих в реакцию кольматанта и реагента. Занижение величины K_c приводит к дефициту кислоты, что влечет к выпадению из раствора хлопьев сернокислого железа FeCl_3 и вызывает вторичную кольматацию прифилтровой зоны. Завышение величины K_c приводит к повышению расхода кислоты, что увеличивает затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Ввиду сложного состава кольматанта коэффициент K_c обычно определяют лабораторным путем по фактическим затратам реагента на растворение проб кольматирующих отложений. Однако для предварительного расчета величины K_c на стадии планирования восстановительных работ при отсутствии лабораторных данных часто возникает необходимость в определении этого коэффициента по уже имеющимся данным о химическом составе отложений. Рассчитав значение K_c теоретически, можно вычислить по формуле (1) требуемое количество соляной кислоты для промывки прифилтровой зоны скважины.

Типичный кольматант представляет собой многокомпонентную систему, включающую в себя соли кальция, магния, марганца (карбонаты), соединения железа в виде гидроксида, оксида, сульфида, фосфата. В частности, содержание Fe_2O_3 в химическом анализе дает количественную характеристику суммы всех железосодержащих соединений: $\text{Fe}(\text{OH})_3$, Fe_2O_3 , FePO_4 , FeS , а процент CaO , MnO , MgO — карбонатов: CaCO_3 , MnCO_3 , MgCO_3 . Эти соединения реагируют с соляной кислотой в соответствии со следующими уравнениями реакций



В работе [2] представлена методика расчета коэффициента K_c по химическому составу кольматанта, представленного в виде оксидов Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , P_2O_5 и др. (всего 12 наименований). Методика основана на вычислении балансов химических реакций всех без исключения компонентов кольматанта с соляной кислотой, поэтому ее использование сопряжено с громоздкими вычислениями, требующими применение ПЭВМ.

Процесс решения поставленной задачи был разбит на 2 этапа.

1. Составлена компьютерная программа для расчета точных значений K_c по методике из [2,3]. Она использует опытные данные о химическом составе кольматанта водо-заборных и дренажных скважин, приведенные в справочной и специальной литературе.

2. На основании выполненных расчетов методом наименьших квадратов произведен подбор коэффициентов линейной регрессионной модели, из которой были исключены статистически незначимые переменные. Анализ проведенных расчетов показал, что значение K_c существенно зависит от содержания в кольматанте химических соединений, включающих Mn , Ca , и Fe .

Реализация указанного алгоритма позволила получить формулу вида:

$$K_c = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (9)$$

где x_1 — процент MnO в кольматанте;

x_2 — процент CaO ;

x_3 — процент Fe_2O_3 ;

b_0 , b_1 , b_2 , b_3 — коэффициенты, значения которых определены как $b_0 = 0,031713$, $b_1 = 0,01103$, $b_2 = 0,01259$ и $b_3 = 0,01334$.

Подставляя найденные коэффициенты b_0 , b_1 , b_2 , b_3 в (9) получили итоговую формулу для расчета коэффициента стехиометрии K_c :

$$K_c = 0,031713 + 0,01103x_1 + 0,01259x_2 + 0,01334x_3 \quad (10)$$

При выполнении расчетов по формуле (10) среднее значение ошибки (в сравне-

нии с точным значением, найденным согласно пункту 1 алгоритма решения) равно 0, а среднеквадратическое отклонение равно 0,00385. Для проверки адекватности полученной модели было произведено сравнение по 70-ти скважинам (данные из [1] и [3]). При этом максимальная абсолютная погрешность составила 0,014, а максимальная относительная погрешность — 3,17 %. Незначительная величина полученных погрешностей свидетельствует о возможности использования предложенной формулы (10) для практических расчетов. Это означает, что для расчета нужного количества реагента отсутствует необходимость в нахождении полного химического состава кольматанта — достаточно определить процентное содержание трех основных компонентов, представленных в виде оксидов MnO, CaO и Fe₂O₃.

Определив величину K_c , находят массу кольматанта M_k по формуле [1]

$$M_k = a \rho_{oc} W_{nop} = a \rho_{oc} \pi (R_r^2 - r_c^2) l_\phi n_0, \quad (11)$$

где a — насыщенность порового пространства кольматантом; ρ_{oc} — плотность кольматанта; W_{nop} — объем пор гравийной обсыпки; R_r — радиус гравийной обсыпки; l_ϕ — длина фильтра;

n_0 — начальная пористость обсыпки;

r_c — радиус фильтра.

Для скважин, оснащенных затрубными пьезометрами или затрубными системами регенерации, насыщенность порового пространства кольматантом можно определить экспериментально из зависимости

$$a = 1 - \left(\frac{k_{1П}}{k_{0П}} \right)^{1/3}, \quad (12)$$

где $k_{0П}$, $k_{1П}$ — соответственно первоначальный коэффициент фильтрации пород в прифильтровой зоне скважины в момент пуска ее в работу и коэффициент фильтрации перед реагентной обработкой.

Значения коэффициентов фильтрации $k_{0П}$, $k_{1П}$ можно определить опытным путем, используя трубки зафильтровой системы промывки в качестве пьезометров. Для этого могут применяться полевые методы: метод откачки, метод опытных наливов или нагнетаний [4].

Коэффициент фильтрации прифильтровой зоны водозаборной скважины, которая является совершенной по степени вскрытия водоносного пласта, можно определить опытным путем (рис. 1) по формуле:

$$k_{П} = \frac{Q \ln \frac{r_n}{r_c}}{2\pi m (S_0 - S_{П})}, \quad (13)$$

где S_0 , S_{II} — соответственно понижения уровней в скважине и циркуляционной трубке;

r_n — расстояние до трубки;

r_c — радиус скважины;

m — мощность напорного водоносного пласта, равная длине фильтра скважины l_{ϕ} .

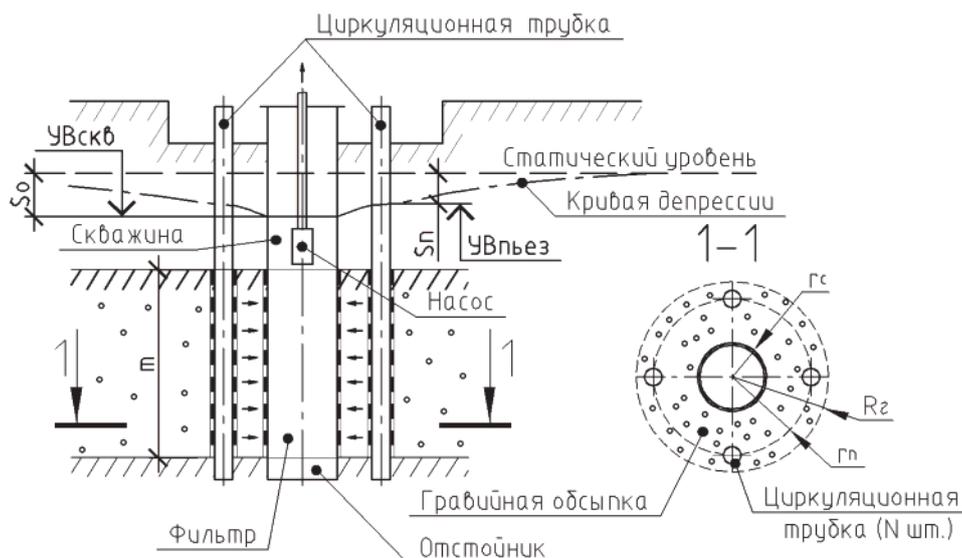


Рисунок 1 — Схема к расчету коэффициента фильтрации прифильтовой зоны скважины и объема кольматанта

Имея параметры скважины и кольматанта по формулам (1), (10) и (11), можно рассчитать количество соляной кислоты, необходимой для реагентной обработки скважинного фильтра. Для скважин, оборудованных затрубными системами, реагентные обработки могут осуществляться способами реагентной ванны и циркуляционно-реагентной промывки. Наиболее простым является способ реагентной ванны, когда реагент подается по трубкам непосредственно в гравийную обсыпку. При этом можно обеспечить более равномерную обработку зафильтовой зоны как по высоте, так и по толщине. Проведенные теоретические исследования показали, что из-за малой пористости закольматированной гравийной обсыпки и недостатка одной порции реагента для полного растворения отложений в один этап требуется несколько этапов обработки [5].

Пример расчета

Исходные данные:

Рассчитать требуемое количество соляной кислоты для реагентной обработки скважины радиусом $r_c = 0,085$ м и длиной фильтра $l_{\phi} = 9,0$ м при следующих исходных данных: начальная пористость гравийной обсыпки $n_0 = 0,34$, плотность отложений $\rho_{ос} = 2200$ кг/м³, радиус кольматационного кольца (гравийной обсыпки) $R_{г} = 0,15$ м.

Кольматант имеет следующий химический состав: содержание MnO 0,18 %; содержание CaO 18,5 %; содержание Fe₂O₃ 50,33 %. Коэффициент фильтрации при фильтровой зоне скважины в процессе эксплуатации снизился в два раза ($k_{0П}$, $k_{1П} = 0,5$).

Решение:

Определяем насыщенность порового пространства кольматантом:

$$a = 1 - \left(\frac{k_{1П}}{k_{0П}} \right)^{1/3} = 1 - 0,5^{1/3} = 0,206 \quad (14)$$

По формуле (11) определяем массу кольматанта M_K :

$$M_K = a \rho_{oc} \pi (R_r^2 - r_c^2) l_{\phi} n_0 = 0,206 \cdot 2200 \cdot 3,14 \cdot (0,15^2 - 0,085^2) \cdot 9 \cdot 0,34 = 66,5 \text{ кг} \quad (15)$$

По формуле (10) определяем коэффициент стехиометрии реакции K_c :

$$K_c = 0,031713 + 0,01103 x_1 + 0,01259 x_2 + 0,01334 x_3 = \\ = 0,031713 + 0,01103 \cdot 0,18 + 0,01259 \cdot 18,5 + 0,01334 \cdot 50,33 = 0,938 \quad (16)$$

По формуле (1) определяем требуемую массу соляной кислоты (хлористого водорода 100 % концентрации) для реагентной обработки скважины:

$$M_{HCl} = 1,2 K_c \cdot M_K = 1,2 \cdot 0,938 \cdot 66,5 = 74,9 \text{ кг} \quad (17)$$

Определяется объем соляной кислоты V_{HCL} с 33 % концентрацией по массе.

$$V_{HCL} = \frac{M_{HCL}}{\rho_{HCL} \cdot C_{HCL}} = \frac{74,9}{1164 \cdot 0,33} = 0,2 \text{ м}^3, \quad (18)$$

где $\rho_{HCL} = 1164 \text{ кг/м}^3$ — плотность раствора соляной кислоты, массовая концентрация раствора $C_{HCL} = 0,33$.

Для обработки скважин методом реагентной ванны по методике, описанной в работе [5], рассчитав требуемое количество реагента, определяем количество этапов обработки, которое также зависит от крупности частиц гравийной обсыпки. Полученное количество этапов увязывается с водовместимостью при фильтровой зоне и конструктивными параметрами скважины.

Выводы

1. На основании выполненных расчетов методом наименьших квадратов произведен подбор коэффициентов линейной регрессионной модели для расчета коэффициента стехиометрии реакции соляной кислоты с многокомпонентным (12 компонентов) желези-

стым кольматантом, из которой были исключены статистически незначимые переменные. Получена регрессионная зависимость для расчета коэффициента стехиометрии реакции, необходимого для определения требуемой массы соляной кислоты для реагентной обработки прифилтровой зоны скважины. Результаты выполненных расчетов показали, что максимальная абсолютная погрешность вычислений составила 0,014, а максимальная относительная погрешность — 3,17 %. Это свидетельствует о возможности широкого использования полученной зависимости в инженерных расчетах.

2. Рассмотрен пример расчета требуемого количества соляной кислоты для реагентной обработки скважины по известному химическому составу кольматанта.

Библиографический список

1. Гаврилко, В.М. Фильтры буровых скважин/ В.М. Гаврилко, В.С. Алексеев — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1985. — 334с.
2. Ивашечкин, В. В. Регенерация скважинных и напорных фильтров систем водоснабжения / В.В. Ивашечкин, А.М. Шейко, А.Н. Кондратович: Монография; под ред. В.В. Ивашечкина. — Минск: БНТУ, 2008. — 276 с.
3. Ивашечкин, В.В. Методика расчета удельных затрат кислотных реагентов для регенерации фильтров водозаборных скважин/ В.В. Ивашечкин, Э.А. Макарова, А.Н. Кондратович// Энергетика — Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ.— 2007.— №6 — С.78—85.
4. Ансберг, А. Практикум по общей гидрогеологии/ А.В. Ансберг, В.П. Боровицкий, Ш.Ф. Бутц и др.; под общей редакцией В.С. Самариной,— Л.: Изд. ЛОЛГУ, 1965 — 230 с.
5. Ивашечкин, В.В. Моделирование процесса реагентной регенерации скважин, оборудованных затрубными системами промывки/ В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко, В.В.Веремениук // Энергетика — Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ.— 2013.— №6 — С.78—85.

Summary

P. Autushka, V. Ivashechkin, V. Veremenyuk

CALCULATING THE AMOUNT OF REAGENT TO RECOVER WATER WELLS

This paper introduces a technique for determining the amount of hydrochloric acid needed for reagent regeneration of intake and drainage wells. A simplified formula for reaction stoichiometry coefficient calculation based on known chemical composition of colmatant was deduced. The paper gives an example of calculation.

Поступила 17.03.2014