

ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

УДК 628.112

Тугай А. М., д.т.н., професор, Тугай Я. А., к.т.н., доцент (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ)

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО РОЗРАХУНКІВ ВІДНОВЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН ЦИКЛІЧНОЮ ОБРОБКОЮ ТА МЕТОДОМ РЕАГЕНТНОЇ ВАННИ

У статті приводяться рекомендації до практичних розрахунків параметрів регенерації свердловин хімічними реагентами. Показані способи і розрахунки найбільше розповсюджених методів обробки та особливості застосування при цьому хімічних сполук.

Ключові слова: свердловина, регенерація фільтрів, реагент на ванна, кольматация.

В статье приведены рекомендации к практическим расчетам параметров регенерации скважин химическими реагентами. Показаны расчеты для наиболее распространенных методов обработки скважин и особенности их применения.

Ключевые слова: скважина, регенерация фильтров, реагентная ванна, кольматация.

Recommendations on practical calculation of parameters for recovery wells by chemical reagents are given in the article. Calculations for widespread methods of well treatment and feature of their application are shown.

Keywords: borehole, regeneration filters, reagent bath, colmatation.

В практиці регенерації фільтрів і присвердловинних зон водозабірних свердловин серед багатьох технологій їх обробки реагентами: реагентна ванна, циклічна обробка, безперервна, безперервно-імпульсна і імпульсна в умовах прямої та зворотного руху різних реагентів, тобто так звана знакозмінна конвекція, віброреагентна, електроударна (ЕУД) та інші. Найбільше розповсюдження одержали технології обробки за способами реагентної ванни і циклічна в умовах зворотно-поступального руху підземних вод в зазначеній зоні [1, 2, 3, 4, 5].

Досвід експлуатації водозабірних свердловин в різних гідрогеологічних умовах з різним сольовим складом підземних вод свідчить про те, що при глибокому заляганні рівня ґрунтових вод (більше 50 м), коли виникають складності в використанні циклічної обробки свердловин, доцільно використовувати обробку свердловин методом реагентної ванни. Технологія здійснення цього методу описана в спеціальній літературі, зокрема в [1, 2, 3, 4, 5]. Після заливки розчину реагенту в ствол свердловину герметизують і в такому

положенні витримують: для розчину соляної кислоти та дітйоніту натрію 10-12 годин; для розчину бісульфату натрію і гідрозіну соляною кислотою 14-16 годин; для фосфатних розчинів 20-24 години. Ефект істотно збільшується (до 1-3 годин) при підвищенні температури розчину реагенту, а також при застосуванні запропонованого нами реагенту [8, 9]. З закінченням вказаного часу продукти реакції скидаються і свердловина після виконання ряду спеціальних технологічних і технічних прийомів приводиться в робочий стан. При цьому ефективність обробки оцінюється шляхом порівняння питомого дебіту після обробки з початковим (на початок експлуатації) або з питомим дебітом, вимірним до обробки. Дослід показує, що питомий дебіт свердловини після відносно тривалої її експлуатації може бути поновлений цим методом до 70% початкового.

Циклічну обробку свердловини рекомендується проводити при глибині підземних вод до 50м та довжині фільтру менше 20 м [1, 2, 6]. При циклічній обробці свердловини можливий неперервний, неперервно-імпульсний та імпульсний ввід реагенту. При цьому забезпечується безперервний зворотно-поступальний рух реагенту в межах закольматованої присвердловинної зони, що істотно інтенсифікує процес розчинення кольматанту. Важливим є також забезпечення дальності проникнення реагенту в прифільтрову зону аж до її зовнішньої границі а при необхідності навіть далі. Технологія проведення циклічної обробки в герметичній свердловині з різним вводом реагенту описана в спеціальній літературі [1, 2, 6]. Тут тільки відмітимо, що найбільше поширення отримала циклічна обробка свердловини з неперервним вводом реагенту. Технологія, що застосовується, дозволяє визначити час закінчення обробки по стабілізації заміряних значень pH та Eh розчину, що свідчить про закінчення реакції між реагентом та кольматуючими сполуками. Ефективність розчинення залізистих осадів в кожному циклі може бути визначена як відношення концентрації заліза після обробки в кожному циклі ΔFe , до загальної концентрації заліза ΔFe_0 . Час закінчення процесу циклічної обробки може бути також визначений за зміною коефіцієнту фільтрації прифільтрової зони за даними про відновлення рівня води в свердловині безпосередньо в ході обробки. Обробки ведуть до стабілізації часу поновлення рівня, що свідчить (при забезпеченні процесу достатньою кількістю реагенту) про незначні надходження кольматантних сполук в розчин, тобто до закінчення реакції між ними та реагентом. Кожний цикл триває (витримується) близько 10-ти хвилин, після чого відбувається скидання продуктів реакції (3-5 хвилин). Рациональна кількість циклів при обробці 8-10 та загальний час циклічної обробки не перевищує 1,5-2 години. Виконаний аналіз результатів натурних спостережень на конкретних об'єктах свідчить про ефективність методу циклічної обробки. Питомий дебіт після обробки збільшувався до 3-х разів [4, 5, 8].

При хімічній регенерації кількість (маса) реагенту P_p оцінюється в залежності від кількості (маси) кольматанту, що відклався, P_k на фільтрі і в прифільтровій зоні з врахуванням поправочного коефіцієнту K_c , який залежить від типу та кількості вибраного реагенту та розчиненого в ньому складу кольматанту, за формулою

$$P_p = 1,2K_c \cdot P_k \cdot \quad (1)$$

Значення коефіцієнту K_c для різного складу осаду кольматанта та прийнятого реагенту можна знайти в роботах [1, 5]. Так значення коефіцієнту K_c для реакцій між осадом кольматанту з залістистих сполук $Fe(OH)_3$ та різними реагентами приведені в таблиці 1 [5].

Таблиця 1

Значення коефіцієнту K_c для реакцій між $Fe(OH)_3$ і реагентом

Реагент	HCl				$NaHSO_4$		Na_2SO_4		$Na_3P_5O_{10}$	
Концентрація, %	5	10	20	27,5	5	7	5	7	5	8
Значення K_c	20,48	10,24	5,13	3,12	67,41	48,15	16,29	11,63	41,31	25,85

Кількість кольматанту P_k визначається за допустимою концентрацією накопичення пор осадом σ_3 *дон*, тобто при допустимому їх насиченні

$$a_{0\text{дон}} = \frac{\sigma_{3\text{дон}}}{n_0} \leq A \text{ в об'ємі пор матеріалу фільтру } W$$

$$W = 3,14(r_1^2 - r_c^2) \ln_0, \quad (2)$$

де r_1 – радіус фільтру з врахуванням обсіпки, r_c – радіус свердловини, l – довжина фільтру.

Для гравійної обсіпки початкова пористість складає $n_0 \approx 0,25 \dots 0,35$. Лабораторними дослідями на свердловинах при тривалій їх експлуатації в умовах повільної динаміці накопичення осаду гідроксидом і оксидами заліза було встановлено граничне насичення $A = \frac{\bar{\sigma}_{\text{max}}}{n_0} = 0,5 \dots 0,55$ в фільтрі, а в прифільтровій зоні $A = 0,25 \dots 0,30$, а маса відкладень за період експлуатації в сітчастому фільтрі складає $P_{k\text{max}} \approx 50$ кг [1, 2]. Знаючи початковий коефіцієнт фільтрації прифільтрової зони k_{om} та коефіцієнт фільтрації закольматованої зони k , відповідно насиченість пористого простору залістистим кольматантом $a_* = \frac{\bar{\sigma}_3}{n_0}$ складає

$$a_* = \frac{\ln \frac{k_0}{k}}{\alpha_0 + \ln \frac{k_0}{k}}, \quad (3)$$

а відповідно до відомої формули $k(r, t) = k_0 e^{-\alpha \sigma_3(r, t)}$ маємо:

$$a_* = \xi \ln \frac{k_0}{k}, \quad \xi = \frac{A}{\sigma_{\text{max}} \alpha}. \quad (4)$$

Залишкова насиченість пористого простору кольматантом після реакгентної обробки a_2 може бути обчислена при відомій зміні насиченості пористого простору Δa_* та коефіцієнтів фільтрації до і після обробки ($k=k_1$ і k_2) наступним чином:

$$a_2 = \frac{\xi \ln \frac{k_2}{k_1} - \Delta a_*}{\xi \ln \frac{k_2}{k_1}}. \quad (5)$$

При відомих a_2 та Δa_* , обчислюючи спочатку насиченість пористого простору перед обробкою $a_1 = a_* = a_2 + \Delta a_*$, можна потім обчислити початковий коефіцієнт фільтрації в момент здачі її в експлуатацію

$$k_0 = ke^{\frac{a_1}{\xi}}. \quad (6)$$

Розрахунки параметрів хімічної регенерації фільтрів по методу реакгентної ванни при $a \geq 0,05$ виконуються за формулами (7) і (8):

$$\frac{C_3}{C_m} = \frac{1 - \frac{C_k}{C_m} \bar{C}_k e^{-Nt}}{1 - \bar{C}_k e^{-Nt}} \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_{\max}} = 1 + \frac{n_0}{\sigma_{\max}} (C_3^0 - C_3), \quad (8)$$

$$\text{де } \bar{C}_k = \frac{C_3^0 - C_m}{C_3^0 - C_k},$$

$$N = -B\gamma \frac{An_0}{\sigma_{\max}} (C_k - C_m)$$

Якщо на початку в розчині реакгенту солі кольматанту відсутні ($C_3^0 = 0$), то маємо:

$$\frac{C_3}{C_m} = \frac{1 - e^{-Nt}}{1 - \alpha e^{-Nt}} \quad (9)$$

$$\frac{\sigma_3}{\sigma_{\max}} = 1 + \frac{n_0}{\sigma_{\max}} C_3, \quad (10)$$

$$\text{де } p = B\gamma \frac{\rho}{n_0} (1 - \alpha),$$

$$\alpha = \frac{n_0 C_m}{\rho} \eta,$$

$$\rho = \frac{a}{\gamma} + An_0,$$

а

при $a \leq 0,05$

Розрахункові залежності для визначення концентрацій $C_3(t)$ і $\sigma_3(t)$ будуть мати вигляд:

$$\frac{C_3(t) - C_3^0}{C_m - C_3^0} = 1 - e^{-pt}, \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_3(t)}{\sigma_{\max}} = 1 - \frac{n_c(C_m - C_3^0)}{\sigma_m} (1 - e^{-\varphi t}), \quad (12)$$

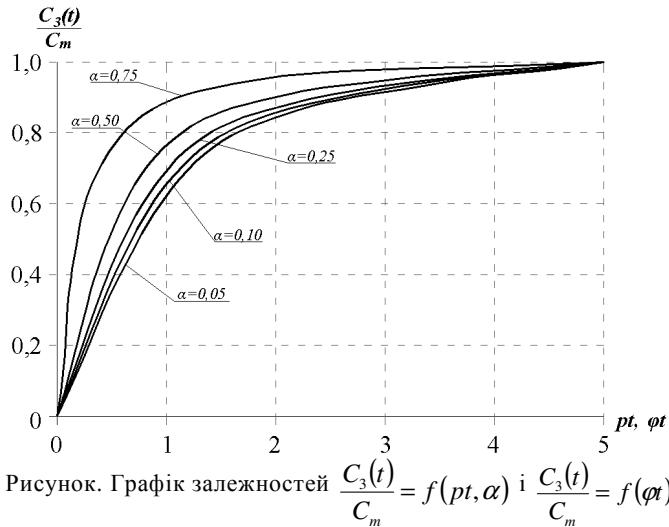
де $\varphi = \frac{B\gamma}{n_c} \rho_c$, $\rho_c = \frac{a}{\gamma} + \eta\sigma_{3c}$.

При $C_3^0 = 0$ розрахункові формули (11) і (12) набувають вигляду:

$$\frac{C_3(t)}{C_m} = 1 - e^{-\varphi t} \quad (13)$$

$$\frac{\sigma_3(t)}{\sigma_m} = 1 - \frac{n_c C_m}{\sigma_{\max}} (1 - e^{-\varphi t}). \quad (14)$$

При цьому можна скористатися графіком (рисунок), на якому наведені залежності $\frac{C_3(t)}{C_m} = f(\varphi t)$. Ці графіки характеризують ступінь розчинності кольматанту за часом. Оскільки у багатьох випадках параметр a буде $a < 0,05$, то як видно із графіків розрахунки за формулам (9) і (10) практично дають однакові результати, а параметр p в рівнянні (9) приблизно рівний параметру φ , тобто $\frac{p}{n_*} \approx \frac{\rho_c}{n_c}$, про що свідчать наведені нижче дослідні значення ρ і φ .



Оскільки процес розчинення закінчується при максимально можли-

вому насиченні розчину кольматантом $C_3 \approx C_m$, то в цьому випадку відповідно будемо мати

$$\sigma_{3k} = \sigma_m - n_c C_m, \quad (15)$$

де σ_{3k} – залишкова кількість кольматанту після обробки на першому етапі $\sigma_3 = \sigma_{3k}$. При необхідності продовження обробки (регенерації) на другому етапі. Розрахунки виконуються по наведеним залежностям при початковій умові $\sigma_3(0) = \sigma_{3k}$. Однак зазвичай процес регенерації на кожному етапі закінчується при $\sigma_3 > \sigma_{3k}$, тобто при насиченні розчину кольматантом $C_3 = C_0$.

Відповідно [1,2] в якості вихідних констант та коефіцієнтів рекомендується приймати $a=1$, $B=2D \frac{\omega_0}{d_0}$, $\gamma \approx 0,5...0,7$ при $\tilde{\sigma}_3 = 0,05...0,20$. В

результаті аналізу лабораторних і натурних експериментів отримано наступні значення окремих параметрів для фільтрів, закольматованих залістими сполуками переважно гідроксиду заліза $Fe(OH)_3$ в залежності від реагентів $p=(0,004...0,005)$ l/xv , $\varphi=(0,005...0,008)$ l/xv та максимальні концентрації розчиненого заліза $C_m=(700...1500)$ мг/л. Тут менші значення приймаються для реагенту HCl з концентрацією 15...25% та більші значення для реагенту $Na_2S_2O_4$ або $NaHSO_4$ концентраціями 5...8%. Слід відмітити, що для рекомендованого нами реагенту з фосфорорганічних комплексонів (реагент НТФ і ОЗДФ) значення параметру φ буде значно більшим і складе $\varphi=0,024$ xv^{-1} . Якщо регенерацію вказаними реагентами проводити при оптимальних температурах, то інтенсивність регенерації значно збільшиться. Так, для розчину соляної кислоти концентрацією 20...25% оптимальної температури нагріву є діапазон температур 50...60° С; для розчину сульфамінової кислоти $NH_2SO_3 \cdot H$ концентрацією 7...10%) оптимальний діапазон температури 90...100°С; для розчину бісульфату натрію $NaHSO_4 \cdot H_2O$ концентрацією 5...7% оптимальною є температура в діапазоні 60...70° С; для розчину солянокислого гідрозіну $N_2H_4 \cdot 2HCl$ концентрацією 8... 10%» оптимальна температура буде 60...80° С; для розчину дитіоніту натрію NaS_2O_2 концентрацією 5...12% оптимальна температура становить 15...18° С. Технологічні способи забезпечення і підтримки оптимальної температури і хімічні речовини, що застосовуються при цьому, наведені вище, а також описані в роботах [1, 2, 9]. При проведенні регенерації при оптимальних температурах параметр φ значно збільшується і відповідно [1, 2, 3, 9] становитиме $\varphi=(0,055...0,067)$ xv^{-1} . Таким чином, якщо прийняти, наприклад,

$$n_0 = 0,4, \quad An_0 = 0,2, \quad \alpha < 0,05, \quad n_* = n_0 - \frac{An_0}{2} = 0,3, \quad \gamma = 0,6, \quad p = 0,006,$$

тоді отримаємо $B\gamma = \frac{pn_*}{\rho} = 0,001 \text{ хв.}^{-1}$. Для визначення параметру B можна скористатися наступними рекомендаціями

$$B = 2D \frac{\omega_0}{d_0}, \quad \frac{K}{K_0} = \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \left(\frac{n}{n_0} \right), \quad \frac{\omega}{\omega_0} = (1 + \alpha_0 \tilde{\sigma}_3)^{2/3}, \quad (16)$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{1 - n_0},$$

де D – коефіцієнт молекулярної дифузії, рекомендації по визначенню якого залежно від форми та діаметру часток d приведені в роботах [1, 4, 9].

Якщо підвищення температури для більшості названих реагентів істотно впливає на інтенсивність розчинення, тоді запропонований нами реагент відмінно від інших реагентів дає ефективні результати в діапазоні температури 8...20° С та її подальше зростання незначно впливає на процес розчинення.

Час повної обробки свердловини комплексним реагентом (комплекс НТФ та ОЕДФ) складає 1,5...2 години при тривалості одного циклу регенерації 10... 15 хв. При цьому ступінь розчинення найбільш важкорозчинних осадів кольматанта залізистих осадів складає більше 75% [4, 8].

При розрахунках технологічних характеристик циклічної регенерації свердловин в якості вихідних параметрів являються коефіцієнт стехіометрії ϵ та узагальнена константа швидкості реакції β . Відомо, що коефіцієнт ϵ приймається на основі складених для кожного реагенту та кольматуючого утворення рівнянь стехіометричного балансу та хімічних реакцій. Такі рівняння для кожного з зазначених вище реагентів, що описують хімічний механізм розчинення ними залізистих сполук, представлені в літературі [6]. Оскільки коефіцієнт ϵ фактично визначає кількість реагенту, що реагує з одиничною кількістю кольматуючого утворення, тоді для його надходження можна скористатися також формулою (1). Що стосується параметру β , то деякі рекомендації по його визначенню приведені в роботах [2, 4]. Зокрема відомо, що

$$\beta = K\omega, \quad K = K_0 \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right), \quad (17)$$

де K – константа швидкості реакції, K_0 – константа швидкості розчинення при нормальних умовах, T – абсолютна температура, R – газова стала, ΔH – ентальпія реакції.

Деякі числові значення ΔH та K_0 для умов розчинення залізистих сполук приведені в роботі [4]. Однак надалі необхідні проведення спеціальних досліджень для визначення параметру β .

Таким чином, запропоновані методи розрахунку і необхідна вихідна інформація для їх проведення дозволяють визначити необхідні параметри для різних способів регенерації свердловин, а також дозволяють оцінити вплив різних факторів на процеси регенерації. Зокрема, встановлено, що вплив процесу молекулярної дифузії на зміну концентрації солей в реагенті в присвердловинній зоні буде незначним і для технологічних цілей ним можна знехтувати. Детальне вивчення явища газліфту також дозволить отримати більш чіткі уявлення для поглинання процесу декольматації свердловин, що дозволяє розглядати даний процес більш прогнозованим і керованим. Більш детально аналіз результатів розрахунку процесів регенерації способом реагентної ванни наведені в нашій роботі [10].

1. Гаврилко В. М. Фильтры буровых скважин / В. М. Гаврилко, В. С. Алексеев. – М. : Недра, 1985. – 334 с. **2.** Алексеев В. С., Гребенников В. Т. Восстановление дебита водозаборных скважин / В. С. Алексеев, В. Т. Гребенников. – М. : Агропромиздат, 1987. – 239 с. **3.** Алексеев В. С. Рекомендации по восстановлению производительности скважин реагентными методами / В. С. Алексеев, В. М. Гаврилко, В. Т. Гребенников. – М. : ВНИИ ВОДГЕО, 1975. – 96 с. **4.** Тугай А. М. Продуктивність водозабірних свердловин в умовах кольматажу / Тугай А. М., Олійник О. Я., Тугай Я. А. – Харків : ХНАМГ, 2004. – 240 с. **5.** Тугай А. М. Эксплуатация и ремонт систем артезианского водоснабжения / А. М. Тугай, И. Т. Прокопчук. – К. : Будивельник, 1988. – 176 с. **6.** Рекомендации по импульсным методам восстановления производительности скважин на воду / В. С. Алексеев, Н. И. Богданов, В. Т. Гребенников и др. – М. : ВНИИ ВОДГЕО, 1979. – С. 7. **7.** Тугай А. М. Кольматаж фільтрів і при фільтрових зон водозабірних свердловин та методи їх регенерації / А. М. Тугай, Я. А. Тугай // Будівництво України. – К. : ВП “Гранма”, 2002. – № 5. – С. 27-31. **8.** Тугай А. М. Експериментальні дослідження відновлення дебіту свердловин регенерацією фільтрів з використанням комплексів селективної дії / А. М. Тугай // Коммунальное хозяйство городов. – К. : Техніка, 2001. – № 33. – С.133-138. **9.** Десятирик Р. В. Вплив температурного фактору на процес декольматації свердловин // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки / Р. В. Десятирик. – 2005. – Вип. 5. – С. 33-46. **10.** Тугай А. М. Розробка математичної моделі регенерації свердловин методом реагентної ванни / А. М. Тугай, Р. В. Десятирик // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2005. – Вип. 4. – С. 4-17.

Рецензент: д.т.н., професор Орлов В. О. (НУВГП)