

Згідно з прогнозом статистики України, до 2014 р. збережеться стабільний попит на аналітиків комп'ютерних систем та баз даних, а також інженерів комп'ютерного програмування.

Задача України сьогодні – приєднатися до розвинених країн світу в цьому питанні. В Національну програму інформатизації необхідно включити проекти, спрямовані на вирішення проблем інформатизації як вищої, так і шкільної та довузівської освіти. Це стане фундаментом і прискорить формування фахівців як розробників, так і користувачів інформаційних технологій, рівень кваліфікації яких відповідає потребам інформаційного суспільства.

1. Про туризм: Закон України №1282-5 від 18 листопада 2003 р.
2. Ванштейн Г. Интернет как фактор общественных трансформаций // МЭ и МО. – 2002. – № 7. – С. 17.
3. Гайдук Д. Электронный вариант директ мейл // Бизнес-информ. – 2003. – № 20. – С. 54-57.
4. Плещач В.Л., Затоначка Т.Г. Електронна комерція. – К.: Знання, 2007. – 535 с.

*Отримано 14.05.2012*

УДК 628.112.001.8

Я.А.ТУГАЙ, канд. техн. наук

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

## **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СВЕРДЛОВИН РОЗЧИНАМИ РЕАГЕНТІВ**

Аналізуються методи декольматажу фільтрів при відновленні продуктивності водозабірних свердловин. Розглянуто процеси поширення реагентів у закольматованих зонах (фільтр і прифільтрова зона), процеси взаємодії реагентів з частками кольматанту. Дана оцінка ефективності різних заходів по відновленню дебіту свердловин.

Анализируются методы декольматажа фильтров при восстановлении производительности водозаборных скважин. Рассмотрены процессы распространения реагентов в закольматованные пространства (фильтр и прифильтровая зона), процессы взаимодействия реагентов с частицами кольматанта. Дана оценка эффективности различных мероприятий по восстановлению дебита скважин.

The analysis of methods for remove of filter colmatage at recorerly process of water is dicribed. The process for penetration of reagents into clogged space(filter and filtrated zone ) and interaction reagents with clogged particles considered. The assesment of efficiency of various methods for recovery of wells is given.

*Ключові слова:* регенерація свердловин, декольматація фільтрів, кольматуєчі утворення, розчини реагентів, сполуки заліза.

Вилучення кольматуєчих утворень з пористого середовища (фільтра і прифільтрової зони) є основною задачею регенерації свердловин. Тому, головним напрямком досліджень було вивчення кінетики

декольматації фільтрів і прифільтрових зон свердловин і підбора найбільш ефективного хімічного реагенту залежно від складу переважно хімічного кольматанта.

Питання вибору і кількості реагенту, поширення реагентів у закольматованих середовищах від місця подачі розчину, процеси взаємодії його з частками кольматанта (розчинення осаду), перетворення і трансформація часток кольматанта і інгредієнта - реагенту, оцінка ефективності проведених заходів щодо відновлення продуктивності дебіту свердловин, тобто розгляд усього блоку механізмів процесу "кольматант - розчин реагенту", на думку багатьох дослідників доцільно вивчати з позицій теорії фільтрації, масопереносу і масообміну з застосуванням різних моделей обмінної кінетики. Такий підхід був використаний багатьма фахівцями у нашій і закордонній практиці. Так однією з перших робіт у цьому напрямку [1] процес розчинення був проаналізований з позиції рівноважної кінетики. При цьому було прийнято, що на контакті реагенту з осадами останні миттєво розчиняються. У результаті цього питомий об'єм відкладень стрибком знижується з  $b_0$  до  $b_1$  (де  $b_1$  - нерозчинна частина осаду), а концентрація розчиненого кольматанта в реагенті зростає до  $C_m$  (де  $C_m$  - граничне насичення реагенту розчинним кольматантом). У такій постановці процес розчинення кольматанта при безупинній подачі реагенту в свердловину описується рівнянням

$$2\pi r \rho_{oc} (b_0 - b_1) \frac{d_r}{d_t} = Q_p C_m, \quad (1)$$

де  $l$  - довжина фільтра свердловини;  $\rho_{oc}$  - щільність закольматованих відкладень;  $Q_p$  - витрата реагенту.

В результаті рішення цього рівняння одержимо:

$$lR(t) = \sqrt{r_c^2 + \frac{Q_p C_m t}{\pi l_\phi (b_0 - b_1) \rho_{oc}}}, \quad (2)$$

де  $R(t)$  - радіус кільцевої зони поблизу свердловини, в якій досягнута величина  $b_1$ ;  $C_m$  - максимальна концентрація кольматанту в реагенті.

Якщо відомий радіус зони кольматанта, то з формули (2) можна одержати час закінчення обробки  $t_0$

$$t_0 = \frac{\pi (R_0^2 - r_c^2) (b_0 - b_1) l_\phi \rho_{oc}}{Q_p C_m}, \quad (3)$$

де  $R_0$  - радіус зони кольматажу.

Доза (об'єм) реагенту, необхідна для повного вилучення кольма-

танта, визначається з виразу

$$W_p = Q_p t_0. \quad (4)$$

Однак моделі рівноважної кінетики, у яких швидкість розчинення кольматанта прагне до нескінченності, не одержали експериментального підтвердження. Дослідами встановлено, що питомий об'єм відкладень (кольматанта) зменшується в часі і збільшується концентрація часток кольматанта в реагенті, що цілком відповідає фізичним предстваленням. Це спостерігалось при дослідженні різних реагентів. Тому для рішення поставленої задачі надалі ці процеси вивчалися на основі моделей нерівноважної кінетики. Оскільки процес розчинення розглядається як гетерогенна хімічна реакція, то в таких моделях варто враховувати два граничних випадки: дифузійний і хімічний. У першому випадку процес лімітується малими швидкостями дифузії, а в другому – швидкостями реакцій взаємодії реагенту із солями кольматанта. У більшості випадків процес розчинення солей (осадів) підкоряється законам дифузійної необоротної кінетики і може бути описаний рівнянням [1-4]

$$\frac{\partial b}{\partial t} = \frac{\omega \beta}{\rho_{oc}} (C_m - C). \quad (5)$$

З рівняння випливає, що швидкість розчинення пропорційна питомій поверхні пористого середовища  $\omega$ , константі швидкості розчинення  $\beta$  і різниці концентрацій кольматанта в реагенті  $C_m - C$  і обернено пропорційна щільності кольматанта, що утворився  $\rho_{oc}$ . Таким чином, чим більші будуть значення  $\omega$ ,  $\beta$  та  $\Delta C = C_m - C$ , тим інтенсивніше буде протікати процес розчинення осадів, а зі збільшенням  $\rho_{oc}$  швидкість розчинення буде зменшуватися.

Величина  $\beta$  (коефіцієнт масопередачі) визначає швидкість підведення реагенту до поверхні (чи швидкість відводу продуктів реакції від поверхні в об'ємі реагентів) і залежить від умов, у яких протікає процес. Функціональна залежність  $\beta$  може бути встановлена з критеріальних рівнянь, що встановлюють зв'язок між безрозмірними критеріями Рейнольдса  $Re$ , Прандля  $Pr$  і Нуссельта  $Nu$ , отриманих стосовно до конкретних технологічних умов процесу розчинення. В роботах [1-3] наведено конкретні рекомендації щодо визначення параметрів  $\omega$ ,  $\beta$  і  $\rho_{oc}$ , показано умови і межі застосування цієї дифузійної моделі. Згодом ця модель стала відома як модель реагентної ванни і розроблена для умов, при яких переміщення реагенту щодо поверхні розчинення

ня практично не відбувається, без належного наукового обґрунтування була рекомендована для технологій циклічної реагентної обробки, коли створюються умови для інтенсивного перемішування реагенту і його просування через закольматоване пористе середовище. У цьому випадку величина  $\beta$  зростає. В роботі [1] приведені деякі рекомендації з визначення константи  $\beta$  для різних методів обробки свердловин: реагентної ванни, циклічне задавлювання реагенту, віброреагентна обробка, електроудара (ЕГУ) у реагенті за рахунок застосування високовольтних розрядів. Відмітимо, що дві останні технології впливу на присвердловинну зону приводять не тільки до збільшення константи  $\beta$ , але і викликають руйнування і диспергацію.

При такому підході вважається, що складні процеси і механізми, що мають місце при інших більш ефективних методах обробки свердловин такі наприклад, як: кінетика поширення реагенту, винос розчиненого кольматанта, динаміка взаємодії реагенту з солями кольматанта й ін. приблизно можуть бути враховані в простій моделі одним узгальненим коефіцієнтом масопередачі  $\beta$ .

У процесі регенерації свердловин звичайно можна бачити такі характерні етапи: 1) заливання реагенту в свердловину чи готування розчину реагенту безпосередньо в свердловині; 2) проникнення реагенту в присвердловинну зону; 3) розчинення кольматанта в присвердловинну зону; 4) винос розчиненого кольматанта. Надалі для можливої реалізації цієї моделі вважається, що тривалість перших двох і останнього етапів набагато менше, ніж час самої обробки, що цілком припустимо і прийнятно для обробки по методу реагентної ванни. Що стосується використання цієї моделі для обґрунтування інших методів обробки (циклічного, віброреагентного і ЕГУ), то можливість її застосування в роботі [1] пояснюється тим, що хоча всі названі етапи в цих методах і будуть у часі сумірні, швидкість, розчинення кольматанта на третьому етапі умовно вважається набагато вище, ніж на перших двох. Щоб одержати замкнуту систему в якості другого приймається рівняння, що описує матеріальний баланс речовин в оброблюваній присвердловинній зоні, у вигляді:

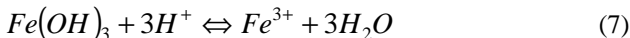
$$\frac{\partial(nC)}{\partial t} + \rho_{oc} \frac{\partial b}{\partial t} = 0, \quad (6)$$

де  $n = n_0 - b(t)$ ;  $C$  – масова концентрація солей кольматанта, розчинених у реагенті.

По своїй суті приведена модель регенерації найбільше підходить для опису реагентної обробки свердловин по методу реагентної ванни.

Проте шляхом істотного корегування коефіцієнта швидкості розчинення  $\beta$  чи  $\gamma$  вона без належного обґрунтування рекомендується для застосування для інших методів обробки свердловин, в яких крім кінетики розчинення потрібно враховувати дисперсно-конвективний перенос реагенту і продуктів реакції. Тому для кожного методу обробки свердловини він повинен бути встановлений дослідним шляхом і може бути рекомендований для тих умов, при яких проведено його визначення. Тому подальше удосконалення моделей і методів розрахунку регенерації насамперед визначається особливостями застосованої технології обробки свердловин.

Для обліку обмінних процесів при регенерації в роботах [4, 5] розглянута спрощена модель розчинення залізного кольматанта соляною кислотою, яка зводиться до наступного. Якщо не враховувати утворення комплексів заліза з хлором і вважати іон останньою нейтральною домішкою з деяким наближенням, реакцію розчинення осаду кольматанта, в основному представленого гідроксидом заліза, можна записати у вигляді:



і приймають, що вона відбувається швидко й описується наступним рівнянням рівноваги

$$C_F^* = k_F C_H, \quad (8)$$

де  $C_F^*$  і  $C_H^*$  – рівноважні концентрації заліза і водню;  $k$  – константа рівноваги. При таких припущеннях математична модель у фазі прямого руху і розчинення заліза кольматанта розглядається як двокомпонентна й описується з урахуванням прийнятого рівняння рівноваги системою з двох фактично незалежних між собою рівнянь:

$$D \frac{\partial^2 C_H}{\partial x^2} - V \frac{\partial C_H}{\partial x} - \varepsilon \beta_H (C_H - C_H^*) = n_0 \frac{\partial C_H}{\partial t}; \quad (9)$$

$$D \frac{\partial^2 C_F}{\partial x^2} - V \frac{\partial C_F}{\partial x} - \varepsilon \beta_F (C_F - C_F^*) = n_0 \frac{\partial C_F}{\partial t}; \quad (10)$$

$$C_F^* = k_{F0} C_H^*; \quad k_{F0} = k_F (C_{H0}^*)^2. \quad (11)$$

Тут  $C_H$  и  $C_F$  – поточні концентрації реагенту ( $H^+$ ) і продукту ( $Fe^{3+}$ );  $\beta_H$  і  $\beta_F$  – коефіцієнти масопередачі;  $\varepsilon$  – коефіцієнт стехіометрії.

Без належної оцінки рішення цих рівнянь отримано для випадку  $D=0$ , тобто при нехтуванні дисперсійним переносом, при  $x \leq x_p = Vt / n_0$  при граничних умовах  $C_H(x,0) = C_F(x,0) = C_F(0,t) = 0$ ,

$C_H(0,t) = C_{H0}$ , тобто для схеми безупинного введення реагенту з постійною концентрацією  $C_{H0}$  на границі введення. Рівняння (9) і (10) були приблизно вирішені для імпульсного введення реагенту при спрощених граничних умовах:

$$C_H(x,0) = C_H(\infty,t) = 0, \quad C_H(0,t) = \frac{M}{Q} \delta(t),$$

$$C_F(x,0) = C_F(\infty,e) = C_F(0,t) = 0,$$

де  $M$  – маса реагенту, що вводиться в шар з витратою  $Q$ ;  $\delta(t)$  – дельта-функція Дирака.

Наближене рішення цієї задачі отримано у вигляді:

$$\bar{C}_H = \frac{C_H(x,t)}{C_{H0}} = \tilde{C}_H(x_f)F(x,t), \quad (12)$$

тобто у вигляді добутку концентрацій на фронті поршневого витиснення  $x = \frac{Vt}{n_0}$ , які визначаються з попереднього їх рішення при  $D=0$ ,

на розсіючу функцію  $F$ , що розсіює, що є функцією миттєвого джерела одиничної потужності.

Можна вважати, що ця функція описує характер зміни концентрації хлор-іона як нейтрального компонента в розглянутій системі [4, 5].

Для оцінки зниження концентрації реагенту за рахунок гідродинамічної дисперсії в умовах знакозмінної конвекції розглядалася спрощена радіальна задача при деякому усередненому значенні коефіцієнта  $\lambda$

$$\frac{\lambda q_i}{r} \frac{\partial^2 C_i}{\partial r^2} \pm \frac{q_i}{r} \frac{\partial^2 C_i}{\partial r} = n \frac{\partial C_i}{\partial t}, \quad i = 1, 2. \quad (13)$$

Витрати свердловин при закачці  $q_1$  і відкачці  $q_2$  можуть бути різними. Для попередніх оцінок прийнята рівноважна система масообміну  $(\beta_H, \beta_F, \infty)$ , яка представлена ефективною пористістю  $n = n_0(1 + 1/\alpha)$ , де  $\alpha$  – коефіцієнт розподілу.

Отримано окремі рішення рівняння (5) у вигляді джерела при відповідному нормуванні для фази відкачки. Однак у цьому рішенні не показана динаміка зміни в часі й у об'ємі фільтра, кількості введеного реагенту у фазах закачування і відкачування, при вивченні їх у єдиному циклі "закачування - відкачування". При цьому не показана спільна динаміка взаємодії переносу реагенту і продуктів реакції в циклі "зака-

чування - відкачування".

Крім того, істотним недоліком запропонованої вище моделі є прийняття в основній моделі (9)-(11) рівноважної кінетики масообміну між концентраціями реагенту й осаду, що зовсім не відповідає реальній картині розчинення. Звичайно прийняття цього допущення дозволяє істотно спростити рішення системи рівнянь (9)-(11) вирішувати їх незалежно одне від одного. В реальних умовах механізм розчинення буде описуватися невірною кінетикою масообміну. В цьому випадку система рівнянь буде зв'язаною і необхідно їх вирішувати спільно.

Наведені деякі апробації приведених залежностей по визначенню параметрів регенерації не дають можливості одержати їхню змістовну оцінку, тому що необхідні вихідні параметри також визначалися на основі цих досліджень, і тому інтегрально враховували вплив різних факторів і суттєві недоліки допущені і при реалізації запропонованих моделей. У зв'язку з викладеним, подальше удосконалення моделей і методів розрахунку хімічної реакції присвердловинної зони повинно здійснюватися і враховувати комплексний вплив зазначених факторів, фізико-хімічних і гідродинамічних особливостей протікання цих процесів у різних умовах і на їх базі створення більш надійних інженерних методів розрахунку хімічної регенерації фільтрів, закольматованих сполуками заліза.

1. Тугай А.М. Існуючі методи відновлення продуктивності свердловин / А.М. Тугай // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.93. – К.: Техніка, 2010. – С.97-101. – (Серия «Технические науки и архитектура»).

2. Олійник О.Я. Моделювання фільтрування неоднорідної суспензії з утворенням шару осаду / О.Я. Олійник, С.М. Сорокін // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: Наук.-техн. зб. Вип.6. – К., 2006. – С.34-38.

3. Олійник О.Я. Фільтраційний розрахунок очисних фільтрів в умовах утворення осаду на його поверхні / О.Я. Олійник, С.В. Величко // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: Наук.-техн. зб. Вип.8. – К., 2008. – С.42-46.

4. Тугай А.М. Кольматаж фільтрів і прифільтрових зон водозабірних свердловин та методи їх регенерації / А.М. Тугай, Я.А. Тугай // Будівництво України. – 2002. – №5. – С.27-31.

5. Тугай А.М. Продуктивність водозабірних свердловин в умовах кольматажу / А.М. Тугай, О.Я. Олійник, Я.А. Тугай. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 240 с.

*Отримано 22.02.2012*