

ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ РОБОТИ ВОДОНАГНІТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН

О.О.Акульшин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел./факс (03422) 24214,
e-mail: public@ifdtung.if.ua

Описана методика определения оптимального межремонтного периода работы водонагнетательных скважин в условиях загрязнения призабойной зоны пласта продуктами коррозии труб песчано-илистыми частицами при некачественной подготовке воды.

In this article is informed about the methods of determination of the optimal period between repairs of water-collecting boring wells under the conditions of surrounding areas' pollution with the products of pipe corrosion and pieces of sand and clay when water isn't prepared qualitatively.

Для забезпечення належної експлуатації водонагнітальних свердловин потрібно вести контроль за якістю води, що нагнітається, і дотриманням режимних параметрів по тиску нагнітання. Недотримання цих параметрів може призводити до втрати приймальності води свердловинами. Найчастіше причиною втрати приймальності свердловин є недостатнє очищення води від механічних домішок у вигляді мулу або твердих часток корозії, які змиваються з внутрішньої поверхні шлейфів і НКТ. І хоча на нафтопромислах проводиться чимала робота з покращання якості очищення води і попередження корозії металу труб, проте цей вид ускладнень у свердловинах є основним.

Практикою експлуатації водонагнітальних свердловин відпрацьовано чимало технологічних прийомів відновлення і підтримки приймальності свердловин. Найбільш просто це питання вирішується підвищенням тиску нагнітання до створення на вибої свердловини тиску, близького до тиску розриву пласта. У цьому випадку в пласті розкриваються тріщини, і приймальність свердловини може багаторазово зростати. Механічні домішки, що потрапляють при цьому в тріщини, сприяють певною мірою вирівнюванню охоплення заводнення пласта по площі і розрізу.

Таким чином, якщо на нафтопромислі є можливість підвищення тиску нагнітання, наявні наоси на високий тиск, а характеристика свердловин і шлейфів дозволяє здійснити їхню експлуатацію при високих тисках, то для збереження приймальності свердловин доцільно використати технологію підвищення тиску нагнітання.

Іншим, найбільш часто застосовуваним, методом відновлення приймальності свердловин є їхній дренаж. При дренажі досягається очищення привибійної зони свердловини від кольматуючих частинок. Виконується дренаж при

різкій зміні тиску на гирлі свердловини і на пряму води, що нагнітається, у затрубний простір свердловини з відводом рідини через НКТ* у спеціальний резервуар для відстою або, якщо для заводнення використовується вода без додавання хімреагентів, то скидання відпрацьованої дренажної води можна провести безпосередньо в амбар чи у море (для морських свердловин). Багаторазовим переключенням роботи свердловини на закачування води і її скиданням через НКТ досягається очищення привибійної зони. Приплив рідини із пласта в свердловину в даному випадку відбувається за рахунок різниці тисків у "конусі репресії" і вибійному тиску.

Для відновлення приймальності свердловин можуть застосовуватись солянокислотні або глинокислотні обробки, що часто виконуються у комплексі з дренажем свердловини. При цьому нерідко використовується технологія, коли після кислотної обробки продукти реакції на поверхню не витягаються, а заганняються у віддалену зону пласта. [1]

Досвід проведення подібних робіт свідчить, що при проведенні повторних і подальших кислотних обробок на одній і тій же свердловині необхідно робити збільшення обсягів кислотного розчину в два і більше разів. І закачку продуктів реакції в глибину пласта варто робити при великих обсягах рідини і більш високому тиску.

Зі сказаного вище випливає, що періодичне проведення у свердловинах робіт з відновлення їх приймальності є невід'ємним елементом технології нормальної експлуатації. На рис. 1 наведено типовий графік зміни приймальності водонагнітальних свердловин в часі.

Осмислюючи графік, зображений на рис. 1, приходимо до таких міркувань. Якщо тривалість ремонту свердловини – τ , кількість рідини, що відкачується з пласта – V_i , то можна визначити, спираючись на практику здійснення

* Зауважимо, що експлуатувати водонагнітальні свердловини рекомендується при обов'язковому спуску в них НКТ, а закачування води здійснюють через НКТ.

** При ухваленні рішення про скидання вод, що відходять (дренажних) у амбар чи у море (для морських свердловин), необхідно переконатися, що в свердловині відсутня нафта. При здійсненні закачування води в багатопластовий об'єкт за схемою внутріконтурного заводнення, що включають пласти або пропластки з низькою проникністю, може виявитися, що при недостатньо високих тисках нагнітання з низькопроникних пластів за рахунок капілярного просочення в свердловину через затрубний простір буде надходити нафта. А за рахунок гравітаційного поділу нафти і води може виявитися, що затрубний простір цілком заповнений нафтою. У цьому випадку до проведення дренажних робіт варто забезпечити збір нафти.

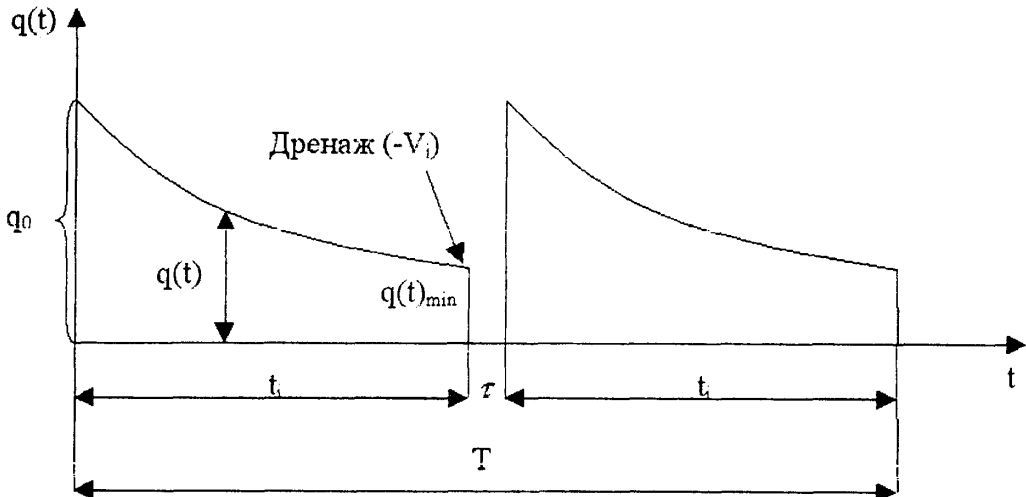


Рисунок 1 — Динаміка зміни приймальності водонагнітальної свердловини: q_0 , $q(t)$, $q(t)_{\min}$ — відповідно початкова, поточна і мінімальна приймальність

цих робіт на конкретному родовищі, тривалість міжремонтного періоду — t_i і мінімальну приймальності, при досягненні якої необхідно проводити ремонт, а також через скільки ремонтів за плановий час необхідно виконати додаткові дослідження. Безпосередньо з графіка отримаємо, що

$$T = n_i \cdot (t_i + \tau), \quad (1)$$

де n_i — кількість ремонтів.

З (1) випливає

$$t_i = \frac{T - n_i \cdot \tau}{n_i}. \quad (2)$$

Математичним описом спадних кривих, характерних для випадку нагнітання води, є залежності [2]

$$q(t) = a \cdot t^{-b}; \quad (3)$$

$$q(t) = q_0 \cdot e^{-c \cdot t}, \quad (4)$$

де a , b , c — постійні коефіцієнти, зумовлені обробкою фактичних результатів. Коефіцієнти a і b визначаються із системи рівнянь

$$\begin{cases} \sum \ln q(t) = n \cdot \lg a - b \cdot \sum \lg t, \\ \sum \ln q(t) \cdot \lg t = \lg a \cdot \sum \lg t - b \cdot \sum (\lg t)^2 \end{cases} \quad (5)$$

де n — число рядків у вибірці за t . Суми у системі рівнянь (5) визначають за статистичними таблицями.

Визначивши значення коефіцієнтів a і b , за формулою (5) можна підрахувати теоретичне значення закачування, а порівнянням теоретичного і фактичного закачувань води встановлюється збіжність результатів.

Про ступінь збіжності складеного рівняння і фактичних результатів судять за коефіцієнтом кореляції, який визначають за формулою

$$r = \frac{\sum \lg q(t) \cdot \lg t - \lg t_{cp} \cdot \lg q(t_{cp})}{\sigma_t \cdot \sigma_{q(t)}}, \quad (6)$$

де σ_t і $\sigma_{q(t)}$ — середнє квадратичне відхилення.

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum (\lg t - \lg t_{cp})^2}{n}}; \quad (7)$$

$$\sigma_{q(t)} = \sqrt{\frac{\sum [\lg q(t) - \lg q(t_{cp})]^2}{n}}, \quad (8)$$

де $\lg t_{cp}$ і $\lg q(t_{cp})$ — середнє арифметичне з усіх значень логарифмів t і $q(t)$. Чим ближче коефіцієнт кореляції до одиниці, тим точніше теоретична формула відповідає фактичній зміні закачування води в часі. Варто зазначити, що для спадних кривих коефіцієнт кореляції має знак (-).

Якщо для математичного опису фактичної кривої зміни закачування в часі використовується формула (4), то постійна c може бути визначена в такий спосіб: помноживши обидві частини формули (4) на dt і зробивши інтегрування, одержимо

$$\sum q(t) = \frac{1}{c} \cdot [q_0 - q(t)]. \quad (9)$$

З формули (9) випливає, що між накопиченим і поточним закачуванням води повинна існувати лінійна залежність. Побудувавши в системі координат $\sum q(t) - q(t)$ криву (див. рис 2), за кутом нахилу графіка до осі $q(t)$ визначимо коефіцієнт c .

З рис. 2 випливає, що

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{c} = \frac{\sum q(t)}{q_0}, \quad (10)$$

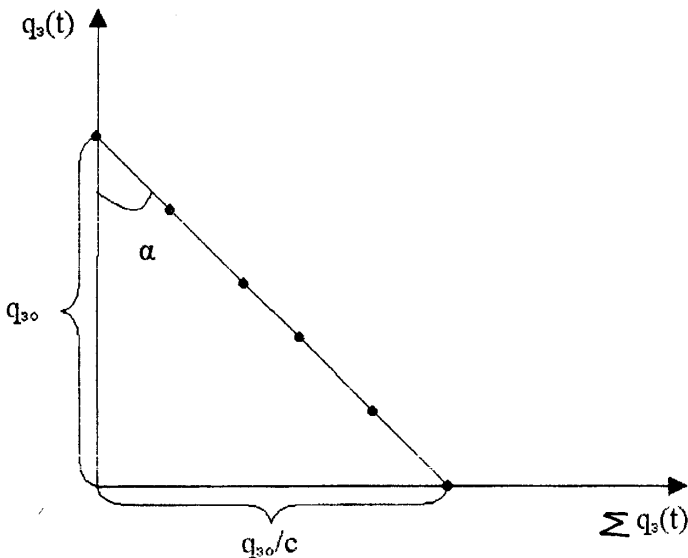


Рисунок 2 — Залежність між поточною і накопиченою закачкою води за міжремонтний період

звідки

$$c = \frac{q_0}{\sum q(t)} \quad (11)$$

Показавши спосіб підбору теоретичної кривої до фактичних результатів зміни закачування в часі, ми можемо повернутися до встановлення оптимального режиму експлуатації водонагнітальних свердловин.

Умовою оптимізації для одиничної свердловини може стати досягнення максимального закачування за плановий період T .

Так, якщо для обробки фактичних результатів використовують формулу (3), то кількість закачаної води за плановий час визначиться з залежності

$$\sum q(t) = n_i \int a \cdot t_i^{-b} dt - n_i \cdot V_i \quad (12)$$

Після інтегрування одержимо

$$\sum q(t) = n_i \cdot a \cdot \frac{1}{1-b} \cdot t_i^{1-b} - n_i \cdot V_i \quad (13)$$

Безпосередньо з (13) одержати максимальне значення накопиченого закачування за плановий період неможливо, тому що $\sum q(t)$ є функцією двох змінних t_i і n_i . Використовуючи формули (2) і (3), одержимо

$$\sum q(t) = n_i \cdot a \cdot \frac{1}{1-b} \cdot \left(\frac{T - n_i \cdot \tau}{n_i} \right) - n_i \cdot V_i \quad (14)$$

При отриманні формул (13) і (14) передбачалося, що приймальність водонагнітальних свердловин після ремонту, від ремонту до ремонту, не міняється.

За формулою (14) і фактичними результатами щодо тривалості ремонту (τ) і кількості води, що відкачується з покладу (V_i), а також за попередньо розрахованими a і b можемо,

використовуючи метод послідовних наближень, визначити зміну сумарного закачування води від кількості ремонтів (n_i). Це завдання легко і наочно вирішується побудовою графіка, на якому чітко простежується поява максимуму. Максимуму накопиченого закачування відповідає оптимальне число ремонтів. Позначимо це число n_{iopt} .

На рис. 3 наведений графік такої залежності для свердловин родовища Піщаний-море, запозиченої з роботи Ю.А. Балакірева [3]. Визначивши з використанням графіка на рис. 3 оптимальне число ремонтів, можемо з формули (2) розрахувати міжремонтний період роботи свердловини

$$t_{onm} = \frac{T - n_{ionm} \cdot \tau}{n_{ionm}}$$

Знаючи t_{onm} , за рис. 3 або формулою (3) можна визначити максимальне закачування води, по досягненні якого в свердловині необхідно провести ремонтні роботи з відновлення приймальності.

Якщо для розв'язання задачі прогнозу в роботі водонагнітальної свердловини використовується формула (4), то накопичене закачування води з урахуванням добору рідини при проведенні ремонтних робіт (дренаж) визначиться за формулою (5), що отримана ґрунтуючись на формулі (9)

$$\sum q_i = \frac{q_0 \cdot n_i}{c} \cdot \left[1 - e^{-\frac{c(T-n_i\tau)}{n_i}} \right] - n_i \cdot V_i \quad (15)$$

Зауважимо, що формула (15) збігається з формулою (VII.35, роботи [3]).

Показавши метод встановлення оптимального режиму окремої свердловини, можна поширити його на всі свердловини покладу нафти. Сумарне закачування води для покладу нафти буде визначатися за формулою

$$\sum_{i=1}^N q(t_i) = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{q_0 \cdot n_i}{c} \left[1 - e^{-\frac{c(T-n_i\tau)}{n_i}} \right] - n_i \cdot T \right\} \quad (16)$$

де N – число нагнітальних свердловин на покладі нафти.

На використання формули (16) можуть встановлюватися обмеження [3], що виникають з економіко-організаційних умов функціонування нафтопромислу. Так, може виявитися, що кількість бригад підземного ремонту, що здійснюють роботи з відновлення приймальності свердловин, недостатня для забезпечення планових робіт, а тому кількість ремонтів може регламентуватися, тобто

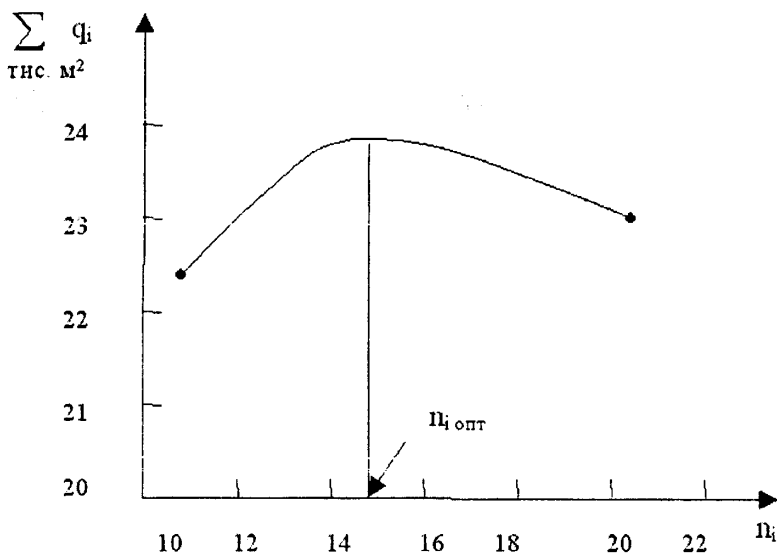


Рисунок 3 — Зміна накопиченої закачки від кількості нагнітальних свердловин

$$\sum_{i=1}^N n_i \leq M, \quad (17)$$

де M — кількість ремонтів, що можуть бути здійснені промислом у плановому періоді.

Якщо на нафтопромислі є обмеження на використання коштів, то це є причиною скорочення числа ремонтів, а тому при користуванні формулою (16) варто виходити з виконання умови

$$\sum_{i=1}^N c_i \cdot n_i \leq S, \quad (18)$$

де: c_i — собівартість проведення одного ремонту в свердловині;

S_i — сума коштів що виділяються на проведення ремонтних робіт у нагнітальних свердловинах у плановій калькуляції собівартості води, що нагнітається.

Варто зазначити, що, базуючись на згаданій методиці, може ставитися завдання встановлення мінімуму витрат на здійснення закачування води за умови, що плановий обсяг закачуваної води визначений проектом розробки або поточним аналізом стану розробки покладу нафти.

Постановка завдання і засіб її вирішення були підказані мені професором О.І.Акульшиним, за що виявляю йому вдячність.

Література

1. Яремийчук Р.С., Кочмар Ю.Д. Вскрытие продуктивных горизонтов и освоение скважин. — Л.: Вища школа, 1982.
2. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. — М.: Наука, 1967.
3. Зайцев Ю.В., Балакиров Ю.А. Технология и техника эксплуатации нефтяных и газовых скважин. — М.: Недра, 1989.

Зауваження до статті
д-ра геол.-мінерал. наук, професора
Гульки Н.Н.

При всій привабливості показаної методики встановлення режимів експлуатації водонагнітальних свердловин вона дає тільки загальні положення у встановленні технологічних режимів експлуатації свердловин. Ця методика не дає відповіді на питання, у яких свердловинах варто здійснювати заходи в першу чергу. Свердловини на покладі нафти, як правило, характеризуються нерівномірною приймальністю. Якщо ж за основу вирішення поставленої задачі взяти формулу (16), тобто виходити з умови досягнення максимального накачування, то може виникнути судження про корисність здійснення заходів підвищення приймальності свердловин, що характеризуються високими показниками закачування води, тому що на ці свердловини приходить найбільший приріст закачування води.

Такий підхід до вибору свердловин, не будучи підкріпленим оцінкою геологічних особливостей витіснення нафти із пласта на конкретній ділянці розробки покладу нафти, може виявитися помилковим і приведе до погіршення стану розробки пласта.

З викладеного випливає, що керуючись загальною концепцією встановлення режимів експлуатації водонагнітальних свердловин, що випливають з формул (15) і (16), і обмежень (7) і (8), не слід забувати про необхідність обґрунтування першочергових ремонтів у свердловинах через детальне докладне вивчення геолого-технічних передумов необхідності інтенсифікації процесу розробки конкретної ділянки покладу нафти.