

Література

1 Уголев В.С., Вахитов Г.Г., Мордухаев Х.М. и др. Обработка призабойной зоны скважин кремнефтористоводородной кислотой // Нефтяное хозяйство. – 1977. – № 4. – С. 44-47.

2 Южанинов П.М., Шалинов В.П., Вилисов В.И. Взаимодействие кремнефтористоводородной кислоты с терригенными породами // Нефтяное хозяйство. – 1984. – № 7. – С. 64-67.

3 Южанинов П.М., Якимов С.В., Вилисов В.И. Применение кремнефтористоводородной кислоты для обработок призабойной зоны скважин // Обз. инф. ВНИИОЭНГ, сер. Нефте-промышленное дело. – М., 1989. – Вып. 14. – 30 с.

4 Шалинов В.П., Южанинов П.М., Вилисов В.И. Обработка кремнефтористоводородной кислотой как метод снижения пластовых и поверхностных потерь нефти в Пермском Приуралье. – М.: ИГиРГИ, 1982. – С. 97-102.

УДК 622.276.6

ДЕЯКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СВЕРДЛОВИНАХ

¹Я.Б. Тарко, ²Я.Я. Тарко

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195, e-mail: jart_b@ukr.net

²НГВУ „Охтирканафтогаз” ВАТ „Укрнафта”, 42700, Сумська обл., м. Охтирка, вул. Київська, 119, e-mail: yarosl@mail.ru

Изложены особенности технологии повышения производительности скважин созданием на пласт высоких мгновенных депрессий и репрессий давления с использованием некоторых типов устройств. Обоснован ряд требований, которым должны удовлетворять скважины и продуктивные пласты при их выборе для данного вида воздействия.

The features of technology of the increase of wells' productivity by creation of high instantaneous depressions and repressions of pressure on the layer with the use of some types of devices have been given. The row of requirements to which the wells and productive layers must satisfy at their choice for this type of influence has been grounded.

Гідроімпульсні технології підвищення продуктивності свердловин із застосуванням устаткування УСМД є одними з найбільш перспективних з точки зору як ефективної дії на продуктивний пласт, так і відносної простоти процесу. Вони базуються на створенні високих миттєвих депресій та репресій тиску шляхом витіснення стисненим газом рідини з обладнаного пакером затрубного простору, стравлення у ньому надлишкового тиску та подальшим періодичним сполученням і роз'єднанням привибійної зони із затрубним та трубним просторами. Під дією високих миттєвих депресій тиску пластова рідина з великою швидкістю фільтрується в привибійній зоні, виносячи в свердловину продукти забруднення, а створення високих репресій тиску ударного типу призводить до відкриття тріщин у породі, різкої зміни напрямку руху рідини, що сприяє руйнуванню агрегатних структур кольматанту, полегшує його відривання від поверхні фільтраційних каналів та винесення із пласта.

За даними Е. Brieger під час миттєвого створення депресії, тобто за ударного навантаження виникають напруження та деформації в гірській породі, які удвічі перевищують такі ж за статичного навантаження, тому ефективність імпульсних технологій значно вища [7]. Про те, що найкраще очищає прифільтрову зону миттє-

вий приплив рідини вказують і J. Regalbuto, R. Riggs [12], що підтверджено лабораторними дослідженнями Р. Halleck [8]. М. Monacher, Ch. Morris, D. Hill, С. Branner пишуть, що ефективність очищення перфораційних отворів прямопропорційна величині перепаду тиску і затримка в цьому негативно впливає на відновлення проникності [11]. Перепад тиску, який створюється у свердловинах на родовищах США, встановлюється методом проб і помилок у межах від 14 до 35 МПа [9, 10].

Величини депресії $\Delta p_{\text{деп}}$ та репресії $\Delta p_{\text{реп}}$ тиску на привибійну зону пласта у момент створення першого циклу визначають за формулами

$$\Delta p_{\text{деп}} = p_{\text{пл}} - \rho_p g (H - h_{\text{рзп}}); \quad (1)$$

$$\Delta p_{\text{реп}} = \rho_p g (H - h_{\text{рт}}) + p_{\text{нкт}} - p_{\text{пл}}, \quad (2)$$

де: H , $h_{\text{рзп}}$, $h_{\text{рт}}$ – відповідно глибини залягання пласта та встановлення рівня рідини в затрубному та трубному просторах; ρ_p – густина свердловинної рідини; g – прискорення вільного падіння; $p_{\text{нкт}}$ – надлишковий тиск на гирлі в НКТ.

Подальша динаміка депресій, репресій та градієнтів тиску у привибійній зоні пласта визначається за методиками, описаними в роботі [4].

Тривалість дії депресії тиску залежить від часу вилучення фільтрату чи іншого кольматуючого матеріалу з пласта, швидкості поширення гідродинамічних хвиль та відновлення тиску, причому для тріщинуватих пластів враховується характерний час запізнення дії імпульсів тиску.

Технологічний процес підвищення продуктивності свердловин із використанням обладнання УСМД включає в себе такі основні етапи.

1. Вибір свердловин для проведення робіт на основі аналізу динаміки дебітів нафти та продуктивності пластів із використанням гідродинамічних та промислово-геофізичних досліджень.

2. Розрахунок технологічних параметрів процесу депресійно-репресійної дії та вибір устаткування: компресора або азотної установки, насосного агрегату, станції канатної техніки, аератора чи ежектора, ємностей для технологічних рідин і т.п.

3. Перевірка технічного стану наземного та підземного обладнання свердловини. Можливість проходження та встановлення пакера визначається після монтування підйомного агрегату та підняття із свердловини експлуатаційного обладнання опусканням шаблону відповідного діаметра. За необхідності експлуатаційну колону райбують у звужених ділянках та промивають вибій.

4. Проведення депресійно-репресійної дії на привибійну зону пласта створенням необхідної кількості гідродинамічних імпульсів тиску.

5. Заклучні роботи і пуск свердловини в роботу.

Створення циклів миттєвих високих депресій і репресій тиску здійснюють так:

– опускають на НКТ пристрій та пакер і встановлюють їх на глибині з відповідним гідростатичним тиском, що дасть змогу створити проектну величину депресії тиску. Пакер ізолює затрубний простір від трубного простору та привибійної зони, а пристрій дозволяє рух рідини і газу через зворотні клапани лише із затрубного простору в НКТ;

– після герметизації пакера, за допомогою стиснутого газу, використовуючи, наприклад, пересувні компресори високого тиску типу УКП-80, СД-9/101, СД-12/250, азотні установки типу АГУ-8, ПКСА-9/200, СДА-10/101 або газліфтний газ, а також насосні агрегати типу УНБ1-400x40, ЦА-320 та аератор або ежекторний пристрій, газоводяною піною чи водогазовими подушками витісняють рідину із затрубного простору до глибини встановлення пристрою;

– стравлюють тиск у затрубному просторі, в процесі чого стиснутим газом викидаються заповнені порції води, після чого тиск у ньому (на рівні розташування пристрою) складає 0,1-0,5 МПа;

– опускають у НКТ і встановлюють у пристрій ізолюючу кулю чи спеціальний затвор та створюють тиск у трубах, у результаті чого втулка-плунжер пристрою переміщується в ни-

жнє положення. При цьому радіальні отвори втулки-плунжера та корпусу суміщаються, привибійна зона з'єднується зі спорожненим затрубним простором і на пласт створюється висока миттєва депресія тиску;

– через визначений час за допомогою привода припіднімають ізолюючу кулю чи затвор угору і втулка-плунжер пристрою повертається у початкове положення, що забезпечує роз'єднання затрубного та трубного просторів і припинення дії депресії тиску. Одночасно відбувається з'єднання НКТ з привибійною зоною свердловини і стовп рідини в трубах створює на пласт миттєву високу репресію тиску;

– роботи, описані в попередніх двох пунктах, повторюють необхідну кількість разів, здійснюючи цикли депресійно-репресійної дії;

– за потреби більш глибокого очищення привибійної зони після заповнення затрубного простору пластовою рідиною знову знижують рівень рідини в затрубному просторі і повторюють весь цикл описаних робіт;

– після закінчення створення запланованої кількості циклів гідродинамічних імпульсів промивають вибій, підіймають НКТ із пристроєм УСМД та пакером, встановлюють експлуатаційне обладнання і запускають свердловину в роботу. У випадку її фонтанування експлуатацію здійснюють без підняття спеціального обладнання.

Обов'язковим є проведення гідродинамічних досліджень у свердловині до і після депресійно-репресійної дії та очищення пласта. У фонтанних та газліфтних свердловинах необхідно проводити гідродинамічні дослідження на неусталених режимах роботи зі зняттям кривої відновлення пластового тиску, оскільки такі дослідження є найбільш інформативними. У свердловинах, які експлуатуються штанговими, електровідцентровими, гвинтовими та ін. насосами, підземне обладнання котрих не дає змоги провести прямі виміри тиску на вибої, виконують дослідження на усталених режимах роботи з визначенням пластового та вибійного тисків аналітично за вимірами статичних та динамічних рівнів у затрубному просторі. На основі досліджень, виконаних до проведення робіт, роблять висновки про їх доцільність та визначають параметри технологічного процесу. За результатами досліджень, проведеними після очищення привибійної зони та виходу свердловини на проектний режим експлуатації, визначають зміну продуктивності пластів та оцінюють ефективність робіт. Отримані результати також дають змогу вносити корективи у технологічні процеси, які будуть реалізовуватися в інших свердловинах з подібними характеристиками об'єктів експлуатації.

Вибір свердловин для застосування технології з використанням пристроїв УСМД проводиться з врахуванням таких вимог.

1. Наявність кольматації привибійної зони пласта, що встановлюється низьким значенням коефіцієнта гідродинамічної досконалості, додатною величиною скін-ефекту та ступенем

зменшення зведеного радіуса свердловини відносно його номінальної величини.

2. Обводненість свердловин, як правило, не повинна перевищувати 50-60%. За більшої кількості води необхідно встановити причини обводнення і роботи з використанням пристрою УСМД здійснювати після постійної або тимчасової ізоляції обводнених інтервалів спрямовано тільки на пласти з незначною обводненістю.

3. Породи у привибійній зоні повинні бути стійкими за величин депресій та репресій тиску, які створюються. Проведені роботи не повинні призвести до руйнування пласта та винесення піску під час подальшої експлуатації свердловини, що особливо негативно може проявитися за штангового глибинно-насосного способу експлуатації.

4. Конструкція свердловини і її технічний стан повинні забезпечити нормальне опускання спеціального обладнання та герметичної установки пакеру.

5. Запроєктовані величини депресій та репресій тиску не повинні перевищувати розрахунковий тиск змінання та розриву експлуатаційної колони.

6. Стан цементного кільця у заклонному просторі свердловини в межах перемичок між окремо перфорованими продуктивними пластами має бути добрий, а величини депресій та репресій тиску, які будуть створюватися, не повинні бути більшими 2 МПа із розрахунку на 1 м висоти цементного кільця [6].

Якість розмежування пластів, особливо за наявності суміжних газонасичених, водонасичених чи обводнених інтервалів, визначається промислово-геофізичними дослідженнями на поточний момент часу і вона повинна забезпечити виключний вплив на заплановані об'єкти.

Розрахунок величини максимальної депресії тиску за умови недопущення руйнування паста та винесення піску можна виконати, використовуючи відомі результати експериментального визначення міцнісних характеристик різних типів гірських порід, наприклад, отримані А.П. Клевцуром [3].

Вимога, викладена у п. 5, визначається шляхом розрахунку мінімально допустимого тиску у затрубному просторі, який можна виконати, використовуючи формули, рекомендовані Американським нафтовим інститутом (АНІ). Наприклад, для сталей марки E з межею текучості 550 МПа у випадку пластичного змінання та за відношення номінальних величин зовнішнього діаметра труби (D) до товщини стінки труби (δ) – $D/\delta < 14$, критичний тиск змінання дорівнюватиме [1]:

$$P_{кр} = 0,75 \cdot 2\sigma \left[\frac{\frac{D}{\delta} - 1}{\left(\frac{D}{\delta}\right)^2} \right] \quad (3)$$

Для випадку руйнування у пластичній області за умови $D/\delta \approx 14$ і більше – до точки

пересічення критичного навантаження за пластичного змінання з кривою пружного змінання

$$P_{кр} = 0,75 \cdot \sigma \left[\frac{2,503}{\frac{D}{\delta}} - 0,046 \right] \quad (4)$$

і для пружного змінання

$$P_{кр} = 0,75 \left[\frac{4,4 \cdot 10^6}{\frac{D}{\delta} \left(\frac{D}{\delta} - 1\right)^2} \right] \quad (5)$$

У вітчизняній практиці для розрахунку опору труби змінання під дією рівномірного зовнішнього тиску використовують формулу Г.М. Саркісова [2]

$$P_{кр} = 1,1k_M \left\{ \sigma_T + Ek_0^2 k_T \left(1 + \frac{3e}{2k_T^3 k_M} \right) - \sqrt{\left[\sigma_T + Ek_0^2 k_T \left(1 + \frac{3e}{2k_T^3 k_M} \right) \right]^2 - 4Ek_0^2 k_T \sigma_T} \right\} \quad (6)$$

де: D_3 – зовнішній діаметр; δ – номінальна товщина стінки труби за ГОСТ 632-80; δ_M – найменша товщина стінки; $\delta_M = 0,875\delta$; δ_0 – умовна розрахункова товщина стінки різностінної труби; e – овальність труби; $k_M = \delta_M / D_3$; $k_0 = \delta_0 / D_3$; $k_T = \delta_0 / \delta_M$; σ_T – межа текучості матеріалу труби; E – модуль пружності матеріалу.

Обидві методи розрахунку дають близькі результати. Наприклад, для обсадної труби з величинами: $D=168$ мм, $\delta=10,6$ мм, $e=0,0075$ та характеристиками сталі: $\sigma_T=550$ МПа, $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, критичний тиск змінання, визначений за формулою (6), складає 46,7 МПа, а за формулою АНІ – 47,8 МПа. За тих же параметрів, але діаметрові колони $D=146$ мм, отримані величини критичних тисків знізняться більше: відповідно – 58,5 та 54,5 МПа.

Дійсний опір завжди дещо більший від критичного тиску. Якщо одночасно із зовнішнім надлишковим тиском на трубу діє осьове навантаження, то критичний тиск зменшується. За даними НДІ „ТатНИПІнефть” за перевищення осьовим напруженням розтягу на 50% межі текучості, зменшення опору змінання може досягнути 10%, тому у формули (3–6) вводять коефіцієнт запасу міцності, який визначають з досвіду роботи свердловин у конкретних геолого-промислових умовах. Приймаючи, що експлуатаційна колона спорожнена до вибою, а тиск у кільцевому просторі рівний тисковій стовпа глинистого розчину, пластової води або пластовому тиску, за рекомендацією АНІ цей коефіцієнт становить 1,1-1,125.

Розрахунки свідчать, що якщо у розрізі свердловини немає пластів з аномально висо-

кими тисками, то під час застосування технології з використанням пристроїв типу УСМД свердловини глибиною до 3500-4000 м можна осушувати практично до глибини знаходження інтервалів перфорації. Однак і в цих умовах, і для більш глибоких свердловин необхідно (у відповідності з існуючими інструкціями) будувати епюри зовнішніх тисків і на підставі їх порівняння з критичними величинами тисків змінювати проектувати глибину встановлення устаткування УСМД.

Розрахунок внутрішнього тиску, за якого напруження в стінках труб сягають межі текучості, для обсадних сталевих труб за рекомендацією АНІ, яку застосовують і у вітчизняній практиці, проводять за формулою Барлоу [1, 2]

$$p_{кр} = 0,875\sigma_T \frac{2\delta}{D_3}, \quad (7)$$

де коефіцієнт 0,875 враховує мінусовий допуск на товщину стінок.

Для розрахунку критичного внутрішнього тиску на розрив коефіцієнт запасу міцності за рекомендацією АНІ приймають 1,0-1,33.

Реалізація технології депресійно-репресійної дії не передбачає створення в експлуатаційній колоні значних внутрішніх тисків, тому вони не перевищують відповідних тисків опресування.

На даний час розроблено низку технічних рішень і створено устаткування для здійснення циклів депресійно-репресійної дії на пласт [5]. Однак, через неврахування у конструкціях пристроїв всіх чинників складних процесів, які мають місце на вибої під час створення значних гідродинамічних імпульсів тиску, ці технології лише випробовувались в окремих свердловинах і широкого застосування не набули.

Як вже вказувалося, для створення циклів високих миттєвих депресій та репресій тиску за допомогою устаткування УСМД проводять по чергове з'єднання привибійної зони із затрубним простором із низьким тиском та трубним простором із високим тиском.

Випробування пристрою [5] показало, що після встановлення у нього кулі, яка скидається з поверхні, вона сприймала на себе весь гідростатичний тиск свердловинної рідини у НКТ, котрий створював навантаження, яке не давало змоги проводити подальші цикли депресійного впливу.

Якщо пристрій розташований на глибині H у свердловині, яка заповнена рідиною густиною ρ_p , то за діаметра ізолюючої кулі d на неї буде діяти тиск стовпа рідини, який створить навантаження F :

$$F = 0,25H\rho_p g \pi d^2. \quad (8)$$

Для значень $d=5 \cdot 10^{-2}$ м, $\rho_p = 1000$ кг/м³ та $H=2000$ м навантаження складе 38,5 кН, що є досить великою величиною і може призводити до ускладнень під час роботи привода пристрою. Тим більше, що зі збільшенням глибини свердловин це навантаження зростатиме.

Під час застосування технології з використанням ізолюючої кулі на приводі Аз-8 чи канатної техніки управління режимом роботи цих пристроїв шляхом періодичного припинення чи опускання кулі не вдалося припинити чи відновлювати дію депресій та репресій тиску. Практично в усіх нечисленних випадках застосування пристроїв [5] управління їх роботою не проводилося, а у деяких свердловинах траплялися обриви дроту, що призводило до затяжних робіт з ліквідації аварійних ситуацій.

Ще одним негативним чинником є те, що під час витіснення рідини із затрубного простору під дією високого вибійного тиску в низькодебітних свердловинах, які є основним об'єктом застосування даних технологій, і у яких, як правило, низькі пластові тиски, значний об'єм свердловинної рідини, як правило рідини глушіння, тобто технічної чи пластової води, поступає у продуктивний пласт, що призводить до гідрофілізації породи, зниження фазової проникності для нафти і газу та створення стійких високов'язких водонафтових емульсій.

Проведений аналіз свідчить, що під час реалізації гідроімпульсних технологій у свердловинах шляхом створення високих миттєвих депресій і репресій тиску необхідно враховувати всі чинники: літолого-фізичні властивості колекторів, технічний стан свердловини та якість розмежування пластів, конструктивні та технологічні принципи пристроїв для гідроімпульсної дії та особливості гідродинамічних процесів, які відбуваються на вибої та в пласті під час їх застосування. Для забезпечення широкого та ефективного впровадження гідроімпульсних технологій наявне устаткування потребує удосконалення, в першу чергу спрямованого на усунення вказаних вище недоліків та збільшення його надійності в роботі, особливо в глибоких свердловинах.

Література

- 1 Гетлин К. Бурение и заканчивание скважин: Перевод с англ. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 519 с.
- 2 Инструкция по расчету обсадных колонн для нефтяных и газовых скважин / О.Д.Даниленко, К.П.Джафаров, В.Г.Колесников и др. – М.: АООТ „ВНИИТнефть”, 1997, – 191 с.
- 3 Клевцур А.П. О расчете допустимых депрессий при работе с испытателями пластов // Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 79. Технологии проводки скважин в условиях Западно-Сибирской равнины. – Тюмень: Облтипография, 1974. – С. 136-140.
- 4 Тарко Я.Б. До питання визначення розподілу тиску в пласті під час проведення депресійного впливу в свердловині // Нафтова і газова промисловість. – 2004. – № 6. – С. 28-30.
- 5 Устройство для обработки призабойной зоны скважин: А.с. 848605 СССР, МКИ Е 21 В 43/18 / Ф.С. Абдулин (СССР). – № 2852676/22; Заявл. 17.12.79, Опубл. 23.07.81, Бюл. № 27.
- 6 Яремийчук Р.С., Качмар Ю.Д. Вскрытие продуктивных горизонтов и освоение скважин. – Львов: Вища шк., 1982. – 152 с.

7 Brieger E.F. Treatment of perforatings with reverse pressure impulses World Oil, Vol. 212, No. 7, Juni, 1991. – P. 75-97.

8 Halleck P. M. and Deo S.A. The effects of underbalance on perforation flow. - SPE paper 16895, 62nd Annual Technical Conference and Exhibition of SPE, Dallas, Sept. – P. 27-30. – 1987.

9 King G.E., Anderson A. and Bingham M.D. A field study of underbalance pressures necessary to obtain clean perforations using tubing-conveyed perforating. – Journal of Petroleum Technology, June 1986. – P. 662-664.

10 Krueger R. F. An overview of formation damage and well productivity in oilfield operations. – Distinguished Author Series, JPT, February 1986. – pp. 131-152.

11 Monacher M.M., Morris Ch.U., Hill D.D., Branner C.R., Evaluation of perforating well conditions within underbalance reservoir pressure. – World Oil, Vol. 211, № 5, November, 1990. – P. 47-63.

12 Regalbuto J.F. and Riggs R.S. Underbalanced perforating characteristics as affected by differential pressure. – SPEPE, February 1988. – P. 83-86.

8-а Міжнародна науково-технічна конференція

**ІНЖЕНЕРІЯ
ПОВЕРХНІ ТА
РЕНОВАЦІЯ
ВИРОБІВ**

*м. Ялта (санаторій „Парус”)
(27–29 травня 2008 р.)*

Оргкомітет конференції

*Асоціація технологів-машинобудівників
України (АТМ України),
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2*

**atmu@ism.kiev.ua
koreukina@voliacable.com
тел./факс (044) 430 85 00**

Тематика конференції:

- Наукові основи інженерії поверхні**
 - матеріалознавство
 - фізико-хімічна механіка матеріалів
 - фізико-хімія контактної взаємодії
 - зносо- та корозійна стійкість, міцність поверхневого шару
 - функціональні покриття і поверхні
 - технологічне керування якістю деталей машин
 - питання трибології в машинобудуванні
- Технологія ремонту машин, відновлення та зміцнення деталей**
- Метрологічне забезпечення ремонтного виробництва**
- Екологія ремонтно-відновлювальних робіт**

В рамках конференції проводиться практичний семінар „Зварювання, наплавлення та інші реноваційні технології на підприємствах гірсько-металургійної, машинобудівної промисловості і на транспорті”