



УКРАЇНА

(19) UA (11) 18091 (13) U
(51) МПК
E21B 43/26 (2006.01)
E21B 43/27 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КИСЛОТНОГО ГІДРОРОЗРИВУ ПЛАСТА

1

(21) u200605668

(22) 23.05.2006

(24) 16.10.2006

(46) 16.10.2006, Бюл. № 10, 2006 р.

(72) Качмар Юрій Дмитрович, Цьомко Володимир Васильович, Бурмич Федір Миколайович, Тарабаринів Петро Васильович, Заливаха Ярослав Опанасович, Бойчук Віталій Іванович, Дирів Іван Петрович, Бойчук Іван Якович

(73) ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "УКРНАФТА"

(57) 1. Спосіб кислотного гідророзриву пласта, що передбачає моделювання процесу гідророзриву пласта за комп'ютерними програмами, помпування у свердловину кислотного розчину і протискуючої рідини під тиском, більшим за тиск розкриття тріщин, закриття свердловини після завершення помпування протискуючої рідини, який **відрізняється** тим, що об'єм і витрату кислотного розчину визначають шляхом моделювання за комп'ютер-

2

ними програмами гідророзриву пласта, помпуванням кислотного розчину і протискуючої рідини забезпечують розвиток тонкої вертикальної тріщини, достатньої для переміщення і дії кислотного розчину в тріщині і навколо неї, причому об'єм і витрату під час помпування протискуючої рідини приймають не менше як у 1,5 рази більшими від об'єму і витрати кислотного розчину, а свердловину закривають для змикання тріщини на зерна кварцу, які відшарувалися від стінки тріщини і перемістилися по ній.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як кислотний розчин застосовують соляну кислоту, суміш соляної і плавикової кислоти, яка називається глинокислотою, чи інші кислоти або їх комбінації.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як протискуючу рідину застосовують пластову воду, водні розчини солей, спиртів, ПАВ або їх комбінації.

Спосіб відноситься до нафтогазовидобувної промисловості, зокрема до кислотного гідророзриву низькопроникного слабокарбонатного теригеного продуктивного пласта.

Відомий спосіб гідророзриву пласта [Патент РФ №2156356, МПК⁷ E21B43/26, E21B43/27, опубл. 2000.09.20], що включає помпування кислоти сповільненої дії вибірково у нафтонасичений пропласток з витратою 0,8-1,54 м³/хв. Розчин кислоти сповільненої дії глибоко проникає в пласт і утворює перові канали на великій глибині. Об'єм кислотного розчину вибирають, оцінивши глибину забруднення привибійної зони.

Недоліками застосування відомого способу для кислотної дії на низькопроникні слабокарбонатні породи є: використання великих об'ємів високов'язкої кислоти сповільненої дії, в'язкістю у кілька разів більшою за в'язкість кислоти, що призводить до проникнення її по тріщині надто далеко за межі забруднення привибійної зони, де це вже не впливає на зростання припливу вуглеводнів до свердловини; кислотний розчин сповіль-

неної дії за час руху по тріщині не розчиняє глинисто-карбонатний цемент; труднощі вилучення з пласта продуктів реакції високої в'язкості; застосування великих об'ємів кислоти сповільненої дії підвищує вартість робіт.

Відомий спосіб проведення гідророзриву пласта за результатами комп'ютерного моделювання розкриття і розвитку вертикальної тріщини [Застосування потужних гідроравлічних розривів пласта на родовищах України. - Качмар Ю.Д., та ін. - Нафт. і газова пром-сть, 1999, №4, с.28-31], які з достатньою для практики точністю прогнозують розміри тріщини і кількість закріплювача (кварцового піску чи пропанту), в залежності від об'єму і витрати застосовуваних рідин. Описаний досвід ефективного проектування розмірів вертикальної тріщини гідророзриву пласта дозволяє використати комп'ютерне моделювання для визначення розмірів тріщини ГРП в залежності від об'єму і витрати застосовуваних рідин.

Найбільш близьким за технічною суттю до способу, що пропонується, є спосіб [Патент РФ

(13) U

(11) 18091

(19) UA

№2151864, МПК⁷ E21B43/26, E21B43/27, опубл.2000.06.27], за яким у свердловину заповнюють при тиску більшому за тиск розриву пласта розчин глинокислоти з поступовим зниженням тиску нагнітання. Перед глинокислотою для попереднього розкриття тріщин помпують великі об'єми прісної води при тиску більшому за тиск розриву пласта, після цього помпують глинокислоту, а за нею прісну воду в об'ємі глинокислоти. Всі рідини помпують з поступовим зниженням тиску нагнітання. Після цього свердловину закривають для очікування спадання тиску і реагування кислоти. Помпівання прісної води перед глинокислотою забезпечує попереднє розкриття тріщин, в які поступає кислотний розчин, забезпечує реакцію глинокислоти безпосередньо в тріщині. Поступове зниження тиску нагнітання кислоти сприяє рівномірнішому заповненню тріщини і зменшенню поступлення кислоти у небажані зони. Нагнітання після кислоти прісної води сприяє просуванню кислоти в пласт.

Недоліками відомого способу щодо дії на низькопроникні слабо карбонатні пласти є помпівання великих об'ємів прісної води перед глинокислотою, що викликає насичення привибійної зони і зони навколо тріщини водою і призводить до зниження фазової проникності для вуглеводнів. Це також викликає набухання глини, яка є у складі теригенних колекторів, і знижує проникність породи. Широке розкриття тріщини не сприяє збільшенню розчинення її стінок за короткий час руху по тріщині. Плановане зниження тиску нагнітання води перед нагнітанням кислоти викликає передчасне змикання тріщини, а зниження тиску під час нагнітання глинокислоти, якщо вона розчиняє породу і колюматуючі тріщини залишки бурового розчину, є природним і не потребує зміни режиму помпівання.

В основу корисної моделі поставлено завдання створити спосіб кислотного гідророзриву пласта, який дозволяє за рахунок зміни режимів помпівання кислотного розчину і протискуючої рідини забезпечити розкриття, розвиток і самозакріплення тріщини зернами кварцу, що відшарувалися від скелету породи і перемістились протискуючою рідиною, внаслідок чого покращуються фільтраційні характеристики привибійної зони і збільшується приплив нафти і газу до свердловини, а це забезпечує підвищення ефективності гідророзриву.

Суть корисної моделі полягає у тому, що у способі кислотного гідророзриву пласта, що передбачає моделювання процесу гідророзриву пласта за комп'ютерними програмами, помпівання у свердловину кислотного розчину і протискуючої рідини під тиском, більшим за тиск розкриття тріщин, закриття свердловини після завершення помпівання протискуючої рідини, об'єм і витрату кислотного розчину визначають шляхом моделювання за комп'ютерними програмами гідророзриву пласта, помпіванням кислотного розчину і протискуючої рідини забезпечують розвиток тонкої вертикальної тріщини, достатньої для переміщення і дії кислотного розчину в тріщині і навколо неї, причому об'єм і витрату під час помпівання протискуючої рідини приймають не менше як у 1,5 рази

більшими від об'єму і витрати кислотного розчину, а свердловину закривають для змикання тріщини на зерна кварцу, які відшарувалися від стінки тріщини і перемістились по ній, як кислотний розчин застосовують соляну кислоту, суміш соляної і плавикової кислоти, яка називається глинокислотою, чи інші кислоти або їх комбінації, як протискуючу рідину застосовують пластову воду, водні розчини солей, спиртів, ПАВ або їх комбінації.

У низькопроникний слабокарбонатний теригенний пласт з невеликою витратою, при тиску більшому за тиск розкриття тріщини, заповнюють кислотний розчин, здатний розчиняти глинисто-карбонатний цемент породи. Наявність великих фільтраційних втрат забезпечує те, що переважаючи, більша за 90%, частина кислотного розчину, проникає в пласт навколо тріщини. Глинисто-карбонатний цемент на стінках тріщини і в породі навколо тріщини розчиняється, внаслідок чого зростає проникність пласта навколо тріщини і зерна кварцу, що складають скелет породи, відшаровуються від стінки тріщини. Помпівання протискуючої рідини, наприклад, пластової води з ПАВ, з витратою і об'ємом не менше ніж у 1,5 рази більшими об'єму і витрати кислотного розчину, забезпечує збільшення ширини тріщини і переміщення по ній відшарованих зерен кварцу. Після завершення помпівання рідин і зниження тиску, до величини меншої від тиску змикання тріщини на зерна кварцу, тріщина самозакріплюється. Внаслідок кислотного гідророзриву в пласті створюється самозакріплена тріщина і зона високої проникності навколо неї, що забезпечує збільшення припливу пластових флюїдів до свердловини.

Суттєві відмінні ознаки корисної моделі такі:

- помпівання кислотного розчину, який добре фільтрується в низькопроникний пласт проводиться з невеликою витратою, яка спричиняє збільшення тиску, достатнього для розкриття тонкої вертикальної тріщини;
- розкриття тонкої тріщини, наприклад шириною від 0,3 до 0,5мм, що достатньо для переміщення кислотного розчину по тріщині;
- помпівання в пласт кислотних розчинів, здатних розчиняти глинисто-карбонатний цемент слабокарбонатної породи, а саме: соляної кислоти, суміші соляної і плавикової кислоти, яка називається глинокислотою чи інших кислот або їх комбінацій, таких об'ємів і витрат, які, за час руху в тріщині, достатні для розчинення глинисто-карбонатного цементу на стінках тріщини, і відшарування зерен кварцу з поверхні тріщини;
- розчинення глинисто-карбонатного цементу навколо тріщини малов'язким кислотним розчином, який за час проведення кислотного гідророзриву пласта (КГРП) майже повністю фільтрується з тріщини, внаслідок чого в слабокарбонатній теригенній породі навколо тріщини утворюється зона підвищеної проникності;
- протискування кислотного розчину в пласт рідиною, яка не здатна розчиняти глинисто-карбонатний цемент і незначно впливає на фільтраційні властивості породи, об'ємом і витратою не менше ніж у 1,5 рази більшими об'єму і витрати кислотного розчину забезпечує розширення тріщини і переміщення зерен кварцу;

- закриття свердловини після протискування кислотного розчину для зниження тиску до величини, меншої за тиск змикання тріщини, що забезпечує змикання тріщини на переміщені по ній зерна кварцу, які само закріплюють тріщину.

Спосіб кислотного гідророзриву пласта виконують наступним чином. Визначають фільтраційно-ємнісні і механічні властивості пласта та літологічний склад порід. Вибирають рецептуру кислотного розчину, який розчиняє глинисто-карбонатний цемент пласта, і протискуючої рідини, яка не розчиняє його. Моделюють розкриття тріщин в залежності від об'ємів, витрати і тиску нагнітання кислотного розчину і протискуючої рідини в пласт. Об'єм і витрату помпування кислотного розчину в пласт вибирають так, щоб забезпечити зростання тиску для створення тонкої вертикальної тріщини, яка проникає через три - п'яти метрову зону кольматації пласта навколо свердловини. Об'єм і витрату помпування протискуючої рідини приймають не менше ніж у 1,5 рази більшими, об'єму і витрати помпування кислотного розчину, щоб забезпечити розширення тріщини і збільшити лінійну швидкість потоку рідини в ній для переміщення зерен кварцу, що відшарувалися з поверхні стінок тріщини. Після завершення помпування протискуючої рідини свердловину закривають, контролюють зниження тиску до величини, меншої за тиск змикання тріщини, щоб защемити переміщені зерна кварцу. Після чого починають освоєння свердловини.

Свердловину готують до кислотного гідророзриву пласта в наступній послідовності. Спускають насосно-компресорні труби (НКТ) з пакером, вище пластів на які здійснюють дію, або з двома пакерами, так, щоб оброблювані пласти знаходилися поміж пакерами. Гирло свердловини обладнують арматурою високого тиску. В пласт запомповують розрахований об'єм кислотного розчину при проектних режимах нагнітання. Безпосередньо за ним запомповують протискуючу рідину, наприклад пластову воду з поверхнево-активними речовинами, в об'ємі і з витратою не менше ніж у 1,5 рази більшими за об'єм і витрату кислотного розчину. Свердловину закривають, контролюють зниження тиску, до величини меншої за тиск змикання тріщини для забезпечення защемлення переміщених зерен кварцу між стінками тріщини. Знижують тиск на гирлі свердловини до атмосферного, піднімають НКТ з пакером (чи пакерами), опускають глибинне обладнання для експлуатації і освоюють свердловину.

Приклад виконання способу.

Для виконання способу кислотного гідророзриву пласта вибрано свердловину 579-Битківська, що експлуатує в інтервалі від 1948 до 1879м, обладнаному фільтром, відклади ML_1 і в перфорованому ПК-103 інтервалі від 1768 до 1650м відклади ML_2 . Свердловину обладнано обсадною колоною діаметром 146мм, спущеною на глибину 1948м. Колона обпресована тиском 15МПа. Свердловина експлуатується газліфтным способом. Дебіт всіх пластів свердловини 1,1т/д нафти при обводненості 14% і газовому факторі 1900м³/т. Кислотний гідророзрив пласта проведено у теригенному пласті ML_2 товщиною 12м в інтервалі від 1690 до

1678м, пористістю 8%, проникністю $2.4 \cdot 10^{-3}$ мкм². Пластовий тиск 11,2МПа, температура 48°C, Дебіт даного необхідного пласта 0,22т/д нафти.

Кислотний гідророзрив пласта ML_2 провели з поетапним збільшенням витрати і тиску. В пласт нагнітали послідовно кислотні розчини 15% HCl (СКР) (5,5м³) і 15% HCl+3% HF(ГКР)(5,5м³), а потім 18,5м³ пластової води з ПАР. Помпування кислотного розчину здійснювали з витратою 0,37м³/хв., а протискування пластовою водою з ПАР для розширення, промивання і самозакріплення тріщини, об'ємом в 1,6 рази більшим від об'єму кислотного розчину, і витратою 1,0м³/хв., тобто у 2,7 рази більшою, ніж витрата кислотного розчину. Під час нагнітання кислотних розчинів тиск на гирлі зростає до 26МПа, а під час протискування, незважаючи на значне збільшення витрати, тиск на гирлі був меншим - 21МПа, що свідчить про покращання фільтраційних властивостей пласта навколо свердловини з тріщиною.

Аналіз результатів випробування запропонованого способу кислотного гідророзриву пласта показав що:

- максимальний вибійний тиск 42,5МПа (при 26МПа на гирлі) під час нагнітання кислотного розчину відповідає градієнту тиску на вибої 0,025МПа/м. Такий градієнт тиску, як відомо з досвіду проведення ГРП, є значно більший градієнту тиску розкриття тріщин 0,016-0,019МПа/м в таких пластах, тобто під час КГРП тріщина розкрилася;

- початковий коефіцієнт приймальності свердловини 17,0м³/(д МПа) при витраті 0,37м³/хв, а кінцевий, при витраті 1,0м³/хв-46,0м³/(д МПа), збільшився у 2,7 рази. З досвіду проведення ГРП на Битківському родовищі після такого збільшення коефіцієнта приймальності у пласти успішно запомпували пісок, що також свідчить про розкриття тріщини;

- кислотний розчин активно розчинив матеріал пласта, оскільки тиск на гирлі під час його нагнітання в пласт і протискування з зростаючою витратою самовільно знизився - на 10МПа. Це підтверджує, що розчинність низькопроникних слабокарбонатних порід є достатньою для застоування в них КГРП.

- дебіт свердловини після КГРП збільшився від 1,1т/д до 2,5т/д нафти, за рахунок збільшення її припливу до обробленого пласта. Дебіт пласта в якому проведено КГРП зріс приблизно від 0,2т/д до 1,6т/д, тобто у вісім разів, що можливе тільки внаслідок створення тріщини і збільшення проникності породи навколо тріщини під дією кислоти.

Для моделювання розвитку і закріплення тріщин у свердловині 579-Битківська застосовано програму Меєра MFrac-П, яка адекватно описує гідророзрив пласта. Програма враховує фізичні властивості і напружений стан породи, фізичні властивості рідин і режими нагнітання в пласт. За фактичними даними проведення КГРП виконано моделювання його перебігу і визначено наступне:

- розміри одного крила вертикальної тріщини, яка розкривалася в кінці помпування кислотного розчину: довжина 30м, висота 12м, ширина 0,5мм, а після помпування протискуючої рідини: довжина 60м, висота 12м, ширина 0,7мм;

- коефіцієнт втрат рідин з тріщини в породу

навколо неї такий великий, що з тріщини в поровий простір витікає $10,7\text{м}^3$ кислотного розчину (тобто $(10,7/11,0)100=97,2\%$ від заомпованого у свердловину) і $17,9\text{м}^3$ (тобто $(17,9/18,5)100=96,8\%$ від заомпованої у свердловину) протискуючої пластової води з ПАР, тобто майже весь кислотний розчин фільтрується у поровий простір навколо тріщини.

Для оцінки результатів реакції кислотного розчину в поровому просторі низькопроникних слабокарбонатних порід і в тріщині використано апробовану методику [Довідник з нафтогазової справи, Івано-Франківський ДТУ нафти і газу, М.Львів, 1996, с.436-441] згідно з якою час нейтралізації соляної кислоти в поровому просторі становить до 30с, а глинокислоти у десять разів більший, але все одно дуже малий, до 3хв. Оскільки тривалість помпування кислотних розчинів, 97% яких під час КГРП фільтрується у поровий простір навколо тріщини, майже на порядок більша, вони прореагували за час помпування, тобто витримувати кислоту на реагування нема потреби. Також відомо, що глибина проникнення активної кислоти в каналі діаметром один міліметр становить 20см, а в каналі діаметром один сантиметр - 600см, що значно менше довжини створеної кислотним розчином тріщини, яка становить 30м. Це означає, що реакція в тріщині, в якій знаходиться менше 3% заом-

пованого кислотного розчину також закінчується практично під час його помпування.

Розрахунки розчинення глинисто-карбонатного цементу породи, наведені на с.441 Довідника, показали що в 6м^3 соляної кислоти розчинність його становить 600кг, а в 6м^3 глинокислоти 400кг. Приблизно така ж кількість глинисто-карбонатного цементу породи розчинена під час виконання способу КГРП, що пропонується.

Підвищення продуктивності свердловини, яке досягається після КГРП, викликано не тільки змиканням тріщини на переміщені зерна кварцу, але й створенням зони підвищеної проникності породи навколо тріщини.

Технічний результат від використання способу досягається за рахунок зміни режимів помпування кислотного розчину, що розчиняє глинисто-карбонатний цемент породи низькопроникного слабокарбонатного теригеного пласта на стінках тріщини і навколо неї, і протискуючої рідини, яка не розчиняє його, забезпечується розкриття, розвиток і самозакріплення тріщини зернами кварцу, що відшарувалися від скелету породи і перемістились протискуючою рідиною, покращуються фільтраційні характеристики привибійної зони і збільшується приплив нафти і газу до свердловини, а це забезпечує підвищення ефективності гідро розриву пласта.