

ПАРАМЕТРИ РІДИНИ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРИВУ ПЛАСТА – ОСНОВНІ ВИМОГИ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

©Григораш¹ В.В., Дранчук² М.М., Кісіль² І.С., Лаврик² Л.М., 2006

¹Науково-дослідний і проектний інститут ВАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розглянуто основні вимоги до рідин для проведення потужного гідророзриву пласта та їх дослідження із застосуванням розробленої установки УВРП-1. Детально вказані функціональні призначення приготувальних рідин на різних стадіях процесу гідророзриву

В рамках національної програми “Нафта і Газ України до 2010 р.” з метою застосування потужних гідравлічних розривів пластів (ПГРП) на родовищах України ВАТ “Укрнафта” у 1996р. придбало комплект спецтехніки для ПГРП американської фірми “Stewart & Stevenson” та хімеагенти і матеріали фірми “Clearwater”. Обладнання та хімеагенти є унікальними за своїми параметрами та властивостями.

Сутність ПГРП полягає у створенні, розвитку і закріпленні тріщин у продуктивних пластах. ПГРП – це “спосіб створення нових тріщин або розширення існуючих у пласті тріщин, внаслідок нагнітання в свердловину рідини або піни при високому тиску” [1]. Створення нових тріщин чи розкриття існуючих можливе, якщо тиск у пласті під час нагнітання рідини з поверхні стає більшим від місцевого гірничого тиску.

Спецтехніка фірми “Stewart & Stivenson” розрахована на тиск до 105 МПа, обладнана комп’ютерним керуванням і контролем. Гель, що запам’ятовується, характеризується сильно вираженими неньютонівськими властивостями - уявною в’язкістю 1500...500 мПа·с при швидкості зсуву 100...800 1/с. З’явилась можливість розвивати в пластах широкі високопровідні тріщини, закріплення яких виконують пропантом з концентраціями його у рідині до 500 кг/м³. Під час ПГРП утворюються тріщини з високою провідністю, що забезпечує усунення негативного впливу скін-ефекту з залученням нових зон пласта, що не були у розробці.

Гідророзриви з використанням вказаного вище оснащення, які проведені в нафтових свердловинах з пластовим тиском, зниженим навіть до 60% порівняно з гідростатичним, були значно ефективніші від застосовуваної раніше технології, бо вже після перших гідророзривів за новою технологією одержано додатковий видобуток нафти у три-чотири рази більший від попереднього. Вплив такого ПГРП на продуктивність свердловини суттєвий: дебіт

свердловин зростає в середньому у два-три рази, а тривалість роботи зі збільшеним дебітом досягає двох-чотирьох років.

Нова технологія успішно застосовується, розроблено систему оперативного контролю за проведенням ПГРП в реальному часі проведення робіт [2,3], нові технології і методики контролю та проведення таких робіт. За шість останніх років проведено 80 ПГРП на родовищах Передкарпаття і Дніпрово-Донецької западини на глибинах від 1400 до 5900 м.

Додатково видобуто близько 1600 т нафти і 400 тис. м³ газу на один ПГРП, а дебіт свердловин збільшився в середньому на 250 % при середній тривалості ефекту – півтора року.

Гідравлічний розрив пласта передбачає нагнітання рідини в зону продуктивного пласта, внаслідок чого відбувається розкриття природних і утворення штучних тріщин.

Успішність інтенсифікації газонафтовидобутку методами ПГРП значною мірою залежить від властивостей рідини гідророзриву. Функції рідини гідророзриву пов’язані з розкриттям та гідравлічним розширенням тріщин (щілин) гідророзриву та перенесенням (транспортуванням) і розподілом закріплюючого агента (піску, пропанту) в просторі тріщини.

В процесі проведення ПГРП вважають за потрібне застосовувати рідини чотирьох видів:

- 1) рідину для глушіння свердловини перед гідророзривом в кількості 2-2,5 об’єми свердловини;
- 2) рідину гідророзриву, кількість якої для разової операції дорівнює об’ємові насосно-компресорних труб плюс додатково 5...10 м³ рідини, яка необхідна для визначення коефіцієнта прийнятності і розкриття тріщини у пласті;
- 3) рідину-пісконосій, кількість якої, залежно від її в’язкості та стримуваної здатності піску для одноразового гідророзриву, становить 20...50 м³

(оптимальну концентрацію піску в рідині для кожного конкретного родовища визначають дослідним шляхом);

4) рідину для промивання свердловини, кількість якої дорівнює 1,5 об'єму свердловини.

Властивості рідини гідророзриву суттєво впливають на режим розвитку тріщини, тому проблему вивчення реологічних властивостей рідини гідророзриву, правильного їх підбору на етапі моделювання та проведення процесу вважають одною з першочергових для ефективного виконання робіт з ПГРП.

Вивчення проблем створення та регулювання властивостей гелевих рідин гідророзриву висвітлено у працях Д.Елі, Л. Палмюра, Д. Маккензі, Р. Тостера, Д. Гідлея, Д.Нірода, С.Холдіха, Л. Чагадогої і ін. [4,5].

Описано широкий спектр рідин, які успішно застосовуються фірмами "Halyburton", "Clearwater" та ін.

Сьогодні в зарубіжній практиці гідророзриву велику увагу приділяють технологічним рідинам, властивості яких визначають динаміку росту тріщини, переміщення та розподіл в ній закріплювача. Від правильного вибору рідини залежить кінцева довжина закріплення тріщини, її провідність, а також вартість виконання робіт.

Сучасний рівень фізичної хімії, хімії полімерів та виробництва хімічних реагентів дає змогу фахівцям розробляти комплекси рідин і домішок до них практично для всіх можливих геолого-промислових умов. Американські фірми, практикуючи широке застосування методу гідророзриву з метою підвищення продуктивності свердловин, використовують по 10-15 спеціальних рідин і різних домішок.

Для приготування гелевих рідин гідророзриву застосовують воду, нафту або продукти переробки нафти.

Головними компонентами, які необхідні для утворення і регулювання властивостей гелевих систем, є полімер-гелеутворювач, реагент-зшивач, реагент-руйнівник, а також інгібітор набрякання глини (стабілізатор глини), ПАВ-деемульгатор, агенти для зменшення втрат тиску на тертя, втрат рідини на фільтрацію в породу, біоциди, регулятори.

Кожна фірма, яка здійснює сервісні послуги, намагається максимально удосконалити характеристики рідин, ідентифікуючи їх за компонентним складом для різних умов виконання процесу гідророзриву. Дуже часто як окремі компоненти, так і спеціальні домішки є конфіденційною власністю фірм і їх склад та способи одержання не розкриваються в рекламних описах.

Застосуванню гелевих рідин гідророзриву на водній основі має передувати розробка рецептур з уточнення переліку та кількісного вмісту компонентів, яке здійснюють з урахуванням геолого-технологічних характеристик конкретних родовищ і свердловин.

Гелі на нафтовій основі застосовують для гідророзривів у породах, які чутливі до води, містять великий відсоток глини, для гідророзривів як у нафтових, так і в газових пластах. Гелі на нафтовій основі (вуглеводневі гелі) містять гелеутворювач, зшивач, активатор, руйнівник і нафту або дизпаливо, газ чи газоконденсат - як вуглеводневе середовище.

Для виявлення можливостей використання того чи іншого типу рідини як робочої, під час здійснення гідравлічного розриву пластів у конкретних умовах свердловини необхідно виконати комплекс лабораторних досліджень. Крім визначення якісних характеристик застосовуваних хімреагентів як компонентів рідин гідророзриву, звертають увагу на вимоги до характеристик води, нафти (нафтопродуктів), які беруть за основу для їх приготування.

При виборі нафти для приготування технологічних рідин намагаються використовувати дегазовану нафту. При розробці рецептур і дослідженнях враховують такі показники нафти як густина, в'язкість, фільтрація, температура спалаху, температура застигання. Доцільно також характеризувати нафти за вмістом асфальтенів, парафінів, смол, сірководню, води.

Важливі функції, які виконує рідина гідророзриву під час ПГРП, вимагають здійснення досліджень з вивчення факторів, що впливають на зміну її в'язкісних властивостей.

В'язкість розчину незшитого полімеру з ростом температури зменшується. Вибором природи реагенту зшивача і його кількості можна регулювати зміни в'язкості з впливом зусиль зсуву та температури. Час від початку утворення полімеру до початку його зшивання регулюють залежно від глибини свердловини, температури, швидкості помповування у свердловину.

Особливим є те, що за однакового складу рідини може мати зовсім різні значення уявної в'язкості. Цей неньютонівський режим значно впливає на тертя в НКТ і тріщинах, а також на здатність рідини транспортувати розклинюючий агент. Для реологічної характеристики неньютонівської рідини необхідно визначати реакцію рідини на зміну швидкості зсуву, а також, відповідно до моделі, зробити розрахунок уявної в'язкості в різних умовах потоку.

Важливою характеристикою для рідин гідророзриву є їх уявна в'язкість. Оскільки, уявна в'язкість передусім для всіх псевдопластичних

(неньютонівських) рідин змінюється під час гідророзриву, необхідно передбачати, зокрема на стадії проектування ПГРП, зміни уявної в'язкості відповідно змінам градієнта зсуву. Тому реологічні властивості є визначальними в характеристиці рідин гідророзриву. До важливих характеристик належать фільтраційні властивості технологічних рідин. Фільтрування рідини в пласті зумовлює зміну його фізичних властивостей, а саме: зниження фазової проникності, набрякання та розмокання глини, виявлення капілярних ефектів, пошкодження набивки розклинюючого агента. Крім того, фільтрація знижує ефективність ГРП (відношення об'єму тріщини до об'єму рідини обробки) і може призвести до утворення піщаних пробок (закупорювань) у тріщинах, скорочення їх довжини. За несприятливих обставин в пласт може відфільтровуватися до 90 % рідини-носія піску.

Проникнення рідини в пласт під час гідророзриву регулюється низкою параметрів, включаючи склад рідини (включення в рецептуру ПАР), витрати й тиск, а також такі колекторські властивості, як проникність, тиск, насиченість рідиною, розмір пор, наявність мікротріщин. Втрата тиску на тертя належить до властивостей рідин гідророзриву, які пов'язують з втратами, зумовленими тим, що, зокрема, полімерні компоненти рідини гідророзриву перешкоджають виникненню турбулентності в потоці рідини. Це особливо відчутно при високих швидкостях закачування рідини гідророзриву. Втрати тиску на тертя ростуть також із збільшенням концентрації полімеру та в'язкості. Зменшення втрат тиску на тертя, особливо в насосно-компресорних трубах, набуває великого практичного значення, тому що дає змогу передати на вибір додаткову гідравлічну потугу, підвищуючи таким чином ефективність операції, знижуючи при цьому собівартість [6,7].

Таким чином, перелічені та інші властивості, характеризують рідини, які застосовуються під час гідророзриву пластів, а способи регулювання цих властивостей визначають компонентний склад з урахуванням конкретних умов проведення процесу ПГРП. Оскільки рідини гідророзриву визначають успішність ПГРП, то вони повинні відповідати таким вимогам:

завдяки регулюванню в'язкості та реологічних властивостей забезпечувати розкриття і розвиток тріщини з ефективною протяжністю, шириною і провідністю;

зберігати стабільність (агрегативну, седиментаційну, термічну, корозійну) впродовж проведення процесу ГРП;

безпечно транспортувати розклинюючий агент (пісок, пропант) у тріщину;

поєднуватися з породою-колектором і пластовими рідинами (флюїдами);

характеризуватися низькими втратами на тертя (меншими ніж для води) ігдравлічної потужності в трубах при прокачуванні;

обмежено фільтруватися в пласт;

інгібувати набрякання та розмокання глини, забезпечуючи максимальне збереження проникності порід-колекторів і набивок в тріщинах;

достатньо повно руйнуватися після закріплення тріщин з метою їх очищення вилученням застосовуваних рідин з пластів при депресіях, необхідних для освоєння та експлуатації цих пластів;

бути технологічними (нескладними) у приготуванні;

містити доступні, недефіцитні, недорогі реагенти та матеріали, застосування яких не суперечить вимогам пожежної безпеки, санітарним нормам, не завдає шкоди екології.

У зв'язку з високими тисками та темпами нагнітання необхідний якісний контроль за реологією помпованих рідин на свердловині під час проведення процесу та контроль за реологічними параметрами на етапі розробки нових рецептур та підбору відомих для відповідних параметрів пласта на етапі моделювання ПГРП. А це, в свою чергу, вимагає розробки лабораторної комп'ютеризованої установки для дослідження реологічних властивостей високов'язких неньютонівських у поверхневих та у пластових умовах.

Методику дослідження поведінки рідин для ПГРП можна умовно поділити на такі напрямки:

дослідження стабільності в часі в поверхневих умовах нових розроблених полімерно-емульсійних рідин та інших гелевих систем, що не потребують додаткового приготування (зшивання) під час проведення ПГРП. Ці роботи допоможуть вибрати оптимальну технологію попереднього приготування технологічних рідин, оцінити можливість застосування готових рідин, які внаслідок непередбачуваних обставин (пропуск пакера, затримки при транспортуванні гелю, позачергові операції капітального ремонту) можуть залишатися довший час на поверхні;

дослідження стабільності гелевих систем для ПГРП у часі при пластових умовах з метою оцінки можливості їх застосування протягом планованого часу проведення процесу ПГРП;

дослідження динаміки деструкції гелів в часі при пластових температурах, з метою оцінки динаміки деструкції технологічних рідин ПГРП у пласті після проведення процесу та підбору оптимальної кількості деструктора гелю;

дослідження впливу тиску на зміну реологічних характеристик (коефіцієнту консистентності та індексу нелінійності неньютонівських рідин);

дослідження зміни реологічних характеристик у поверхневих та пластових умовах в залежності від зміни концентрацій складових гелів;

дослідження впливу ПАР (що застосовуються для покращення емульгування розчину, покращення відновлюючих властивостей пласта [8], зменшення гідравлічних втрат на тертя в трубах тощо) на зміну реологічних властивостей гелевих систем для ПГРП.

Дослідження реологічних характеристик в'язкопластичних розчинів виконують за допомогою ротаційних віскозиметрів чи капілярних (трубчатих) віскозиметрів. Найбільшого застосування при визначенні реологічних властивостей неньютонівських розчинів отримали ротаційні віскометри, їхніми перевагами є:

компактність та мала витрата досліджуваної рідини;

можливість створення в робочому об'ємі майже рівномірного градієнта швидкості зсуву, що полегшує розрахунки реологічних характеристик за вимірюваними під час дослідів величинами і підвищує точність та інтерпретацію вимірювань;

можливість легко виконувати попереднє перемішування взірця рідини при певному градієнті швидкості зсуву протягом необхідного періоду часу;

простота підтримання необхідного температурного режиму досліджуваної рідини під час вимірювань та контролю за ним в часі.

Принцип дії ротаційних віскозиметрів оснований на вимірюванні напружень зсуву у контрольованому середовищі, що поміщене між двома циліндрами. Мірою напружень зсуву є кут повороту підвісного циліндра навколо своєї осі. Ці прилади представляють собою різновид віскозиметрів з коаксіальними циліндрами [9], що дозволяє визначати зміну напруження зсуву при різних швидкостях зсуву.

З метою вирішення поставленого завдання розроблена установка УВРП-1 визначення реологічних параметрів неньютонівських рідин для ПГРП, яку оснащено електронним блоком автоматизованого збору інформації, розроблено програмне забезпечення зчитування та збереження інформації на базі програми VSFlexgrid, що

призначена для відображення табличних даних [10]. З метою виконання різних завдань дослід у програмі передбачено встановлення широкого діапазону інтервалу часу опитування датчиків тиску температури та обертів (від 1 до 1000 с). Отримані дані дослідів записуються у табличному вигляді. Програма дозволяє створення бази даних проведених лабораторних досліджень.

Після проведення ряду експериментальних дослідів розроблено методологічні підходи виконання лабораторних досліджень, розроблено методики проведення основних типів дослідів відносно описаних вище необхідних напрямків дослідження. Як приклад, наведемо дослід з застосуванням розробленої установки УВРП-1, метою якого було вивчення динаміки зміни реологічних властивостей в баротермічних умовах відносно зміни концентрації ПАР, що застосовується з метою покращення емульгування розчину на основі полімера та нафти (а саме жириноксу) у рецептурі полімер-емульсійного розчину гідророзриву ПЕМ-1.

Як приклад, на рис. 1 і рис. 2 наведено графіки результатів виконання одного з дослідів.

Дослід зміни реологічних властивостей проводився у кілька етапів :

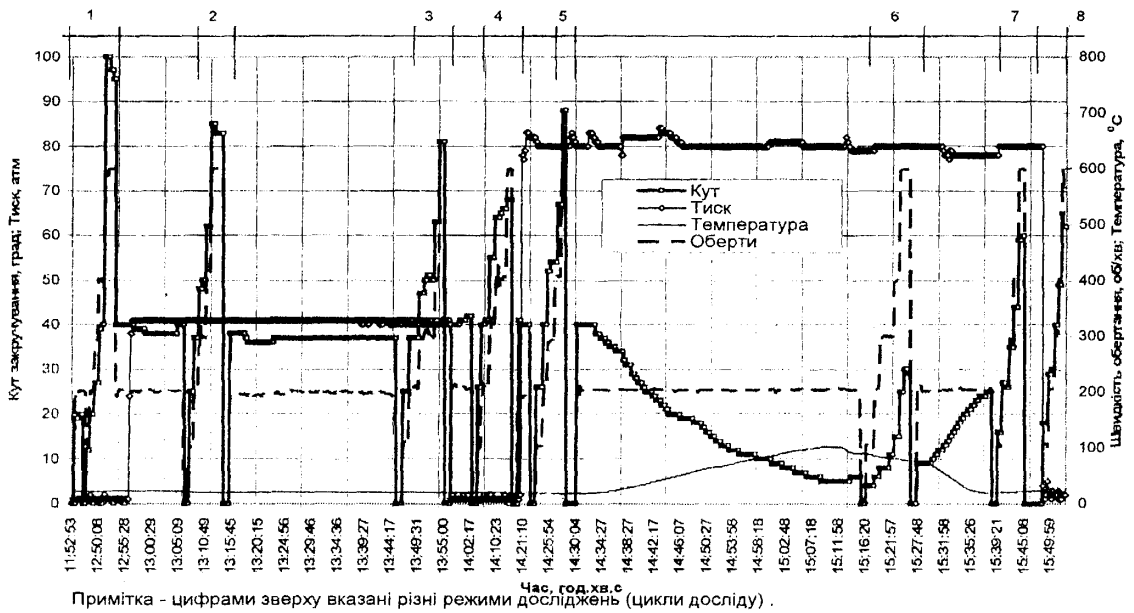
1) дослідження зміни в часі у поверхневих умовах (температура - 20 °С, тиск – 0 МПа);

2) дослідження впливу температури (температура від 20 до 80 °С, тиск – 0 МПа);

3) дослідження впливу тиску (температура - 20 °С, тиск – 0 МПа; 4,0 МПа; 8,0 МПа);

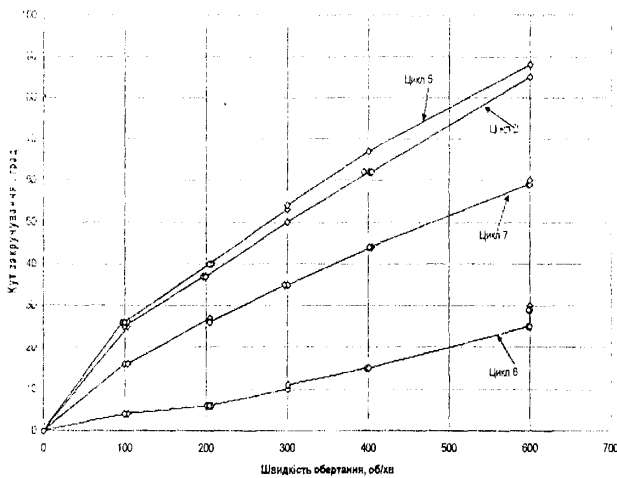
4) дослідження комбінованого впливу тиску та температури (температура - 20 °С, тиск – 0 МПа; 4,0 МПа; 8,0 МПа).

В результаті серії проведених досліджень різних технологічних рідин можна зробити висновок, що випробування різного складу гелевих рідин на розробленій установці УВРП-1 з використанням цифрових технологій дозволяє розширити спектр критеріїв, що характеризують не тільки поведінку рідин в баротермічних умовах, а й сприяють виявленню резервів для підвищення ефективності проектування і здійснення процесу ПГРП в конкретних умовах родовищ ВАТ "Укрнафта".



Примітка - цифрами зверху вказані різні режими досліджень (цикли досліду).

Рис. 1. Результати дослідження на УВРП-1 динаміки зміни основних характеристик полімер-емulsійного розчину для ПГРП з вмістом 1% жириноксу (ПАР) відносно зміни температури (20-100⁰С) та тиску (4,0-8,0 МПа)



Примтка - цикли на діаграмі вказують на різні режими дослідження відносно рис.3.

Рис. 2. Порівняння зміни основних характеристик полімер-емulsійного розчину з вмістом 1% жириноксу (ПАР) на різних режимах дослідження

1. Качмар Ю.Д., Бурмиц Ф.М., Андрусак А.М., Григораш В.В. Нові технології потужного гідророзриву пласта// Збірник наукових праць. – Івано-Франківськ, 2003. – 302с. 2. Григораш В.В. Розробка комп'ютеризованої системи контролю за процесом потужного гідророзриву пласта// Методи та прилади контролю якості.-2004, №12. – С.107-112. 3. Свідчення про реєстрацію авторських прав № 6172 «Комп'ютерна програма. Контроль за параметрами проведення потужного гідророзриву

пласта (Frloss)» – 2с. 4. Рябоконт С.А., Нечаев А.С., Чагай Е.В. Жидкости-песконосители для гидроразрыва пластов. – М.: ВНИИОЭНГ, 1987.-50с. 5. Ребиндер П.А., Бабальян Г.А., Кравченко І.І. Применение поверхностно-активных веществ и других химических реагентов в нефтедобывающей промышленности// Збірник наукових праць, №4. – М.: Надра, 1970. -311с. 6. "MFRAC-II" Hydraulic Fracturing Simulator USA Meyer & Associated, Inc. 1994 - 88 с. 7. Григораш В.В., Кісіль І.С. Визначення гідравлічних втрат під час руху рідин в трубах у процесі потужного гідророзриву пласта// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004, №1(10). – С.75-78. 8. Кісіль І.С., Боднар Р.Т., Дранчук М.М. Визначення крайового кута змочування пористих тіл шляхом вимірювання каплярного тиску// Нафтова і газова промисловість. – 2006, №4. – С.12-14. 9. Состав и свойства буровых агентов промысловых жидкостей /Дж.Р.Грей, Г.С.Г. Дарлі. –М.: Надра, 1985. -509 с. 10. Григораш В.В., Качмар Ю.Д., Кісіль І.С., Антоник І.М. Удосконалення конструкції віскозиметра ВСН-2М// Нафтова і газова промисловість.-2005, №6. – С.42-45.