

## СТАН ТА ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ ЗА ПІДГОТОВКОЮ ТА ПРОВЕДЕННЯМ ПОТУЖНОГО ГІДРОРОЗРИВУ ПЛАСТА

© Григораши<sup>1)</sup> В.В., Качмар<sup>1)</sup> Ю.Д., Дранчук<sup>2)</sup> М.М., Кісіль<sup>2)</sup> І.С., Боднар<sup>2)</sup> Р.Т., 2007  
<sup>1)</sup> Науково-дослідний і проектний інститут ВАТ «Укрнафта», м. Івано-Франківськ  
<sup>2)</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

***Розкрито існуючий стан і проблеми контролю якості неньютонівських технологічних рідин та основних параметрів проведення потужного гідророзриву пласта. Показано вплив реологічних властивостей технологічних рідин на контрольовані тиски ведення процесу гідророзриву. Розроблені методики контролю параметрів процесів підготовки технологічних рідин та проведення гідророзриву***

Світовий досвід застосування методів інтенсифікації видобутку нафти і газу свідчить, що гідравлічний розрив пласта (ГРП) відіграє головну роль у збільшенні добового видобутку нафти і газу та їх видобувних запасів. Тому вже майже 50 років постійно розвивалась техніка і технологія ГРП, внаслідок чого вони зазнали суттєвих змін.

Для контролю за розкриттям і розвитком тріщини останнім часом в світовій практиці ГРП застосовують теорію К. Нольта [1], використання якої стало можливим тільки після застосування сучасних комп'ютерних засобів та вимірювальних приладів за відповідними параметрами.

З метою застосування потужних гідравлічних розривів пласта (ПГРП) на родовищах України, ВАТ «Укрнафта» у 1996р. придбано комплект спецтехніки для ГРП і матеріали американської фірми «Stewart & Stevenson». Керування роботою насосних агрегатів і змішувача та контроль за основними параметрами ПГРП здійснюється за допомогою станції контролю, з'єднаної системою кабелів із давачами витрати, тиску та густини.

Станція управління оснащена двома комп'ютерами з програмним забезпеченням, аналого-цифровими перетворювачами вхідних сигналів, пультом управління насосних агрегатів, а також засобами зв'язку.

Дані про основні параметри під час проведення ПГРП (тиск нагнітання, сумарну витрату агрегатів, густину пульпи, сумарний об'єм закачуваної рідини, число обертів шнека) представляються графічно і в цифровому вигляді на екрані комп'ютера, заносяться в його пам'ять і використовуються для аналізу в реальному часі процесу проведення ПГРП.

З досвіду проведення ПГРП визначено, що для його підготовки та прийняття оперативних рішень безпосередньо під час його проведення існуючі

засоби контролю американської фірми не є достатніми. Не вирішеними залишались питання оперативного контролю під час проведення процесу за такими параметрами, як: вибійний тиск; тиск гідравлічних втрат на тертя в трубах; визначення тиску розкриття тріщин; вивчення та проведення якісного контролю за реологією помпованих рідин як на свердловині під час проведення процесу ПГРП, так і на етапі розробки нових рецептур технологічних рідин. Вказані завдання потребували розробки нових методик та систем контролю. Тому одним з шляхів покращення ефективності проведення процесу ПГРП була розробка удосконаленої системи контролю за параметрами підготовки та проведення процесу. Враховуючи досвід виконаних робіт, нами розроблена структурна схема удосконаленої системи контролю за якістю рідин та технологічними параметрами під час процесу ПГРП (рис. 1).

В загальному випадку основні завдання системи контролю за проведенням ПГРП можна умовно поділити на дві основні групи, а саме:

1) лабораторні дослідження механічних рідин, які передбачається використовувати при проведенні ПГРП;

2) контроль за основними технологічними параметрами під час проведення ПГРП.

Розглянемо детальніше кожен із груп основних завдань та можливі шляхи їх вирішення.

Розширення спектру свердловин, на яких економічно доцільно застосовувати ПГРП в умовах виснаження та значного зниження пластового тиску, є можливим при використанні високов'язких неньютонівських пластичних рідин.

Фізичне тлумачення псевдопластичності пояснюється тим, що із збільшенням швидкості зсуву асиметричні частинки чи молекули рідини поступово замість хаотичних рухів, які вони здійснюють в стані

спокою, своїми більшими осями орієнтуються вздовж напрямку потоку. Тобто, уявна в'язкість зменшується з ростом швидкості зсуву до тих пір,

поки зберігається можливість подальшого орієнтування частинок вздовж ліній потоку.

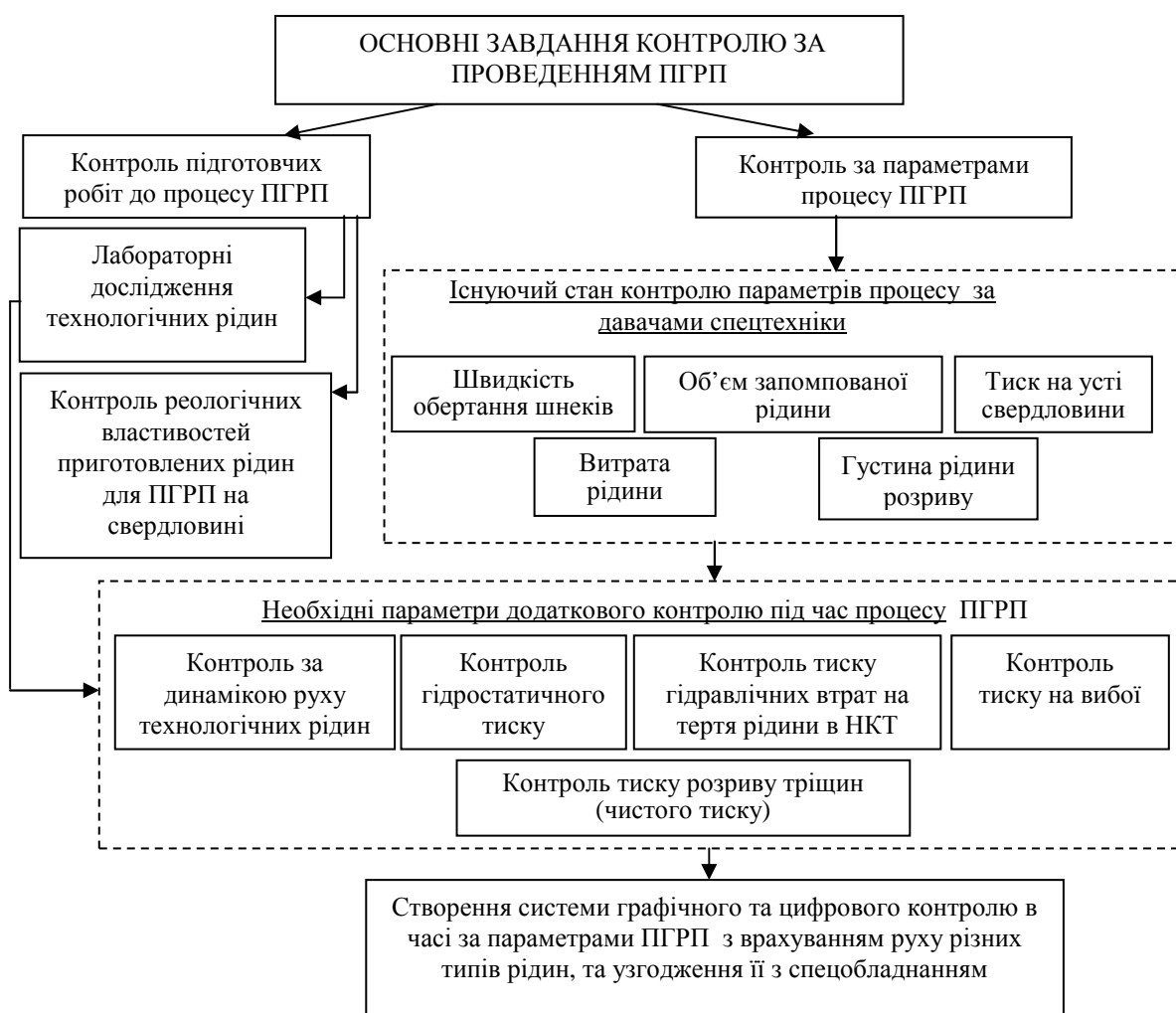


Рис. 1. Загальна структурна схема задач контролю за якістю рідин та технологічними параметрами під час проведення ПГРП

Метою дослідження реологічних характеристик рідин є математичне відображення їх властивостей таким чином, щоб дані, отримані лабораторними приладами, могли бути узагальнені і використані для моделювання процесу в складних умовах проведення гідророзриву.

Найбільшого застосування при дослідженні реологічних властивостей неньютонівських розчинів отримали ротаційні віскозиметри, перевагами яких 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 дослідження величинами і підвищує точність та інтерпретацію вимірювань; можливість виконувати попереднє перемішування

рідини при певному градієнті швидкості зсуву протягом необхідного часу; простота підтримування необхідного температурного режиму досліджуваної рідини під час вимірювань та контролю за ним в часі.

Сучасні ротаційні віскозиметри представляють собою складні комп'ютеризовані високовартісні лабораторні комплекси, які часто вимагають спеціальних умов досліджень та значних затрат часу, що не завжди є можливим.

Приготування технологічних рідин безпосередньо на свердловині є дуже складним та відповідальним процесом, який виконується згідно технології їх приготування і складається з багатьох етапів. За однакового складу але різних умов приготування рідина може мати зовсім різні значення уявної в'язкості та швидкості зсуву. Цей

неньютонівський режим впливає на тертя в насосно-компресорних трубах (НКТ) і тріщинах в породі, а також на здатність рідини транспортувати розклинюючий агент.

Основні завдання промислового контролю за рідинами гідророзриву полягають у дослідженні на відповідність реологічних властивостей рідини розриву на кожному з етапів приготування для своєчасного коригування процесу так, щоб забезпечити потрібні параметри рідини.

Для вирішення поставленого завдання, враховуючи складність проведення досліджень у промислових умовах, запропоновано використовувати ротаційний віскозиметр ВСН-3, принцип дії якого оснований на вимірюванні напружень зсуву у контрольованому середовищі. Мірою напружень зсуву є кут повороту підвісного циліндра навколо своєї осі [2, 3].

Успішність інтенсифікації газонафтовидобутку методами гідророзриву пластів 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.

Необхідно відмітити, що однією з основних вимог до рідин гідророзриву є високі деструкторські властивості після закінчення процесу ПГРП [4].

В зарубіжній практиці гідророзриву велику увагу надають технологічним рідинам, властивості яких визначають динаміку росту тріщини, переміщення та розподіл в ній закріплювача. Від властивостей рідини залежить кінцева довжина закріплення тріщини, її провідність, а також вартість виконання робіт [5,6].

Тому лабораторне вивчення реологічних характеристик рідин ПГРП вимагає оцінки їх параметрів при поверхневих та при пластових умовах.

В загальному випадку можна визначити такі основні завдання лабораторних досліджень:

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

- дослідження стабільності гелю у часі в пластових умовах з метою оцінки можливості їх застосування при проведенні ПГРП;

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

- дослідження впливу тиску на зміну реологічних характеристик (коефіцієнта консистентності та індексу нелінійності) неньютонівських рідин.

Поставлені завдання вимагають застосування лабораторної установки з сучасною системою цифрового зчитування та обробки інформації з широким діапазоном часу опитування датчиків інформації.

За поставленим завданням на базі типового віскозиметра з баротермічними умовами ВСН-2М розроблена установка визначення реологічних параметрів УВРП-1 [7], яка обладнана сучасними датчиками тиску, температури та обертів гільзи, а також системою комп'ютеризованого збору, обробки та збереження інформації (рис. 2).



*Рис. 2. Установка визначення реологічних параметрів УВРП-1*

Установка УВРП-1 має значний діапазон вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин, оскільки оснащена ниткою з широким діапазоном механічних властивостей та можливістю плавного регулювання швидкості обертання рухомого елемента, тоді як в ВСН-3 відбувається дискретне регулювання на встановлених швидкостях. Завдяки цьому забезпечується можливість дослідження високов'язких рідин.

Треба відзначити, що найбільша розбіжність результатів досліджень відмічається на початковому етапі, коли щойно приготовлена в лабораторних

умовах високов'язка неньютонівська рідина не набула свого кінцевого структурного складу. У зв'язку з цим обов'язковим етапом у методичній частині проведення подальших дослідів високов'язких неньютонівських рідин, дослідницькі проби яких є приготовленими в лабораторних умовах, має бути попереднє їх перемішування для вирівнювання характеристик.

З досвіду проведення досліджень на установці УВРП-1 впливу температури на зміну характеристик досліджуваних гелевих рідин визначено, що для кожного з полімерів-гелеутворювачів і гелів на їх основі характерним є певний запас "надлишкової в'язкості", виявлення якого за критерієм реологічної поведінки системи в заданих межах температур дає можливість вносити необхідні корективи як до рецептур приготування рідин гідророзриву, так і до проектування процесу проведення ПГРП в цілому [8].

За теорією Нольта розвиток тріщини можна контролювати, використовуючи інтенсивність зміни кривої чистого тиску розриву під час проведення ГРП, що визначається значенням тангенса кута нахилу кривої тиску розриву в логарифмічних координатах [1]. Величина чистого тиску розриву  $P_{РОЗ}$  вираховується як різниця між вибійним тиском під час гідророзриву  $P_{виб}$  і тиском закриття тріщини  $P_{ЗАКР}$ :

$$P_{РОЗ} = P_{виб} - P_{ЗАКР} \quad (1)$$

Оскільки прямих вимірювань вибійного тиску під час ПГРП не здійснюється, поставлено завдання розробити методичні підходи його визначення на основі даних про зміну тиску на усті свердловини, одержаних від устьових давачів.

В загальному випадку значення вибійного тиску на рівні НКТ можна визначити за такою формулою:

$$P_{виб} = P_{уст} + P_{ст} - P_{втр}, \quad (2)$$

де  $P_{уст}$  – тиск на усті свердловини,  $P_{ст}$  – гідростатичний тиск стовпа рідини в НКТ,  $P_{втр}$  – тиск гідравлічних втрат на тертя в НКТ.

Для вирішення поставлених завдань контролю:

- опрацьовані основні методичні підходи визначення гідравлічних втрат тиску на тертя рідини в трубах [9] та розроблена методика розрахунку градієнту втрат тиску на тертя за відомими реологічними властивостями [10];

- розроблені алгоритми оперативного контролю за динамікою руху технологічних рідин в НКТ під час процесу ПГРП, за зміною гідростатичного тиску, тиску гідравлічних втрат, вибійного тиску та чистого тиску розриву [11,12];

- розроблена та апробована методика розрахунку основних параметрів ПГРП [3,11].

З метою організації проведення контролю за системою визначення параметрів ПГРП в реальному часі процесу розроблена програма „Frloss” [11], яка дозволяє в реальному часі вести контроль основних параметрів процесу у вигляді графіків або діаграм.

Розроблена система графічного та цифрового контролю в часі за параметрами процесу потужного гідророзриву пласта знайшла застосування при проведенні ПГРП у всіх НГВУ ВАТ „Укрнафта”. Комп'ютерна програма “Контроль за параметрами проведення потужного гідророзриву пласта” захищена авторськими правами [13].

1. Nolte K.G. and Smith M.B.: "Interpretation of Fracturing Presures" Sep. 1981.
2. Рабинович Е.З. Гидравлика. – М.: Недра, 1978, -304с. Звіт ЦНДЛ: "Удосконалення технологічної оснащеності для контролю за процесом ПГРП". Договір №01/305, м.Івано-Франківськ, 2002р - 65 с.
4. Григораи В.В., Дранчук М.М., Кісіль І.С., Лаврик Л.В. Параметри рідин для гідравлічного розриву пласта – основні вимоги та їх дослідження // Методи та прилади контролю якості.-2007, №17. – С.97-102.
5. "MFRAC-II" Hydraulic Fracturing Simulator USA Meyer & Associated, Inc. 1994 - 88 с.
6. "The Reology of oil-well drilling fluids" American petroleum institute, USA, 1989.
7. Григораи 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.
8. Звіт ЦНДЛ: "Дослідження реологічних властивостей рідин для ПГРП у пластових умовах на віскозиметрі з використанням цифрових технологій ." Наряд-замовлення №541352. – Івано-Франківськ, 2005. - 62с.
9. Качмар Ю.Д., Григораи В.В. Кісіль І.С. Розробка методологічних підходів для контролю і аналізу процесу гідравлічного розриву пласта// Методи та прилади контролю якості. –2002. - №8. - С. 94-96.
10. Григораи 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.
11. Григораи В.В. Розробка комп'ютеризованої системи контролю за процесом потужного гідророзриву пласта// Методи та прилади контролю якості.-2004. - №12. – С.107-112.
12. Качмар Ю.Д., Бурмич Ф.М., Андрусак А.М., Григораи В.В. Нові технології потужного гідророзриву пласта// Збірник наукових праць. – Івано-Франківськ, 2003. – 302с.
13. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав № 6172 «Комп'ютерна програма. Контроль за параметрами проведення потужного гідророзриву пласта (Frloss)» – 2с.

