

**Любченко К.М., магістр спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології
Науковий керівник: Коровяка Є.А., к.т.н., завідувач кафедри нафтогазової
інженерії та буріння**

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГІДРАВЛІЧНОГО РОЗРИВУ ПЛАСТА В НАФТОГАЗОВІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

Гідравлічний розрив пласта (ГРП) є ключовою технологією для підвищення продуктивності нафтових і газових свердловин, особливо в умовах низькопроникних колекторів і пізніх стадій розробки родовищ. Зростання частки горизонтальних свердловин з багатостадійним ГРП (БГРП) у низькопроникних пластах з проникністю близько 0,1 мД вимагає вдосконалення методів аналізу та оптимізації для забезпечення стабільної експлуатації. Традиційні методи гідродинамічних досліджень свердловин (ГДІС) часто обмежені через припущення про ідентичність тріщин ГРП, що призводить до недооцінки нерівномірності припливу та неефективності окремих стадій [1, 2].

Аналіз геолого-промислових умов застосування ГРП показує, що в період 2010–2020 рр. кількість горизонтальних свердловин з БГРП значно зросла, але проблеми контролю роботи свердловин зберігаються. Використання термоманометричних систем (ТМС) для безперервного моніторингу тиску та дебітів дозволяє оцінювати параметри пласта і тріщин. Лог-лог графіки нормалізованого тиску допомагають діагностувати режими течії, такі як ранній псевдорадіальний (Р-1) і пізній псевдорадіальний (Р-2), для визначення проникності пласта та ефективною напівдовжини тріщин. Однак нерівномірність припливу вздовж горизонтального стовбура, зумовлена розчленованістю пласта та взаємним впливом тріщин, вимагає комбінування ГДІС з промислово-геофізичними дослідженнями (ПГД) для точного розподілу видобутку по стадіях [3, 4]. Традиційний підхід до інтерпретації даних аналізу видобутку/тиску базується на моделі горизонтальної свердловини з ідентичними тріщинами ГРП. Він включає графічний аналіз на подвійних логарифмічних координатах для ідентифікації режимів течії (лінійний, білінейний, псевдорадіальний) та оптимізацію параметрів моделі, таких як проникність пласта k , середня напівдовжина тріщин x_f та провідність F_s . Формула для оцінки проникності за режимом Р-1:

$$k = (B \mu h n_{\text{fact}}) / (2 \pi m_{\text{rf}}),$$

де B – об'ємний коефіцієнт, μ – в'язкість, h – товщина пласта, n_{fact} – кількість працюючих тріщин, m_{rf} – стабілізована похідна.

Цей метод обмежений припущенням про однакову геометрію тріщин, що спотворює оцінки в неоднорідних пластах [5, 6]. Комплексний підхід інтегрує дані ТМС з результатами ПГД для моделювання тріщин з індивідуальними параметрами. Мінімізація нев'язки дебітів:

$$\sum (q_{\text{calci}} - q_{\text{ПГДi}})^2 \rightarrow \min$$

при умові $\sum x_{fi} = n \cdot x_f$, де x_{fi} – напівдовжина i -ї тріщини.

Метод граничної оптимізації за квадратичною апроксимацією враховує межі варіювання довжин тріщин на основі початкових оцінок [7, 8]. Послідовність дій: оцінка пластового тиску за КВД, моніторинг тиску/дебітів не менше 6 місяців, проведення ПГД після встановлення притоку, інтерпретація за моделлю з ідентичними тріщинами, розрахунок індивідуальних x_f з мінімізацією нев'язки, уточнення параметрів пласта. Коефіцієнт детермінації R^2 оцінює якість моделі.

Апробація підходів на реальній свердловині з 10 стадіями БГРП (тривалість спостереження 570 діб, проникність $0,17 \cdot 10^{-3}$ мкм², $x_f \approx 70$ м для 4 працюючих стадій) показала, що модель з індивідуальними тріщинами дає вищу достовірність ($R^2 = 0,85$

проти 0,757 для ідентичних тріщин). Це дозволяє прогнозувати ефект від повторного ГРП на неефективних стадіях.

Методика вибору оптимальної геометрії тріщини для низькопроникних колекторів адаптує класичний розрахунок за безрозмірною провідністю C_{df} та індексом продуктивності J_D . Об'єм тріщини

$$V_f = 2 x_f w_f h,$$

об'єм пропанту $V_p = V_f / (1 + S)$, об'єм дренажу $V_e = \pi r_e^2 h$.

Оптимальна $C_{df\ opt} = k_f w_f / (k x_f)$, максимальний $J_{D\ max} = f(C_{df})$. Для низькопроникних пластів ($k < 1$ мД) обмежується мінімальна ширина $w_f > 3$ діаметрів зерна пропанту, що підвищує ефективність ГРП.

Перспективи застосування кислотного гелю в карбонатних пластах пов'язані зі зниженням числа пропантних ГРП та зростанням кислотних обробок через високу тріщинуватість колекторів. Кисотно-пропантний ГРП (К-ПГРП) з використанням зшитого гелю як пісконесучої рідини забезпечує прирости дебітів на 20–30% вищі, ніж від чистого кислотного ГРП, з тривалістю ефекту до 6 місяців. Досвід стимуляції карбонатних колекторів (вапняки Верейського віку) з концентрацією пропанту 1200 кг/м³ та витратою 3 м³/хв показав подвоєння продуктивності, але вимагає подальшої солянокислотної обробки для очищення тріщин.

Запропонований комплексний підхід до інтерпретації даних ГДІС та ПГД дозволяє враховувати нерівномірність припливу в горизонтальних свердловинах з БГРП, знижуючи невизначеність параметрів тріщин та покращуючи прогнозування видобутку. Оптимізація геометрії тріщин та використання кислотного гелю в карбонатних пластах підвищують ефективність ГРП у низькопроникних колекторах, сприяючи економічній рентабельності розробки.

Список використаних джерел:

1. Давиденко, А.Н., Дудля, Н.А., Хоменко, В.Л. & Пащенко, А.А. (2010). *Руйнування гірських порід планетарними долотами в умовах дії гідростатичного тиску*. Дніпро: Вищ. навч. закл. Нац. гірн. ун-т. 168 с.
2. Ігнатов, А.О., Коровяка, Є.А., Расцветаєв, В.О., Хоменко, В.Л. & Аскеров, І.К. (2022). Вивчення деяких особливостей застосування машин ударної дії в процесах спорудження свердловин. *Editorial Board*, С. 553–560.
3. Камишацький, О., Коровяка, Я., Растцветаєв, В., Яворська, В., Дмитрук, О. & Калюжна, Т. (2022). *On the issue concerning improvement of a mud preparation technology at the expense of hydrodynamic cavitation*. 15 с.
4. Кожевников, А., Хоменко, В., Лю, Б.С., Камишатський, О. & Пащенко, О. (2020). The history of gas hydrates studies: From laboratory curiosity to a new fuel alternative. *Key Engineering Materials*, 844, С. 49–64.
5. Коровяка, Є.А., Хоменко, В.Л. & Пащенко, О.А. (2021). Аналіз впливу закладів вищої освіти на розвиток технологічного прогресу в контексті обміном інформації через цитування патентів. С. 472–478.
6. Мислюк, М.А., Рибчич, І.Й. & Яремійчук, Р.С. (2002–2004). *Буріння свердловин: у 5 т*. Київ: Інтерпрес ЛТД.
7. Пащенко, О.А. & Хоменко, В.Л. (2011). Визначення оптимального кроку різців у породоруйнівному інструменті. *Породоруйнівний та металообробний інструмент – техніка та технологія його виготовлення та застосування*, С. 45–52.
8. Хоменко, В.Л., Ратов, Б.Т., Пащенко, О.А., Давиденко, О.М. & Боращ, Б.Р. (2023). Justification of drilling parameters of a typical well in the conditions of the Samarskoye field. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254, С. 012052.