

© Ю.І. Войтенко
д-р техн. наук
УкрДГРІ

Ефективність потужних методів інтенсифікації нафтогазовидобутку і перспективи їх застосування для нетрадиційних колекторів

УДК 622.245.3. 5:622.276.66

Проаналізовано світовий досвід використання сучасних вибухових технологій інтенсифікації нафтогазовидобутку, імпульсного і стаціонарного гідророзриву пласта (ГРП). Показано перспективу застосування імпульсних аналогів ГРП для розробки нетрадиційних ресурсів.

Ключові слова: вибухові технології, інтенсифікація, нафта, газ, нетрадиційні колектори, гідророзрив.

Проанализирован мировой опыт использования современных взрывных технологий интенсификации нефтегазоводобычи, импульсного и стационарного гидроразрыва пласта (ГРП). Показана перспектива применения импульсных аналогов ГРП для разработки нетрадиционных ресурсов.

Ключевые слова: взрывные технологии, интенсификация, нефть, газ, нетрадиционные коллекторы, гидроразрыв.

The paper gives an analysis of international experience in using modern explosion technologies for stimulation of oil and gas production, pulsed and stationary hydraulic fracturing. The prospect of using pulsed analogues of hydraulic fracturing is shown for developing unconventional resources.

Key words: explosive technologies, stimulation, oil, gas, fracturing, unconventional resources.

Ефективність видобування нафти та газу нерозривно пов'язана із розробкою і застосуванням прогресивних методів інтенсифікації припливу пластових флюїдів. Останнім часом ця проблема стала ще більш актуальною у зв'язку з необхідністю залучення в розробку нетрадиційних колекторів нафти і газу. Усі успіхи під час розробки газосланцевих родовищ у США та інших газових басейнів світу пов'язані із застосуванням одного із методів інтенсифікації нафтогазовидобутку – гідравлічного розриву пласта (ГРП) у горизонтальних свердловинах (ГС). Основним чинником, який гальмує глобальне поширення цієї технології, є необхідність використання значних об'ємів води, змішаної з хімічними домішками, які являють небезпеку для навколишнього середовища і підземних вод.

Якщо для традиційних колекторів основним завданням є збереження колекторських властивостей (порової та тріщинної проникності) під час первинного і вторинного розкриття, відновлення флюїдопровідності в пошкодженій забрудненій зоні навколо свердловини після первинного розкриття, то для нетрадиційних (щільних, газосланцевих) – збільшення флюїдопровідності колек-

тору шляхом утворення нових дренажних каналів – макро- або мікротріщин [1–5]. Мета цієї роботи – проаналізувати ефективність потужних передових технологій інтенсифікації нафтогазовидобутку, спроможних конкурувати з ГРП, та оцінити можливість їх застосування для видобування газу із нетрадиційних колекторів.

У роботі розглянуто фізичні та комбіновані методи інтенсифікації нафтогазовидобутку, зокрема:

новітні методи торпедування пластів;

імпульсний розрив пласта пороховими зарядами, перфораторами-генераторами або пально-окислювальними сумішами (ПОС);

вибухово-хімічні методи (вибух або горіння в середовищах хімічно і фізично активних рідин, які заповнювали вертикальну або похило-скеровану свердловину).

Потрібно зауважити, що фахівці з ГРП вважають гідророзрив пласта найкращою з усіх технологій інтенсифікації нафтогазовидобутку [6–8]. Дійсно, тріщини ГРП не лише мають найбільші розміри (~20–200 м) [6, 9], а й підтримуються в розкритому положенні пропаном, який разом із рідиною нагнітається в тріщину, яка розвивається в пласті. Проникність тріщини ГРП на

декілька порядків перевищує проникність колектору. Відношення витрати пластового флюїду через тріщину $q(2\delta)$ завширшки 2δ до витрати через пористий пласт $q(k, h)$ визначають за формулою $q(2\delta)/q(k, h) = (2\delta)^3/12kh$, де k – проникність колектору, h – потужність пласта. У випадку N тріщин: $q(2\delta)/q(k, h) = N(2\delta)^3/12kh$. Елементарні розрахунки показують, що витрата флюїду через одну тріщину завширшки, наприклад, 0,5 мм буде в 8 333 разів більшою, ніж для пласта потужністю 1 м із проникністю 10^{-2} мкм².

Протягом останніх 40–60 років у передових технологічних країнах світу розвивалися імпульсні аналоги ГРП та вибухові методи інтенсифікації нафтогазовидобутку. До першої групи можна віднести технології термічної обробки твердого палива повільно згораючими зарядами або рідкими горючо-окислювальними сумішами. До другої – різноманітні методи імпульсного гідророзриву пласта з використанням швидко згораючих сучасних порохових генераторів тиску, ПОС, перфораторів-генераторів, сучасні методи торпедування пластів. Технології, представлені цією групою методів, характеризуються більш високими тисками, які, як правило, перевищують порогові тиски гідророзриву, коротшими імпульсами навантажень і можуть утворювати від однієї до кількох тріщин у пласті [1–4].

Ефективність вибухових методів інтенсифікації нафтогазовидобутку досліджували за результатами торпедувань та імпульсних розривів нафтових, нафтогазових, газових і нагнітальних свердловин ПАТ «Укрнафта», ПАТ «Укргазвидобування», деяких видобувних компаній Росії, США, Китаю, Казахстану, В'єтнаму [1–4]. Результати досліджень наведено в таблиці, де для порівняння наведено дані з ефективності ГРП продуктивних пластів у свердловинах ПАТ «Укрнафта», США та СРСР [6–8]. У ній прийнято такі позначення: E – питома енергія, яка передається в пласт під час горіння або вибуху; k_p – пористість породи-колектору.

Аналіз наведених даних свідчить про те, що потужний ГРП не є найефективнішим методом інтенсифікації нафтогазовидобутку. З ним успішно конкурує імпульсний розрив пласта (ІРП) за допомогою ГОС і менш по-

тужні його різновиди: спеціальні методи торпедування, розрив пласта генераторами тиску, генераторами-перфораторами. На нашу думку, залишкове розкриття тріщин ІРП і породи-колектору забезпечується не лише високим тиском і деформуванням стінок тріщин, а й частковим вигоранням органіки в породи-колекторі та пластового флюїду (газоконденсату чи нафти) у разі позитивного кисневого балансу продуктів горіння, термодеструкцією породи-колектора на стінках тріщин розриву та дією атомарного водню на породу, а також високою пластовою енергією [2]. Аналіз даних таблиці, крім того, показує:

ефективність вибухових методів збільшується зі зростанням питомої енергії E , яка передається у пласт під час вибухової дії пристрою (торпеди, генератора тиску, заряду ПОС тощо);

середня ефективність найбільш потужного імпульсного методу розриву пласта в півтора–два рази перевищує інші імпульсні технології.

Максимальний тиск, який розвивається під час горіння ПОС, порохових зарядів і ракетних палив у генераторах тиску, генераторах-перфораторах, під час детонації зарядів у торпедах, як правило, перевищує тиск, який може реалізувати сучасна техніка ГРП. Особливо це актуально для великих глибин ($H \geq 4000$ м). Розміри тріщин визначають сумарна енергія зарядів та час дії надлишкового тиску продуктів горіння або хвильових процесів. Не можна не згадати й економічної складової застосування методів інтенсифікації нафтогазовидобутку. Якщо для традиційних колекторів частка робіт із інтенсифікації припливу нафти і газу становить ~0,1–1%, то для нетрадиційних вона досягає 25% від всієї вартості робіт [5]. При цьому вартість робіт із ГРП на порядок перевищує вартість імпульсних аналогів.

Екологічний порівняльний аналіз технології ГРП та імпульсних його аналогів також не на користь ГРП. У першому випадку необхідні великі об'єми води з додаванням хімічних реагентів, а в другому – продукти горіння і вибуху, які складаються переважно з окислів азоту, вуглецю, води, атомарного водню. Проте потрібно відповісти на основне питання: чи можна ім-

Таблиця

Узагальнені дані з ефективності вибухових та імпульсних технологій у видобувних і нагнітальних свердловинах

Найменування методу	Збільшення дебіту по нафті, мін–макс (середнє)	Збільшення дебіту по газу, мін–макс (середнє)	Збільшення приймальності	E , МДж/м	k_p , %	Породи колектору
Дилатансійне торпедування пластів	1,8–374 (1,8–3)	1,5–16 (2–7)	3,2–7,7	6–20	5–25	Теригенні, карбонатні (низько-, середньопроникні)
Пороховий розрив пласта	1,5–∞ (2–3)	–	–	8–40	9–25	–
Обробка комплексними апаратами (перфораторами-генераторами)	0–∞ (3)	–	–	8–10	3–26	–
Імпульсний розрив пласта за допомогою ПОС	1,25–∞ (3–5)	0–∞ (3–8)	–	50–85	4–25	–
Потужний ГРП	1,5–∞ (3–5)	0–∞	5–10	–	–	–

пульсні аналоги ГРП застосовувати для інтенсифікації газовидобутку із нетрадиційних колекторів? Основна проблема під час розриву нетрадиційного колектору – підтримання берегів тріщини в розкритому стані або утворення залишкового розкриття тріщин хімічним способом. Збільшення проникності щільного пісковика фільтраційним горінням та дифузією атомарного водню потребує додаткового обґрунтування та експериментальної перевірки в натурних умовах.

Непоганою ілюстрацією можливості імпульсних методів у колекторах, наближених за властивостями до щільних, є результати інтенсифікації нафтовидобутку зарядами ПОС на родовищах Литви, де отримано збільшення дебітів свердловин у 1,25–3,9 раза. Пласт-колектор – середньокембрійські відклади, представлені сильно ущільненим кварцовим пісковиком із пористістю 4,1–10,2 % [1]. Порохові генератори та заряди ПОС розробники рекомендують для колекторів із глинистістю ≤ 30 % [1]. Причому йдеться про традиційні колектори, як правило, з достатньо високим пластовим тиском. Окремі позитивні результати отримано в колекторах, складених щільними глинами з зонами АВПТ [1].

Основні типи нетрадиційних колекторів: щільні пісковики, глинисті сланці, вугільні пласти та вміщуючі породи. Згідно з [10], це щільні алевропіщані колектори центральнобасейнового типу, чорносланцеві формації Срібнянської депресії ДДЗ, нижньокам'яновугільні чорносланцеві відклади на північних окраїнах Донбасу і у східному сегменті північного борту ДДЗ та ін. До кожного об'єкта потрібен індивідуальний підхід із урахуванням фізико-механічних властивостей порід, пластової енергії та з підбором техніки й технології.

У зв'язку з проблемою нафтогазоносності великих глибин постає питання розширення кондиційності низькопористих піщаних колекторів та інтенсифікації нафтогазовидобутку на глибинах понад 4500 м. Аналіз десятків результатів закінчення свердловин на родовищах ДДЗ показує, що на глибинах 3100–5580 м часто неефективними є найкращі перфоратори, у т.ч. заряди зарубіжного виробництва глибокого проникнення, а висновки формулюють так: «слабке виділення води, конденсату або газу», «непроникний колектор» або «сухо». Фактично, на глибинах понад 5 км гранулярний колектор нафти і газу в традиційному його розумінні перетворюється на щільний колектор. За відсутності розвиненої тріщинуватості в продуктивному інтервалі отримати рентабельну продуктивність свердловини проблематично навіть шляхом застосування передових технологій розкриття: буріння під час депресії, використання понадглибокої перфорації тощо.

Для таких колекторів і глибин потрібно застосовувати спеціальну техніку і технологію ГРП або його імпульсних аналогів, а також новітні технології розкриття і методи їх проектування, які б давали змогу визначати розміри тріщин ГРП або імпульсного розриву, їх орієнтацію у просторі, яка залежить від розподілу головних компонент гірського тиску, кількість тріщин ГРП, їх флюїдопровідність за наявності або відсутності в них пропанту тощо.

Висновок

Отже, у статті показано, що ефективність імпульсних методів розриву пласта з традиційними колекторами, особливо високоенергетичних, не гірша, ніж ефективність потужного ГРП, і є всі передумови для вирішення проблеми інтенсифікації нафтогазовидобутку із окремих видів нетрадиційних колекторів шляхом адаптації відомих імпульсних технологій до цих нових об'єктів, зокрема на великих глибинах.

Список літератури

1. **Дудаєв С.А.** Газодинамический метод влияния на прискважинную зону пластов с целью повышения их нефтеотдачи / С.А. Дудаєв, В.И. Павлов // Каротажник. – 2010. – № 1. – С. 15–45.
2. **Щербина К.Г.** Хіміко-фізичні основи високотемпературного впливу на привибійну зону свердловини гідрореагуючими складами: автореферат дис. ... докт. техн. наук / Щербина Каріна Григорівна; ВАТ «Український нафтогазовий інститут». – К., 1999. – 34 с.
3. **Михалюк А.В.** Защита обсадных колонн при взрывных работах в скважинах / А.В. Михалюк, Н.А. Лысюк. – К.: ЗАО «Випол», 2009. – 279 с.
4. **Войтенко Ю.И.** Взрывные и импульсные методы интенсификации добычи нефти и газа / Ю.И. Войтенко, В.Д. Кукшин, И.В. Лобанова, А.Г. Драчук // Каротажник. – 2005. – Вып. 3–4 (130–131). – С. 68–80.
5. **Аксельрод С.А.** Добыча газа из глинистых сланцев (по материалам зарубежной печати) // Каротажник. – 2011. – Вып. 1 (199). – С. 80–110.
6. **Гадиев С.М.** Воздействие на призабойную зону нефтяных скважин / С.М. Гадиев, И.С. Лазаревич. – М.: Недра, 1966. – 180 с.
7. **Качмар Ю.Д.** Застосування потужних гідравлічних розривів пласта на родовищах України / Ю.Д. Качмар, А.Б. Меркур'єв, Ф.М. Бурмич, В.М. Савка // Нафт. і газова пром-сть. – 1999. – № 4. – С. 28.
8. **Качмар Ю.Д.** Методика проектування гідророзриву пласта / Ю.Д. Качмар, В.В. Цьомко // Нафт. і газова пром-сть. – 2005. – № 4. – С. 12–15.
9. **Красников С.Я.** Анализ результатов испытаний метода гидродинамической стратификации основной трудно обрушающейся кровли в шахтных условиях // Взаимодействие механизированных крепей с боковыми породами. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1987. – Вып. 45. – С. 53–61.
10. **Лукін О.Ю.** Вуглеводневий потенціал України та основні напрямки його освоєння // Буріння. – 2009. – № 4. – С. 24–32.

Автор статті



Войтенко Юрій Іванович

Доктор технічних наук, за фахом – інженер-механік-дослідник.

Основний напрям наукової діяльності – техніка та технології вторинного розкриття продуктивних горизонтів, технології інтенсифікації нафтогазовидобутку, руйнування гірських порід і геоматеріалів.