

В.П. НАГОРНИЙ, І.І. ДЕНИСЮК

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України
просп. Палладіна, 32, Київ, 03680, Україна

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДОБУВАННЯ ВУГЛЕВОДНІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ

У статті запропоновано імпульсний метод оброблення пластів-колекторів у білясвердловинній зоні з використанням енергії вибуху, який є перспективним альтернативним способом інтенсифікації процесів видобування вуглеводневої сировини. Викладено результати і аналіз експериментальних досліджень поведінки зразків гірських порід при просторових динамічних навантаженнях і на цій основі розроблено нову технологію інтенсифікації видобування вуглеводнів із застосуванням секційних торпед ТС-45. Наведено результати промислових випробувань запропонованої технології, які свідчать про її високу ефективність.

Ключові слова: вибух, видобування, гірська порода, експеримент, енергоносії, інтенсифікація, свердловина, технологія.

ВСТУП

Україна є однією з найстаріших нафтогазовидобувних держав світу. Основні запасами нафтові родовища України перебувають на пізній стадії експлуатації, і дебіт видобувних свердловин постійно знижується. Нині внаслідок скорочення обсягів геологорозвідувальних робіт на нафту і газ зменшилися прирости запасів, що негативно позначається на річному видобутку вуглеводнів.

В умовах дедалі більшого вичерпання значних родовищ вуглеводнів перед енергетичним комплексом України постала надзвичайно важлива проблема – розроблення та впровадження нових підходів і технологій інтенсифікації процесів видобування вуглеводневої сировини. Одним із альтернативних перспективних напрямів є застосування енергії вибуху.

Аналіз наукових, технологічних і виробничих робіт зі сполучення продуктивного пласта з видобувною свердловиною виявив низку

процесів, які впливають на стан проникності порід продуктивних пластів під час експлуатації нафтогазових свердловин. Ці процеси відбуваються на поверхні каналів фільтрації пластів. У результаті утворюються штучні малопроникні перешкоди, що зменшує потенційну можливість гідродинамічних каналів фільтрації. Під дією цих процесів істотно знижується продуктивність свердловин.

Одним із методів підвищення дебіту видобувних свердловин є спрямоване формування фільтраційних можливостей білясвердловинних ділянок. Для поліпшення зв'язку продуктивного пласта зі свердловиною застосовують кілька відомих методів. Вони не завжди ефективні, найчастіше через те, що не враховують зміни у продуктивних пластах у процесі видобування, а також через недостатню обґрунтованість застосування того чи іншого методу інтенсифікації. Один із головних недоліків відомих методів – недостатня вибіркова дія, в результаті чого істотно знижується їх ефективність, особливо на родовищах із багатшаровими розсіченими колекторами різної проникності. Інші недоліки,

такі як потреба в громіздкому устаткуванні (гідророзрив), значні енергетичні витрати (теплове оброблення), висока вартість реагентів (кислотне оброблення та використання поверхнево-активних речовин), менш суттєві [1].

Роботи, виконані в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, показали, що поліпшення фільтраційного стану порід у білясвердловинній зоні можна досягти завдяки створенню штучної тріщинуватості в результаті вибухового розуцільнення порід, що спричинює підвищення проникності масиву.

У роботі [2] зазначено, що розвиток деформаційних процесів у гірських породах залежить як від їх вихідного фізичного стану, так і, значною мірою, від виду навантаження, що характеризується параметром ζ ($\zeta = \sigma_3/\sigma_1$, де σ_3 і σ_1 – найменше і найбільше головні напруження).

В Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України розроблено експериментальний комплекс для вивчення поведінки гірських порід при динамічному навантаженні. Експериментальний комплекс забезпечує створення у випробовуваному зразку породи складного динамічного напружено-деформованого стану з імпульсним характером зміни всіх компонент тензорів напружень і деформацій. Комплекс дає змогу в широких межах змінювати вид напруженого стану зразка при стискуванні – від одновісного до всебічного рівномірного, що забезпечується співвідношенням розмірів робочого простору випробувальної камери і зразка, наявністю чи відсутністю в камері рідини, що спричинює тиск на зразок. Динамічне навантаження створюють за допомогою удару вантажу, що вільно падає. Максимальна похибка визначення параметрів напружено-деформованого стану зразка не перевищує $\pm(5,1-10,8\%)$.

Мінімум спотворювального впливу тертя по торцях і поздовжнього вигину зразка при його навантаженні забезпечується відношенням висоти зразків до їх діаметрів, що змінюється в межах 1,8–2,5. З урахуванням цього, а також об'єму випробувальної каме-

ри розміри випробовуваних зразків становлять: $h_0 \leq (7,0-7,5) \cdot 10^{-2}$ м; $d_0 \leq 5 \cdot 10^{-2}$ м.

Зразки таких розмірів для більшості гірських порід можна розглядати як елементарні об'єми породи.

Під час експериментального вивчення деформування зразків гірських порід при динамічному навантаженні основну увагу приділяли поведінці порід у зоні тисків, порівнянних з міцністю порід, оскільки просторова область вищих тисків від вибуху заряду невелика порівняно із загальною зоною дії вибуху і достатньо вивчена [3].

Фізико-механічні властивості досліджених пісковиків, як найбільш характерних порід – колекторів нафти і газу, такі: щільність $\rho = (2,26-2,54) \cdot 10^3$ кг/м³; пористість $n = 9-24\%$; швидкість поздовжніх хвиль $V_p = (2,38-2,61) \cdot 10^3$ м/с; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,18-0,25$; модуль Юнга $E = (1,24-1,65) \cdot 10^{10}$ Па; межа міцності за одновісного стискування $\sigma_0 = (420-545) \cdot 10^5$ Па.

Деякі результати експериментальних досліджень наведено нижче.

Розуцільнення структури пісковиків у разі нерівномірного динамічного навантаження, зумовлене збільшенням об'єму природної мікротріщинуватості, зародженням і розвитком нових тріщин, впливає на пружні, міцнісні й деформаційні характеристики пісковиків. Так, межа пружності зі зменшенням показника нерівномірності навантаження ζ від 0,2 до 0,05 зменшується в 2,8 раза. Нерівномірність навантаження помітно позначається й на величині зчеплення C . Зі зміною ζ від 0,3 до 0,05 величина зчеплення C зменшується в 1,32 раза.

Число послідовних нерівномірних динамічних навантажень також впливає на характеристики досліджуваних пісковиків. Зі збільшенням числа навантажень до 4 разів модуль Юнга E зменшується в 1,35 раза, а величина зчеплення C – в 3,1 раза.

Отже, пружні (межа пружності), міцнісні (зчеплення) і деформаційні (модуль Юнга) характеристики пісковиків істотно залежать як від виду, так і від числа нерівномірних динамічних навантажень, що має велике значення для підвищення ефективності вибухо-

вої дії на гірський масив. Змінюючи нерівномірність напруженого стану пісковиків, можна досягати зміни його деформаційних і міцнісних характеристик у привибійній зоні пласта (ПЗП), що дає можливість ефективно керувати вибухом у технологічних процесах інтенсифікації припливу вуглеводнів на вибій нафтогазовидобувних свердловин.

Для підсилення розущільнювальної і знеміцнювальної дії вибуху параметри навантаження необхідно вибирати так, щоб збільшити тривалість напруженого стану високої нерівномірності. При цьому високий ступінь нерівномірності навантаження ($\zeta < 0,2$) супроводжується розущільненням і знеміцненням структури пісковиків і в domeжовій області навантаження.

Керувати видом напружено-деформованого стану в масиві ПЗП під час вибуху можна завдяки взаємодії вибухових хвиль, що поширюються в масиві у разі вибуху зарядів з деяким уповільненням один відносно одного. Для реалізації короткосповільненого підриву зарядів у свердловині розроблено секційну торпеду ТС-45 (див. рис.) [4] і технологію її формування [5].

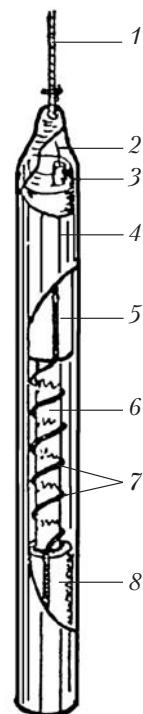


Схема конструкції секційної торпеди: 1 – електрофізичний кабель; 2 – електропровід; 3 – ініціуючий пристрій; 4 – корпус; 5 – заряд вибухової речовини; 6 – стрижень; 7 – детонувальний шнур

Результати випробувань технології підвищення дебіту свердловин з використанням секційних торпед ТС-45

Організація	Номер свердловини	Інтервал, м	Родовища	Тип свердловини	Дебіт до торпедування		Дебіт після торпедування	
					т/добу	м ³ /добу	т/добу	м ³ /добу
НАК «Нафтогаз» України	109	4611–4616	Абазівка	газова		1000		30000
	53	4811–4818	Сх. Полтавське	газова		25000		57000
	60	3660–3667	Скоробогатько	газова		0		20000
	40	2688–2756	Чутівське	газова		16000		32000
	58	4942–4951	Яблунівське	газова		4500		50000
	25	2227–2235	Розумівка	газова		1000		1850
	103	3314–3318	Ланнівське	газова		3000		45000
	24	3445–3450	Матвіївське	газова		0,1		15000
	26	4112–4118	Куличиха	нафтова	0,0		15,0	
ВАТ «Укрнафта»	53	3622–3880	Довбушанка	нафтова	0,6		1,5	
	905	3839–3882	Пасічна	нафтова	0,4		1,7	
	816	3848–3880	Пасічна	нафтова	1,3		2,5	

Сумарний заряд торпеди складається з двох (або кількох) частин зарядів, вибух яких з уповільненням забезпечує можливість створення в масиві ПЗП нерівномірного динамічного навантаження. Необхідний час уповільнення частин зарядів у торпеді реалізують за допомогою спеціального пристрою або відрізка детонувального шнура. Заряди поміщають у спеціальну оболонку — корпус торпеди, що запобігає її руйнуванню під час опускання в розрахований інтервал оброблення.

Основні параметри секційної торпеди ТС-45:

- зовнішній діаметр — $45 \pm 0,2$ мм;
- довжина торпеди в складеному вигляді — $4\ 460 \pm 11$ мм;
- щільність вибухової речовини в торпеді — $1\ 450\text{--}1\ 600$ кг/м³.

Секційні торпеди ТС-45 призначені для вибухового оброблення видобувних свердловин усіх категорій для поліпшення припливів флюїдів за температури до 165°C і тиску до 55 МПа і розраховані на одноразове використання (для одного підривання).

Вибухове розуцільнення структури порід для поліпшення фільтраційних характеристик масиву в ПЗП застосовують у тих свердловинах, де низькі початкова (природна) проникність і пористість пісковиків; забруднення породи в ПЗП у результаті тривалої роботи досягло значних відстаней (2–4 м і більше); застосування традиційних методів оброблення свердловин (кислотні, теплові, поверхнево-активні речовини, гідророзрив та ін.) не дало очікуваного результату.

Умови застосування вибухового методу розуцільнення структури пісковиків:

- пористість порід — 5–25%;
- потужність продуктивних пластів — 1,0–20,0 м і більше;
- тип свердловини — нафтова, газова або нагнітальна;
- конструкція свердловин — з необсадженим і обсадженим стовбуром, із задовільною якістю цементації, можлива робота при опущених насосно-компресорних трубах;

- діаметр свердловин — 114,3 мм і більше;
- глибина свердловин — до 5,5 км.

Промислові випробовування розробленої імпульсної технології для інтенсифікації дебіту свердловин, привибуїні зони яких в інтервалах торпедування складені пісковиками пористістю 10–23%, свідчать про її високу ефективність: дебіт нафтових свердловин зростає в 1,5–2,0 рази, газових в 5,0–10,0 разів [6]. Позитивний ефект стійкий упродовж 3–4 років і більше. Результати інтенсифікації видобутку вуглеводнів наведено в таблиці [7].

Отже, розроблено високоефективну технологію підвищення видобування вуглеводневої сировини з нафтогазоконденсатних родовищ, яку з успіхом можна застосовувати не лише для збільшення дебітів нафтогазових свердловин, а й у перспективі — у процесах інтенсифікації видобування шахтного метану, геотермального тепла, а також при газифікації кам'яного вугілля, вилуговуванні солей та рідкісноземельних елементів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Сучков Б.М.* Интенсификация работы скважин. — М.: Ижевск. полиграф. комбинат, 2007. — 612 с.
2. *Михалюк А.В.* Торпедирование и импульсный гидроразрыв пород. — К.: Наук. думка, 1986. — 208 с.
3. *Родионов В.Н., Сизов М.А., Цветков В.М.* Основы геомеханики. — М.: Недра, 1986. — 301 с.
4. *Пат. № 23947*, Україна. Секційна торпеда для вибухової обробки пласта / В.А. Даниленко, В.П. Нагорний, Л.О. Волгін, М.Г. Денисенко. — Опубл. 11.06.2007; Бюл. № 8.
5. *Пат. № 24981*, Україна. Спосіб формування секційної торпеди для вибухової обробки продуктивних пластів / В.А. Даниленко, В.П. Нагорний, Л.О. Волгін, М.Г. Денисенко. — Опубл. 25.07.2007; Бюл. № 11.
6. *Даниленко В.А., Нагорний В.П.* Технологічний комплекс для інтенсифікації видобутку енергоносіїв // Наука та інновації. — 2006. — Т. 2, № 5. — С. 34–40.
7. *Нагорний В.П., Денисюк І.І.* Імпульсні методи інтенсифікації видобутку вуглеводнів. — К.: Ессе, 2012. — 323 с.

Стаття надійшла 09.04.2013 р.

В.П. Назорний, И.И. Денисюк

Институт геофизики им. С.И. Субботина
Национальной академии наук Украины
просп. Палладина, 32, Киев, 03680, Украина

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ
ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА

В статье предлагается импульсный метод обработки пластов-коллекторов в прискважинной зоне с использованием энергии взрыва, альтернативный известным методам. Изложены результаты и анализ экспериментальных исследований поведения образцов горных пород при пространственных динамических нагрузках и на этой основе разработана новая технология интенсификации добычи углеводородов с применением секционных торпед ТС-45. Приведены результаты промышленных испытаний предложенной технологии, свидетельствующие о высокой ее эффективности.

Ключевые слова: взрыв, добыча, горная порода, эксперимент, энергоносители, интенсификация, скважина, технология.

V.P. Nagorniy, I.I. Denisyuk

Subbotin Institute of Geophysics
of National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladin Ave., Kiev, 03680, Ukraine

INTENSIFICATION
OF PRODUCTION OF HYDROCARBONS
USING THE EXPLOSION ENERGY

The article suggests alternative method, which is known as the method of pulse reservoir processing in the vicinity of borehole with using the energy of explosion. The results and analysis of experimental investigation of the behavior of samples of rocks at spatial dynamic loads are presented, and on this basis the new technology intensification of hydrocarbons production, using sectional torpedoes CT-45 is developed. The results of field tests of the proposed technology, which indicate the high efficiency, are presented.

Keywords: explosion, extraction, rock, experiment, energy bearers, intensification, bore hole, technology.