

В. А. Даниленко, В. П. Нагорний

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ

Анотація: Створено та впроваджено технологічний комплекс для інтенсифікації видобутку енергоносіїв. Технологічний комплекс може застосовуватись для інтенсифікації видобутку нафти, природного газу, шахтного метану, геотермального тепла; при газифікації кам'яного вугілля і вилугованні солей та рідкісноземельних елементів, а також при геофізичних дослідженнях в нафтогазових свердловинах.

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

В. А. Даниленко, В. П. Нагорный. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ.

Аннотация: Создан и внедрен технологический комплекс для интенсификации добычи энергоносителей. Технологический комплекс может использоваться для интенсификации добычи нефти, природного газа, шахтного метана, геотермального тепла, при газификации каменного угля и выщелачивании солей редкоземельных элементов, а также при геофизических исследованиях в нефтегазовых скважинах.

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

V. A. Danylenko, V. P. Nagorni. TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR INTENSIFICATION OF ENERGY BEARERS EXTRACTION.

Abstract: A Technological complex for intensification of energy bearers extraction has been created and introduced. Technological complex can be used for intensification of oil, natural gas, mine methane, geothermal heat extraction as well as for coal gasification and leaching the salts of rare earth elements and geophysical studies within oil-gas bore holes.

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

Фільтраційні характеристики пластів в ділянці біля свердловини зазвичай погіршуються в процесі розробки, що знижує продуктивність свердловин і ступінь освоєння надр. Одним із методів вирішення цієї проблеми є направлене формування фільтраційних можливостей білясвердловинних ділянок. Найефективнішими методами покращання стану цих діля-

нок пластів вважається використання хімічних кислот, поверхнево-активних речовин і розчинників, вібро- і теплообробка, розривання пласта і т. ін. Проте більшість із зазначених методів вимагають громіздкого обладнання, вони немобільні і не забезпечують вибірковою дію, особливо коли йдеться про малопотужні пласти. Альтернативою цим методам є засто-

сування потужної імпульсної дії на середовище пласта, в результаті чого за рахунок створення додаткових каналів фільтрації в білясвердловинній ділянці продуктивність свердловин підвищується.

Роботи, проведені в Інституті геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України (ІГФ НАНУ), показали, що ефективно застосування імпульсних методів (в т. ч. вибуху) для створення штучної тріщинуватості в продуктивному пласті можливе на основі керування поведінкою порід при імпульсних навантаженнях, що супроводжується створенням нерівноважного стану в масиві пласта і, як результат, розуцільненням його структури і підвищенням проникності породи в білясвердловинній ділянці. Це сприяє збільшенню дебіту свердловин.

Для збільшення дебіту свердловин в ІГФ НАНУ в рамках виконання інноваційного проекту було розроблено "Технологічний комплекс для інтенсифікації видобутку енергоносіїв". Комплекс містить:

- експериментальний стенд та методику дослідження поведінки зразків порід-колекторів продуктивних пластів при динамічному навантаженні;
- багатозондовий прилад нейтронного каротажу для оцінки величини області кольматації у привибійній зоні продуктивних пластів;
- методику розрахунку параметрів вибухових робіт для розуцільнення порід у зоні кольматації;
- торпеди секційні ТС-45, які впроваджені у виробництво.

Розроблений проект забезпечує проведення комплексних досліджень в декілька етапів:

- 1) дослідження керна матеріалу зразків гірських порід при динамічному їх навантаженні для визначення оптимальних умов розуцільнення структури порід і амплі-

тудних характеристик імпульсної дії та нерівноважності напруженого стану;

- 2) вибір параметрів зарядів вибухових речовин, вибух яких призводить до реалізації оптимальних умов розуцільнення структури порід;
- 3) розробка та впровадження вибухових пристроїв-торпед, дія яких на білясвердловинний масив призводить до оптимальних умов розуцільнення структури порід;
- 4) гідродинамічні дослідження свердловин для визначення параметрів пластів та зони забруднення;
- 5) проведення процесу вибухового торпедування свердловин;
- 6) дослідження динаміки свердловин після торпедування.

При виборі раціональних параметрів імпульсного навантаження з метою підвищення проникності порід в привибійній зоні продуктивного пласта (ПЗП) необхідно в першу чергу знати ті зміни, що відбуваються в масиві при його навантаженні. Поведінка зразків гірських порід в умовах імпульсного навантаження досліджується в лабораторних умовах із застосуванням експериментального комплексу. Комплекс включає: камеру для досліджень, контрольно-реєструючу апаратуру, системи для імітації гірського і порового тисків і установку для динамічного навантаження зразків.

Вид напруженого стану в зразках визначається в залежності від співвідношення розмірів зразка і об'єму камери, де він досліджується, а також від наявності в камері рідини, що обтискує зразок. З урахуванням цього експериментальний комплекс дає можливість реалізувати у зразку породи напружено-деформований стан в широких межах – від одноосного до всебічно рівномірного з можливістю утворення у зразках попередньо-напруженого стану і імітацією порового тиску в ньому.

Область і умови навантаження зразків визначаються такими, щоб досягти направленої зміни фізико-механічних властивостей масиву і в подальшому використати ці дослідження для розробки динамічних методів дії на породи-колектори з метою підвищення їх фільтраційних можливостей. Надійність роботи експериментального комплексу визначається співставленням об'ємних деформацій досліджуваних зразків з відомими еталонними матеріалами. При цьому встановлено, що максимальна похибка у визначенні параметрів напружено-деформованого стану зразка не перевищує $\pm 5,1-10,8\%$.

Встановлено, що зміною виду напружено-деформованого стану можливо досягти певного розуцільнення гірських порід. Важливо те, що розуцільнення супроводжується досить суттєвою незворотною складовою, внаслідок чого породи після імпульсної обробки мають більш високі фільтраційні властивості.

На основі експериментальних досліджень ядерного матеріалу зразків гірських порід при їх динамічному навантаженні визначаються оптимальні умови розуцільнення структури порід і амплітудні характеристики імпульсної дії та нерівноважність напруженого стану.

Керувати видом напружено-деформованого стану при вибуху можна за рахунок суперпозиції вибухових хвиль, що поширюються в масиві при підриванні зарядів з деяким сповільненням один відносно одного. Визначальною вихідною характеристикою при розрахунку параметрів вибуху при торпедуванні свердловин є потрібна глибина вибухової обробки масиву в привибійній зоні свердловини.

Для реалізації сповільненого підривання зарядів у свердловині з метою створення в масиві привибійної зони навантажень за рахунок суперпозиції хвильових процесів розроблена спеціальна конструкція торпед ТС-45 та технологія їх виготовлення. Сумарний заряд торпеди може складатися з двох (або декількох) зарядів. Кількість зарядів визнача-

ється умовою створення в масиві максимального протяжного в часі напружено-деформованого стану високої нерівноважності.

Торпеда ТС-45 складається з трьох секцій: головної, уповільнюючої та хвостової.

Оболонки торпед не повинні мати тріщин, розшарувань, вм'ятин. Допускаються незначні дефекти зовнішнього вигляду, неглибокі подовжні подряпини, темні і світлі плями без шорсткості.

Основні параметри і характеристики торпед такі:

- зовнішній діаметр торпед повинний бути $45 \pm 0,2$ мм;
- довжина торпеди в зборі повинна бути $4\,460 \pm 11$ мм;
- щільність вибухової речовини (ВР) у торпеді $1\,450-1\,600$ кг/м³;
- торпеди повинні детонувати від патронів вибухових ПВГ-ТУ УЗ.50-14314452-1 10-99; ПВЗД-ТУ УЗ. 5,0-14314452-134-90;
- торпеди повинні передавати детонацію від секції до секції за допомогою заряду ЗУТВС-ТУ В 05540215.019-00;
- імовірність передачі від секції до секції повинна бути не менш 0,99 при довірчій імовірності 0,9;
- при спрацюванні торпед у свердловинах допускається руйнування колони свердловини в місцях, де проведено її перфорацію;
- матеріали і складові частини, застосовувані для виготовлення торпед, повинні задовольняти вимогам діючих стандартів і технічних умов і мати документи, що засвідчують їхню якість.

Торпеди секційні ТС-45 призначені для вибухової обробки видобувних свердловин усіх категорій для поліпшення припливів флюїдів при температурі до $140\text{ }^\circ\text{C}$ (для торпед ТС-45-140/55) і $165\text{ }^\circ\text{C}$ (для торпед ТС-45-165/55) та тиску до 55 МПа і розраховані на одноразове застосування (для одного підривання).

Позначення торпед при їхньому замовленні: ТС-45-140/55 ТУ В 00540215.009-01; ТС-45-165/55 ТУ В 00540215.009-01, де ТС – торпеди секційні; 45 – діаметр торпеди секційної, мм; 140, 165 °С – максимальна температура застосування; 55 МПа – максимальний тиск застосування.

Після опускання торпеди в свердловину на задану глибину здійснюють її підривання.

При монтажі торпед і їх опусканні в свердловину дотримуються вимог "Технічної інструкції по проведенню підривних робіт у свердловинах".

При проведенні робіт по торпедуванню свердловин значні навантаження при вибуху передаються як в породний масив привибійної зони, за рахунок чого відбувається руйнування породи і підвищення її проникності, так і по флюїду, що заповнює свердловину. Саме такого виду навантаження можуть призвести до аварійного стану основних колон, появи міжпластових перетоків та ін. Для попередження таких негативних явищ застосовуються різні засоби захисту свердловин, які дають можливість знижувати амплітуду вибухової хвилі при поширенні її по основній колоні до безпечного рівня.

Головними вимогами до засобів захисту свердловин є достатня ефективність гасіння вибухових хвиль, велика надійність і безаварійність у роботі і, до певної міри, простота виготовлення і застосування. При виборі методу захисту свердловин від уражаючої дії вибуху необхідно знати можливі величини допустимих тисків в основній колоні, за яких гарантовані стійкість і герметичність колони. Граничний тиск в обсадній трубі визначається із умови, що радіальне переміщення внутрішньої стінки цементного кільця і зовнішньої стінки обсадної труби викликають граничні напруження в цементному камені.

Контроль за зміною характеристик колектора після вибухової обробки здійснюється таким чином.

Попередньо (до проведення вибухових робіт) проводяться гідродинамічні дослідження свердловин із застосуванням двох методів: методу сталих відборів і методу відновлення тиску. За даними досліджень при сталих режимах визначаються параметри пласта безпосередньо у ПЗП, дослідження при нестійких режимах використовуються для встановлення радіуса забруднення ПЗП, а також для визначення параметрів пласта у віддаленій його частині.

Окрім того, для визначення пористості, характеру насичення колекторів та оцінки величини зони кольматації використовується розроблений при виконанні проекту багато-зондовий прилад нейтронного каротажу.

Прилад має кращі (порівняно з аналогами) геофізичні характеристики, а саме:

- підвищену швидкість лічби імпульсів і, відповідно, кращу статистичну точність вимірювань;
- збільшену глибинність дослідження;
- зменшений вплив свердловинних факторів.

Реалізація запропонованого приладу разом з відповідним інтерпретаційно-методичним забезпеченням відкриває нові можливості вдосконалення технології радіоактивного каротажу.

Таким чином, на основі комплексу теоретичних, лабораторних, полігонних та промислових досліджень дії імпульсного навантаження на масив, проведених при виконанні інноваційного проекту, отримані такі результати:

- виявлені нові закономірності деформування геофізичних структурованих середовищ із врахуванням попередньо-напруженого стану, явищ нерівноважності, просторової і часової нелокальностей та фізико-хімічних перетворень;
- побудовані нові моделі структурованих геофізичних середовищ та розроблені нові методи, алгоритми та пакети програм для

Таблиця 1. Результати впровадження технологій підвищення дебіту свердловин, розроблених в Інституті геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України

№ пор.	Підприємство	№ свердл.	Інтервал, м	Порода	Пористість, %	Тип свердл.	Діаметр колони, мм	Дебіт до торпедування		Дебіт після торпедування	
								т/добу	м ³ /добу	т/добу	м ³ /добу
1	ВО „Юганськнафтогаз” (РФ)	587	2 510–2 525	пісковик	22,3	нафтова	146,0	20,2	39,4		
		612	2 570–2 583	пісковик	21,7	нафтова	146,0	15,0	52,5		
		688	2 420–2 436	пісковик	23,5	нафтова	146,0	7,2	40,02		
2	П-во „Астраханьгазпром” (РФ)	112				нагітальна			Коефіцієнт продуктивності свердловин збільшився в 6,2–7,9 рази, позитивний ефект стійкий в часі (до 10–17 місяців).		
		113				нагітальна			Підвищення дебіту в 1,3–1,4 рази		
3	Астраханське НГВУ (РФ)	322				нафтова			До торпедування – на шайбі 19 мм – P = 42 атм, після торпедування на шайбі 22 мм – P = 50 атм		
		334				нафтова			Підвищення дебіту в 1,3–1,4 рази		
4	АЗОГ „Північгазсервіс” (РФ, Уренгой)	15 284				газова			До торпедування – на шайбі 19 мм – P = 42 атм, після торпедування на шайбі 22 мм – P = 50 атм		
									Підвищення дебіту в 1,3–1,4 рази		
5	Газпромислове управління „Полтавагаз-видобування” (Україна)	26	4 112–4 118	пісковик	11–13	нафтова	140,0	0,0	15,0	38 000	
		40	2 688–2 756	доломіт	17–23	газова	127		18 000	50 000	
		58	4 942–4 951	пісковик	17–19	газова	139,7		4 500	20 000	
		60	3 860–3 867	пісковик	13–15	газова	140		0	30 000	
		109	4 611–4 616	пісковик	17,0	газова	140		10 000	57 000	
		53	4 811–4 818	пісковик	8–9	газова	140		25 000		
6	Газпромислове управління Шебелінкагаз-видобування” (Україна)	120	1 450–1 478	пісковик	25,0	нагітальна	167,8	тиск нагнітання на усті свердловини зменшився від 100 до 15 атм			
		103	3 314–3 318	пісковик	14,2	газова	139,7		3000	45 000	
7	НГВУ „Надвірнафтогаз” (Україна)	816	3 816–3 880	пісковик	10,0	нафтова	140,0	1,3		2,5	

Інноваційні проекти Національної академії наук України

- дослідження динаміки деформування таких середовищ;
- запропоновано ряд способів визначення петрофізичних параметрів та ряд зондових пристроїв для здійснення цих способів;
- розроблена та виготовлена прострільно-вибухова апаратура для формування в оптимальному режимі імпульсно-хвильового навантаження в білясвердловинному просторі та розкриття продуктивних пластів;
- розроблені та впроваджені новітні ресурсозберігаючі технології інтенсифікації видобутку корисних копалин (нафти, газу, шахтного метану, геотермального тепла) з урахуванням структури природного середовища, попередньо-напруженого стану, нерівноважного тепломасообміну.

Розроблений технологічний комплекс вибухового розуцільнення структури порід для покращення фільтраційних характеристик масиву в білясвердловинній ділянці пластів застосовується в тих свердловинах, де:

- початкова проникність і пористість порід у білясвердловинній ділянці пластів недостатня;

- в результаті тривалої роботи забруднення породи в білясвердловинній ділянці пласта досягло значних розмірів (3–5 м та більше);
- застосування традиційних методів обробки свердловин (кислотні та теплові обробки, обробки ПАР, гідророзрив та інше) не дали очікуваного результату.

Умови застосування вибухового методу розуцільнення структури порід такі:

- пористість порід – 5–25 % (краще, коли пористість менша);
- потужність робочих пластів – від 1,0 до 20 м та більше;
- тип свердловини – нафтова, газова та нагнітальна;
- конструкція свердловин – з не обсадженим та обсадженим стовбуром, із задовільною якістю цементажу (можлива робота при опущених НКТ);
- діаметр свердловини – від 114,3 мм та більше;
- глибина свердловини – до 5,5 км.

Принципово новим у інноваційному проєкті, є те, що він у комплексі вирішує питан-

Таблиця 2. Порівняльна таблиця техніко-економічних показників розробленої в Інституті геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України технології та її аналогів (із зазначенням джерел за аналогами)

№ пор.	Методи обробки свердловин	Кількість обробок	Кількість успішних обробок	Додатковий видобуток		Додатковий видобуток на 1 обробку	
				нафта, т	газ, млн.м ³	нафта, т	газ, млн м ³
1	Гідророзрив пласта (РФ) [1]	306	200	399 608		1 306	
2	Кислотна обробка (РФ) [1]	986	459	562 333		570	
3	Обробка поверхнево-активними речовинами (РФ) [1]	16	6	1 920		120	
4	Гідропіскоструменева перфорація (РФ) [1]	42	16	12 625		300	
5	Розроблена в ІГФ НАН України технологія вибухового розуцільнення порід в привибійній зоні пласта (РФ, Україна) [2]	27	27	42 147	39,9	2 007	6,65

ня інтенсифікації видобутку енергоносіїв імпульсними методами з урахуванням структури білясвердловинного простору, що дає можливість виготовити прострільно-вибухову апаратуру, яка гарантовано сформує стійкі канали фільтрації в навколосвердловинному середовищі.

Промислові впровадження розробленого комплексу для інтенсифікації видобутку енергоносіїв засвідчили його високу ефективність (табл. 1 і 2): дебіт нафтових свердловин підвищується в 1,5–2,0 рази, газових в 5,0–20,0 разів, економічний ефект на 1 грн., вкладену в обробку свердловини, складає 35,0–40,0 грн. прибутку.

Технологічний комплекс може застосовуватись для інтенсифікації видобутку нафти, природного газу, шахтного метану, геотермального тепла, а також при газифікації кам'яного вугілля і вилуговуванні солей та рідкісноземельних елементів, геофізичних дослідженнях в нафтогазових свердловинах. Мож-

ливе використання розробок у рудній геофізиці, гідрогеології, інженерній геології, екологічних дослідженнях.

Споживачами інноваційних продуктів, отриманих при розробці технологічного комплексу, є Національна акціонерна компанія "Нафтогаз України", вуглевидобувні підприємства та аналогічні за профілем роботи підприємства інших країн.

Технологічний комплекс захищений 45-а патентами України на винахід. Досягнуті науково-технічні результати відображені в 133-х наукових працях.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Попов А. Л.** Ударные воздействия на призабойную зону скважин. – М.: Недра, 1990. – 136 с.
2. **Куль А. Й., Нагорний В. П., Семенякін П. В.** Інтенсифікація видобутку газу на свердловинах ДП "Полтавагазпром". // Нафтова і газова промисловість. – 1977. – № 4. – С. 27.

Надійшла до редакції 06.02.06
