

**В.П. Нагорний<sup>1</sup>, І.І. Денисюк<sup>1</sup>, Л.О. Волгін<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ

<sup>2</sup> НІЦ «Металообробка вибухом» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

## **НОВІТНІ ІМПУЛЬСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИДОБУВНИХ ТА НАГНІТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН ПРИ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН**



*Проведено теоретичні та експериментальні дослідження поведінки гірських порід при підриванні зарядів вибухових речовин. Створено ряд нових технологій, прилади та обладнання для підвищення продуктивності видобувних і нагнітальних свердловин при розробці корисних копалин.*

*Ключові слова: вибух, видобуток, експеримент, інтенсифікація, корисні копалини, пристрої, свердловина, технологія.*

В умовах очевидного і прогресуючого вичерпання родовищ корисних копалин однією із надзвичайно важливих проблем для енергетичного комплексу України є розробка нових підходів та технологій інтенсифікації процесів видобутку корисних копалин, в т.ч. методами свердловинної геотехнології.

Слід зауважити, що ефективність робіт при розробці корисних копалин геотехнологічними методами із використанням імпульсної дії залежить в першу чергу від властивостей порід в білясвердловинній області, яку називають привибійною зоною і яка в значній мірі визначає рівень фільтрації флюїдів.

Аналіз наукових, технологічних і виробничих робіт по сполученню продуктивного пласта з видобувною свердловиною дає можливість виявити низку процесів, які впливають на стан проникності привибійної зони пластів (ПЗП) при експлуатації геотехнологічних свердло-

вин. Ці процеси протікають на поверхні каналів фільтрації пластів і утворюють штучні малопроникні перешкоди, чим знижують потенціальну можливість гідродинамічних каналів фільтрації. Під дією цих процесів суттєво зменшується продуктивність свердловин. Для покращення зв'язку продуктивного пласта із свердловиною застосовують ряд відомих методів, з яких ефективними є не більше половини. Найчастіше це відбувається через неврахування змін у продуктивних пластах у процесі видобутку і недостатню обґрунтованість застосування того чи іншого методу інтенсифікації. Одним із головних недоліків відомих методів дії на ПЗП є недостатня вибіркова дія, в результаті чого суттєво знижується їх ефективність, особливо на родовищах із багат шаровими розсіченими колекторами різної проникності. Інші недоліки, такі, як потреба в громіздкому устаткуванні (гідророзрив), великі енергетичні витрати (теплові обробки), висока вартість реагентів (кислотні обробки та використання поверхнево-активних речовин) менш суттєві.

Одним із альтернативних перспективних методів свердловинної геотехнології є імпульсна обробка привибійних зон продуктивних пластів. Роботи, виконані в Інституті геофізики НАН України, показали, що ефективно застосування імпульсних методів для покращення стану ПЗП за рахунок створення штучної тріщинуватості базується на основі керування імпульсним навантаженням гірських порід у цих зонах.

Відомо, що ефективними способами керування процесом імпульсного навантаження гірських порід є регулювання амплітудою, тривалістю та швидкістю навантаження, взаємодія хвильових процесів у просторі та часі, оптимальний просторовий розподіл і вибір раціональних схем імпульсної дії. В процесі вибухового навантаження на масив важливу роль відіграють як вибухові хвилі, що розповсюджується по масиву, так і газоподібні продукти детонації, які, розширюючись, підсилюють ефективність дії вибуху. Крім того, при використанні геотехнологічних методів розробки корисних копалин необхідно враховувати попередній напружений стан масиву, обумовлений наявністю гірського тиску, оскільки це суттєво при розробці корисних копалин на великих глибинах. Важливі також теоретичні та експериментальні дослідження частотного розподілу енергії імпульсного навантаження на масив, що дає можливість дослідити коефіцієнт затухання в залежності від частоти хвильової дії та визначити оптимальні умови хвильової обробки масиву і частоту цієї дії.

З метою цілеспрямованого збільшення зони вибухової дії на продуктивний пласт в процесі торпедування (що особливо важливо при значних забрудненнях привибійної зони) з використанням теорії спектрів проведено аналіз процесу поширення коливань, що генеруються циліндричним зарядом вибухової речовини (ВР). В результаті одержано аналітичну формулу для розрахунку амплітудно-частотних спектрів в гірських породах в залежності від їх фізичних властивостей та параметрів цилін-

дричного заряду ВР, а також аналітичні залежності, які дозволяють прогнозувати частотний розподіл енергії вибухового навантаження в гірському масиві, що дає можливість активно керувати процесом імпульсного навантаження порід.

Були проведені теоретичні дослідження впливу поперечної складової імпульсного навантаження на ефективність імпульсної обробки масиву [1–3]. Встановлено, що з метою збільшення радіуса тріщинуватості, утвореної в процесі імпульсного навантаження, необхідно створювати в масиві напружений стан з нерівномірністю в межах  $-1 < \sigma_3 / \sigma_1 < 0$ , де  $\sigma_1$  і  $\sigma_3$  головні значення (найбільше і найменше) компонент тензора напружень. Одержаний результат добре узгоджується з експериментальними даними робіт інших авторів.

Із застосуванням теорії спектрів вивчався вплив нестаціонарних навантажень на гірський масив в залежності від тривалості їх дії. На основі підрахунків розподілу енергії по діапазонах частот знайдені найбільш доцільні інтервали сповільнення підривання зарядів один відносно іншого, що знаходяться в межах  $(0,5 \div 0,75) \tau_1$ , де  $\tau_1$  – тривалість імпульсної дії одного заряду. Нами були побудовані діаграми частотного розподілу енергії вибухового навантаження в залежності від кількості зарядів, що підриваються в групі. Аналіз діаграм показав, що, використовуючи схему підривання зарядів з різною кількістю зарядів у групі і періодично повторюючи навантаження, можна досягнути перерозподілу енергії імпульсної дії на гірський масив по частотах. Циклічність повторення вибухових імпульсів необхідно вибирати такою, щоб вона забезпечувала максимальну передачу енергії породі привибійної зони продуктивного пласта та достатню інтенсивність напружень у віддалених точках. Характерна особливість методу повторення імпульсних навантажень полягає в тому, що послідовні збурення повинні виходити із однієї свердловини. Саме ця вимога відрізняє обговорюваний метод від методу підривання

зарядів із затримкою на короткий час між вибухами у сусідніх свердловинах.

При виконанні робіт по проекту було проведено цикл комп'ютерних розрахунків процесів вибухів одиночних зарядів у напруженому середовищі на глибинах від 1 000 до 5 000 м. За критерій руйнування прийнято критерій Мізеса із межами пружності та руйнування, які залежать від тиску. Отримано залежності об'ємів зони мікро- та макроруйнувань від глибини розташування зарядів. Знайдено, що із зростанням глибини об'єми зон мікро- та макроруйнувань зменшуються. При збільшенні амплітуди навантаження об'єм зон руйнування збільшується.

Проведено чисельне моделювання довгих хвиль в двокомпонентних шаруватих періодичних середовищах *вода—твердий компонент* [4]. Малі акустичні збурення рухаються як і в усередненій задачі. Поведінка ударного фронту така, як і в задачі про поршень. За ударним фронтом спостерігаються коливання параметрів на фоні усередненого руху, що обумовлено впливом мікроструктури середовища. Виконано чисельне моделювання еволюції двох різних навантажень в сильно неоднорідному періодичному середовищі *вода—повітря*. Акустичне збурення проявляє усереднені властивості. Дія поршня викликає значні коливання параметрів на масштабах порядку періоду структури. Усереднений рух при цьому не проявляється.

Проведено чисельне моделювання дії трьох експериментальних навантажень на шаруваті періодичне двокомпонентне середовище. Його мікроструктура призводить до зафронткових коливань параметрів процесу. Дія електроімпульсу викликає коливання параметрів в періодичному середовищі на значній відстані від переднього фронту збурення.

Теоретично встановлено, що ефективність перенесення енергії імпульсного навантаження в геофізичному середовищі на значній відстані визначається крутістю зростання початкового імпульсу до максимального значення,

при цьому тривалість навантаження майже не відчутна.

В результаті проведення експериментальних досліджень встановлено [5]:

1) при підриванні зарядів в моделях гірських масивів швидкість поширення ударних хвиль в інтервалі до 40 радіусів заряду змінюється несуттєво;

2) з віддаленням від джерела вибуху зростають часові характеристики вибухових імпульсів;

3) зміна матеріалу серцевини трубчастих зарядів призводить до зміни частотних спектрів ударних хвиль, що може використовуватися для ефективного керування спектральними характеристиками навантажень в привибійних зонах свердловини при їх торпедуванні;

4) порівняння часових характеристик імпульсу показали, що при наявності обсадної труби в привибійній зоні свердловини незалежно від типу заряду тривалість дії динамічної фази вибуху змінюється несуттєво;

5) використання пористих матеріалів для серцевин трубчастих зарядів дає можливість при значному підвищенні долі низьких частот в імпульсному навантаженні гірського масиву знизити тиск впродовж стовбура свердловини.

Підвищити коефіцієнт корисної дії імпульсного навантаження продуктивного пласта можна шляхом впровадження нових конструкцій вибухових пристроїв, використання яких забезпечить найбільш повне спрямування хвильового потоку в простір біля свердловини. Аналіз пристроїв із застосуванням різної форми зарядів та різним розміщенням і ініціюванням частини заряду показує перспективність наших розробок для створення нерівноважного напруженого стану в оброблюваному масиві, результатом впровадження яких є створення штучної тріщинуватості і покращення фільтраційних характеристик масивів в ПЗП та підвищення дебіту свердловин [6—12].

Відомо, що дебіт видобувних свердловин багато в чому залежить від якості розкриття продуктивних пластів. Вітчизняні перфоратори не в повній мірі задовольняють потреби надійно-

го сполучення продуктивного пласта із свердловиною. Нині в Україні розроблені більш потужні перфоратори на рівні перфораторів зарубіжної фірми Schlumberger та передових світових стандартів, що спроможні пробивати канали у породі продуктивного пласта протяжністю до 70–80 см. Діаметр перфораторів – 38–40 мм.

В процесі спорудження, експлуатації і ремонту свердловин виникають аварійні ситуації, обумовлені різними чинниками. Особливо гостро стоїть проблема, пов'язана із зминанням колон, коли необхідно видалити ушкоджену ділянку колони, для чого використовують труборізи різних типорозмірів. В процесі роботи над проектом були розроблені труборізи посиленої дії, що забезпечують достатню якість ремонтних робіт. Розроблені нами труборізи діаметром 45, 94, 109 мм забезпечують надійне обрізання бурових, обсадних і насосно-компресорних труб зовнішнім діаметром 60, 127, 146 мм відповідно.

Для оцінки ефективності різних видів обробки видобувних свердловин, в т.ч. нагнітальних, пропонуються розроблені нами пристрої, що відповідають світовим стандартам. Пропоновані нами геофізичні прилади забезпечують надійну діагностику пористості білясвердловинного простору в межах ПЗП та ідентифікацію складових фаз флюїду без зупинки технологічного процесу видобутку вуглеводнів.

Основною перевагою розроблених нами геофізичних пристроїв для дослідження порід перед існуючими в білясвердловинній області є істотне збільшення глибини досліджень, одночасне визначення пористості порід і характеру їх насичення, оцінка радіуса зони кольматації, можливість проведення робіт в умовах обсаджених і необсаджених свердловин, в т.ч. наявності насосно-компресорних труб [13, 14]. Розроблені імпульсне обладнання та технології забезпечують вибухову обробку свердловин при гідростатичному тиску до 65 МПа і температурі до 165 °С. Пористість оброблюваних порід – 5÷25 %; краще, коли пористість

менша. Потужність продуктивних пластів від 1,0 до 20,0 м та більше. Тип свердловин – нафтова, газова, нагнітальна, геотермальна. Конструкція свердловин – з необсадженим та обсадженим стовбуром, можлива робота при опущених насосно-компресорних трубах. Діаметр свердловин від 114,3 до 216 мм і більше. Глибина свердловин – до 5 500 м.

Розроблена нами секційна торпеда для імпульсної обробки нафтогазовидобувних свердловин для підвищення їх дебіту не має аналогів серед вітчизняних та зарубіжних розробок. Переваги такої секційної торпеди над торпедами шашкового типу полягають у тому, що при їх використанні здійснюється більш потужна імпульсна обробка білясвердловинного простору із забезпеченням створення штучної тріщинуватості в масиві ПЗП в межах до 3,0–4,0 м, що суттєво при обробці сильно закольматованих порід.

Споживачами створених нами інноваційних продуктів є нафтогазовидобувні управління НАК «Нафтогаз України» і аналогічні по профілю роботи підприємства інших країн. Парк свердловин, що потребують обробки для підвищення їх дебіту, складає більше 1 000 свердловин. Щодо перфораторів, то кожен рік використовується не менше 100 000 перфораторних зарядів різних типів як для розкриття нових пластів, так і для проведення робіт по розкриттю вже перфорованих горизонтів. Окрім того, створений продукт може бути застосований для видобутку шахтного метану, геотермального тепла, а також при вилуджуванні солей та рідкоземельних елементів.

Об'єктами впровадження нових імпульсних технологій та обладнання для підвищення дебіту видобувних свердловин були свердловини родовищ НАК «Нафтогаз України» та ВО «Укрнафта». В результаті впровадження було досягнуто середнє підвищення дебіту свердловин: по нафті – 1,5–2,5 разів, по газу – 2–10 разів. Позитивний ефект стійкий в часі – 2 роки та більше. Додатковий видобуток продукції на св. № 103 (родовище Ланна) ГПУ «Шебелинкагазвидобуван-

ня» за період від 01.01.2008 до 12.12.2008 р. склав: по газу 13,4 млн.м<sup>3</sup>, по конденсату — 152,3 т. Газопромислові управління «Полтавагазвидобування» та «Шебелінкагазвидобування» планують і в подальшому впроваджувати імпульсні технології та обладнання для підвищення дебіту нафтогазовидобувних свердловин.

В період виконання робіт по проекту було розширено термобаричні межі застосування секційних торпед ТС-45 для вибухової обробки продуктивних пластів. Секційна торпеда ТС-45 вперше була використана для розкриття продуктивного пласта в межах 5 585—5 590 м. Торпеда спрацювала повністю. Ускладнень в процесі проведення вибухових робіт не було. Розроблений в процесі виконання робіт по проекту геофізичний прилад СНК-76 пройшов випробування в одно- і двократно обсаджених газових свердловинах. Результати радіоактивного каротажу (РК) порівнювалися з відповідними даними серійного приладу типу СРК-73 2ННКт, а також з результатами, отриманими до обсадки — АК та стандартного комплексу (ГК, БКЗ, БК, ІК, ПС та ін.). Інтерпретація свердловинних вимірювань приладом СНК-76 (визначення пористості, оцінка характеру насичення колекторів та коефіцієнта газонасиченості, оцінка положення газоводяного контакту) проводилась як в межах комплексу РК, так і разом з іншими методами геофізичних свердловинних досліджень.

Результати випробувань приладу СНК-76 показали, що застосування його підвищує інформативність і точність каротажу порівняно з серійними приладами, що використовуються при геофізичному дослідженні свердловин.

Новітні імпульсні технології та обладнання в процесі виконання робіт по проекту захищені 10-ма патентами України на винаходи. Досягнуті науково-технічні результати відображені в 17-и наукових працях.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Нагорний В.П., Денисюк І.І., Рудюк Я.О.* Теоретичні дослідження впливу поперечних хвиль на ефективність імпульсної обробки масиву у привибійній зоні продуктивного пласта // *Нафтова і газова промисловість.* — 2008. — № 5. — С. 20—22.
2. *Нагорний В.П., Денисюк І.І., Рудюк Я.А.* Влияние поперечных волн на эффективность взрывного разрушения горных пород // *Изв. вузов. Горный журнал.* — 2008. — № 8. — С. 45—52.
3. *Нагорний В.П., Денисюк І.І., Петрушенко С.В., Рудюк Я.А.* О влиянии коэффициента поперечной деформации на взрывное разрушение горных пород // *Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках. Материалы XVIII Межд. научн. школы им. акад. С.А. Христиановича, Крым, Алушта, 22—28 сентября 2008 г.* — С. 232—237.
4. *Даниленко В.А., Куліч В.В.* Чисельне моделювання довгохвильових процесів в двохкомпонентних баротропних шаруватих середовищах // *Препринт ВГФ ІГФ ім. С.І. Субботіна НАН У, Київ, 2008.* — 16 с.
5. *Поляковський В.О.* Експериментальне дослідження хвильових полів під час підривання вибухових пристроїв різної конструкції на осі свердловини // *Нафтова і газова промисловість.* — 2008. — № 4. — С. 36—41.
6. *Патент* на корисну модель № 32810 «Спосіб вибухової обробки продуктивних пластів» // *Нагорний В.П., Денисюк І.І.* Оpubліковано: 26.05.2008. Бюл. № 10.
7. *Патент* на корисну модель № 33190 «Спосіб вибухової обробки продуктивних пластів» // *Нагорний В.П.* Оpubліковано: 10.06.2008. Бюл. № 11.
8. *Патент* на корисну модель № 33191 «Спосіб вибухової обробки продуктивних пластів» // *Нагорний В.П.* Оpubліковано: 10.06.2008. Бюл. № 11.
9. *Патент* на корисну модель № 33192 «Торпеда для вибухової обробки продуктивних пластів» // *Нагорний В.П., Денисюк І.І.* Оpubліковано: 10.06.2008. Бюл. № 11.
10. *Патент* на корисну модель № 33866 «Спосіб вибухової обробки продуктивного пласта» // *Нагорний В.П., Денисюк І.І., Рудюк Я.О.* Оpubліковано: 10.07.2008. Бюл. № 13.
11. *Патент* на корисну модель № 35056 «Спосіб вибухової обробки продуктивного пласта» // *Нагорний В.П., Єгер Д.О., Балакіров Ю.А., Денисюк І.І.* Оpubліковано: 26.08.2008. Бюл. № 16.
12. *Патент* на корисну модель № 35066 «Торпеда для вибухової обробки пласта» // *Нагорний В.П., Куль А.Й., Волосник Е.О., Денисюк І.І.* Оpubліковано: 26.08.2008. Бюл. № 16.
13. *Кармазенко В.В., Кулік В.В., Бондаренко М.С.* Многозондовые приборы нейтрон-нейтронного каротажа, реализующие три модификации НК: по медленным нейтронам, по надтепловым нейтронам, по кадимевой разности // *VII Международная научно-прак-*

тическая конференция АИС «Новые технологии и техника исследования нефтегазовых скважин». — К: 2008. — С. 62—67.

14. Стасів О.С., Бондаренко М.С., Кулик В.В., Кармазенко В.В. Дослідження нафтогазових колекторів у свердловинах старого фонду за допомогою нових приладів радіоактивного каротажу // Тези конф. «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища». — Львів: 2008. — С. 37—38.

*В.П. Нагорный, И.И. Денисюк, Л.А. Волгин*

НОВЕЙШИЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ПРОДУКТИВНОСТИ ДОБЫВАЮЩИХ  
И НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Проведены теоретические и экспериментальные исследования поведения горных пород при взрывании зарядов взрывчатых веществ. Создан ряд новых технологий, приборов и оборудования для повышения произво-

дительности добывающих и нагнетательных скважин при разработке полезных ископаемых.

*Ключевые слова: взрыв, добыча, эксперимент, интенсификация, полезные ископаемые, устройства, скважина, технология.*

*V.P. Nagornyj, I.I. Denisyuk, L.O. Volgin*

THE NEWEST PULSE TECHNOLOGIES  
AND EQUIPMENTS FOR INCREASING  
OF THE PRODUCTION OF EXTRACTION  
AND INJECTION WELLS  
AT MINERAL RESOURCES MINING

Theoretical and experimental investigations of rocks under the detonation of explosive charges were carried out. A number of new technologies and devices for increasing the yield of extracting and injecting wells at mining operation were developed.

*Key words: explosion, extraction, experiment, intensification, mineral resources, equipment, bore hole, technology.*

Надійшла до редакції 12.06.09