

Винахід відноситься до області геофізичного дослідження свердловин і, зокрема, призначений для фіксації перфораційного вибуху, визначення його повноти та зкспрес-оцінки результатів вибуху щодо розкриття проникного пласту і фільтраційних властивостей призабійної зони.

Відомий спосіб контролю перфораційного вибуху [1] шляхом прийому на вусті свердловини за допомогою акустичного датчика, встановленого безпосередньо на торці обсадної колони, акустичного сигналу, що збуджується детонацією перфораційних зарядів і розповсюджується по колоні обсадних труб. Після підсилення, фільтрації, детектування та інтегрування сигнал порівнюється з пороговим рівнем шумів у точці прийому. Перевищення акустичним сигналом порогового рівня призводить до спрацьовування порогового пристрою і вмикання індикатора, що ідентифікується з наявністю перфораційного вибуху.

Недолік вказаного способу та виконаного на його основі пристрою полягає у наступному. Як відомо, колона бурильних труб є каналом зв'язку з характеристикою смугового фільтру, частотний діапазон котрого знаходиться в інтервалі 6-12кГц. Такі високі частоти при розповсюдженні на відстань 3-5км зазнають значного згасання, обумовленого не тільки матеріалом труб та замковими з'єднаннями, але і втратами за рахунок перевипромінювання акустичного поля в породу. У зв'язку з цим спостерігаються варіації величини згасання в залежності від порід, що перетинаються свердловиною, і від ступеня зв'язку обсадної колони з оточуючим середовищем. У більшості випадків рівень сигналу виявляється недостатнім. Підвищення чутливості не призводить до бажаних результатів, оскільки одночасно знижується завадозахищеність. Короткі удари по металічних конструкціях бурової збуджують цуги хвиль, частотний спектр котрих співпадає зі вказаним діапазоном. Відмічені причини створюють умови пропуску перфораційного вибуху або його хибну фіксацію, коли насправді детонації не відбулося. Відомий спосіб та пристрій принципово не дозволяє робити висновок про повноту перфораційного вибуху. Як вже відмічалось, частотний спектр сигналу формується частотною характеристикою каналу зв'язку (колони бурильних труб) і через це частотна ознака не є інформаційною. Оскільки величина згасання сигналу суттєво залежить від пружних параметрів порід, що оточують свердловину, від зв'язку колони з породами та інших факторів, то половинне неспрацювання детонуючих зарядів чинить на амплітуду сигналу менший вплив, ніж сукупність вищевказаних умов.

Каротажний фотореєстратор при використанні відомого пристрою фіксує лише спрацьовування порогового пристрою, а не сам сигнал (стандартний каротажний фотореєстратор не може забезпечити реєстрацію настільки високих частот). Отримані діаграми мають малу інформативність.

У якості прототипу обраний спосіб контролю перфораційного вибуху у свердловині (технічна реалізація котрого дається у відомому пристрої [2]). Спосіб реалізується шляхом прийому акустичного сигналу, що збуджується детонацією перфораційних зарядів і приходить по буровій рідині до вустя свердловини. Сигнал приймається заглибленим акустичним датчиком, інформаційна складова сприймається в заданому часовому вікні, синхронізованому по імпульсу підпалу вибухової машинки. Параметри прийнятого акустичного сигналу порівнюються з параметрами розрахункового сигналу, отриманого з урахуванням глибини очікуваного перфораційного вибуху, внутрішнього діаметру колони на ділянці перфорації і передбачуваної кількості зарядів, у двох переналагоджуваних по частоті паралельних каналах, динамічний діапазон яких відповідає максимальній амплітуді акустичного сигналу. В одному із каналів смуга пропускання сполучена з частотною характеристикою розрахункового сигналу, а в другому суміжна і зміщена, по відношенню до першого, в область більш високих частот. По перевищенню вихідної напруги одного з каналів відносно іншого виноситься рішення про факт перфораційного вибуху та його повноту, при цьому первинний сигнал з імпульсом підпалу для документування реєструється каротажним фотореєстратором.

Реалізація вказаного способу здійснена у "Пристрої контролю перфораційного вибуху у свердловині" [2], що містить перетворювач пружних коливань, з'єднаний з послідовно ввімкненими підсилювачем, першим фільтром, першим детектором та першим інтегратором, пороговий елемент, з'єднаний зі звуковим та першим світловим індикаторами і каротажний реєстратор, і відрізняється тим, що, з метою підвищення надійності, він забезпечений двома узгоджувачами блоками, елементом порівняння, двома часовими селекторами, інвертуючим блоком, формувачем, очікуючим мультівібратором, тригером дозволу, тональним генератором звукових частот, модулятором, другим фільтром і другим детектором, інтегратором, другим та третім світловими індикаторами. Перетворювач пружних коливань виконаний у вигляді гідрофона з можливістю встановлення у буровій рідині свердловини. Перший та другий фільтри виконані, як такі, що перебудовуються, з суміжними смугами частот, одна з котрих вища за іншу. При цьому вихід підсилювача з'єднаний зі входами другого фільтра та модулятора, виходи інтеграторів з'єднані з двома входами елемента порівняння, вихід котрого одночасно під'єднаний до першого часового селектора та інвертуючого блока, а вихід інвертуючого блока з'єднаний зі входом другого часового селектора. На другі входи обох часових селекторів підключений вихід тригера дозволу, вхід котрого з'єднаний з виходом формувача. Вихід формувача з'єднаний зі входом очікуючого мультівібратора, вихід котрого підключений на вхід встановлення тригера дозволу. Входи двох узгоджувачів блоків відповідно з'єднані з виходами двох фільтрів і одночасно з виходом формувача. Виходи узгоджувачів блоків підімкнені до каротажного фотореєстратора, запускаючий вхід тонального генератора звукових частот підключений до виходу формувача, а вихід тонального генератора звукових частот з'єднаний з модулятором, вихід котрого підімкнено до звукового індикатора.

На Фіг.1 приводиться структурна схема відомого пристрою. Пристрій має гідрофон 1, підсилювач 2, перший переналагоджуваний фільтр 3, перший детектор 4, перший інтегратор 5, узгоджувачі каскади 6 і 7, фотореєстратор 8, другий переналагоджуваний фільтр 9, другий детектор 10, другий інтегратор 11, схему порівняння 12, колектор каротажного підйомника 13, перший часовий селектор 14, інвертуючий каскад 15, формувач 16, перший світловий індикатор 17, другий часовий селектор 18, очікуючий мультівібратор 19, тригер дозволу 20, другий світловий індикатор 21, третій світловий індикатор 22, тональний генератор звукових частот 23, модулятор 24 та звуковий індикатор 25.

Гідрофон 1 підімкнений до підсилювача 2, вихід котрого під'єднаний до переналагоджуваних фільтрів 3 і 9. Виходи фільтрів підключені на входи двох детекторів 4 і 10 та одночасно через узгоджувачі каскади 6 і 7 з'єднані з фотореєстратором 8. Виходи двох детекторів 4 і 10 підключені на входи двох інтеграторів 5 і 11, а їх виходи

з'єднані з двома входами порівнюючого пристрою 12. Вихід порівнюючого пристрою 12 підключений на перший часовий селектор 14 і одночасно через інвертуючий каскад 15 на другий часовий селектор 18. Кожен із часових селекторів поєднаний з індикаторами 17 і 22 відповідно. Формувач 16 з'єднаний з колектором 13, вихід якого одночасно підключений на входи узгоджувача каскадів 6 і 7, на входи очікуючого мультівібратора 19 і тригера дозволу 20. Вихід очікуючого мультівібратора 19 під'єднаний до установочного входу тригера дозволу 20, а вихід тригера дозволу підключений на другі входи часових селекторів 14 і 18. Запускаючий вхід тонального генератора звукових частот 23 підключений до виходу формувача 16, а вихід тонального генератора звукових частот під'єднаний до модулятора 24, вихід якого підключений до звукового індикатора 25.

Пристрій працює таким чином.

Імпульс підпалу від вибухової машинки через колектор каротажного підйомника 13 подається на електродетонатор перфораційних зарядів, відбувається вибух. Низькочастотне акустичне поле, що збуджується пульсаціями газового пузиря, розповсюджуючись по буровій рідині свердловини, через деякий час досягає гідрофона 1. Одночасно імпульс підпалу від колектора 13 потрапляє на високоомний вхід формувача 16.

Сформований стандартний імпульс з виходу формувача подається на входи очікуючого мультівібратора 19 і тригера дозволу 20. При перекиданні тригера дозволу знімається блокуюча напруга з часових селекторів 14 і 18 та одночасно вмикається лампочка світлового індикатора 21, що сигналізує про проходження імпульсу підпалу. Сигнал від гідрофона 1 підсилюється в підсилювачі 2 і подається на переналагоджувані фільтри 3 і 9. Їх параметри і, отже, частотні смуги встановлюються в залежності від діаметра свердловини, кількості перфораційних зарядів і глибини їх закладення. При цьому перший із смугових фільтрів 3 налагоджений на частоту, відповідні параметрам очікуваного вибуху, а переналагоджуваний фільтр 9 має частотну смугу, зміщену відносно першого в бік високих частот.

Якщо відбувся вибух (повна детонація всіх зарядів), то акустичний сигнал без послаблення пройде через переналагоджуваний фільтр 3, продетектується на детекторі 4 і після інтегратора 5 напруга огинаючої сигналу потрапляє на схему порівняння 12. Через те, що смуга пропускання переналагоджуваного фільтра 9 зміщена, то той же сигнал на його виході буде послаблений і після проходження аналогічних пристроїв - детектора 10, інтегратора 11 - амплітуда напруги, що подається на другий вхід схеми порівняння 12, буде меншою, ніж на першому. При цьому полярність вихідного сигналу схеми порівняння 12 виявляється такою, що спрацює перший часовий селектор 14 (при умові перевищення сигналом порогового рівня на протязі 10 - 15 с).

Після спрацювання часового селектора 14 спрацює світловий індикатор 17 і загориться лампочка, яка сигналізує, що відбувся повний вибух. При детонації не всіх зарядів більшим по амплітуді виявиться сигнал на виході переналагоджуваного фільтра 9, на виході схеми порівняння 12 з'явиться сигнал з напругою іншої полярності. Перший часовий селектор 14 по цій причині не спрацює, але завдяки інвертуючому каскаду 15 полярність сигналу виявиться потрібною для спрацювання другого часового селектора 18. Загориться лампочка індикатора 22, що сигналізує про неповний вибух. Якщо жодний із вказаних двох індикаторів не спрацював, то можна стверджувати, що вибух не відбувся. Одночасно сигналом від формувача 16 запускається тональний генератор звукових частот 23, під'єднаний до модулятора 24. Через те, що управляючий вхід модулятора під'єднаний до виходу підсилювача 2, то під дією змінної напруги акустичного сигналу відбувається модуляція тонального сигналу, що і буде відмічено звуковим індикатором 25. Переваги існуючого способу:

а) приймається акустичний сигнал, що розповсюджується по буровій рідині. Його відмітна особливість - низькочастотний спектр, мале затухання і значна протяжність у часі. Все це забезпечує впевнене виділення сигналу на фоні перешкод. Підвищення завадозахисту досягається і тим, що вимірювання починається тільки після появи імпульсу підпалу від вибухової машинки з використанням часової селекції в інтервалі часового вікна з тривалістю, що дорівнює тривалості акустичного сигналу. Вказані операції підвищують завадозахист, а отже і надійність ідентифікації перфораційного вибуху;

б) по зміні спектрального складу прийнятого сигналу в залежності від глибини, діаметру колони і кількості зарядів, що вибухнули, за допомогою вказаних операцій можна визначити повноту вибуху, що розширює функціональні можливості запропонованого способу у порівнянні з раніш описаним;

в) діаграми, отримані при запису акустичного сигналу з імпульсом підпалу, дають можливість документувати перфораційні роботи, що проводяться. При цьому запис акустичного сигналу, що збуджується детонацією зарядів, по амплітуді, частоті і тривалості суттєво відрізняється від шумових завад і може надійно підтверджувати факт вибуху, а часовий проміжок між імпульсом підпалу і приходом першого вступу акустичного сигналу дозволяє оцінити глибину вибуху і тим самим встановити можливі промахи під час проведення прострілочних робіт. Слід зазначити, реєстрація імпульсу підпалу дозволяє контролювати справність вибухової машинки і тим самим виключити непотрібні спуско-підйомні операції.

Незважаючи на переваги вказаного способу, слід відмітити і ряд його суттєвих недоліків, що знижує технічні можливості способу і відомого пристрою [2].

Якщо фіксація факту перфораційного вибуху досягається з високою достовірністю, то визначення повноти вибуху (кількості зарядів, що здетонували) пов'язане з нездоланими труднощами.

Це викликано з одного боку відсутністю інформації про затухання акустичного сигналу при розповсюдженні його від місця вибуху до вустя свердловини, а з другого - грубе сполучення каналів з параметрами очікуваного і реального акустичного сигналу. Висновок про повноту вибуху спирається на частотну ознаку. Частота пропускання одного з каналів вибирається із умови детонації всіх зарядів перфоратора, а смуга другого зміщується в область високих частот, при цьому верхня гранична частота першого співпадає з нижньою граничною частотою другого. При неповному вибуху визначити точну кількість зарядів, що здетонували, принципово неможливо. Крім того, у випадку половинного спрацювання перфоратора амплітуда вихідних сигналів першого і другого каналів виявиться близькою одна до другої і вирішальний вплив на оцінку повноти вибуху може справити випадкова завада.

Таким чином контроль перфораційного вибуху в свердловині по вказаному способу включає вирішення двох задач - впевнене встановлення факту спрацювання перфоратора і наближена оцінка повноти вибуху. Однак слід відмітити, що визначальною задачею при проведенні прострілочних робіт є не тільки фіксація факту

перфорацийного вибуху, але й оцінка його результатів - констатація відсутності гідродинамічного зв'язку "свердловина - пласт" або встановлення факту розкриття проникного пласту при штатному спрацюванні перфоратора, з однозначним визначенням фільтраційних властивостей призабійної зони.

Очевидно, вищеописаний спосіб не зможе повністю вирішити вказану задачу. Метою винаходу є підвищення надійності і розширення функціональних можливостей.

Поставлена ціль досягається завдяки тому, що у відомому способі контролю перфорацийного вибуху у свердловині шляхом прийому акустичного сигналу, який збуджується детонацією перфорацийних зарядів і приходить по буровій рідині на вустя свердловини, сигнал приймається заглибленим акустичним датчиком в заданому часовому вікні по імпульсу підпалу вибухової машинки. Параметри прийнятого акустичного сигналу по відомому алгоритму порівнюються з параметрами розрахункового сигналу, отриманого з урахуванням глибини очікуваного перфорацийного вибуху, внутрішнього діаметру колони на ділянці перфорачії, передбачуваної кількості зарядів і типу ВР. По ступеню відхилення параметрів прийнятого акустичного сигналу від розрахункового виносяться рішення про факт перфорацийного вибуху і його повноти. Для документування прострілочних робіт первинний акустичний сигнал з імпульсом підпалу записується на носій інформації. Крім того, додатково перед початком прострілочних робіт і після їх закінчення збуджують підривом одиночних перфорацийних вибухових патронів на глибині нижче продуктивного пласта, що розкривається, два реперних акустичних сигнали. Перший із них використовується для нормування амплітуди наступних акустичних сигналів, що збуджуються перфорацийними вибухами, а по ступеню затухання другого реперного акустичного сигналу відносно першого виносять рішення про факт розкриття проникного пласта, з оцінкою фільтраційних властивостей призабійної зони.

При цьому, при розщепленні першого реперного акустичного сигналу, повторний реперний акустичний сигнал в кінці прострілочних робіт не збуджується.

Ознаками запропонованого способу, відмінними від прототипу, є додаткові операції:

- збуджується реперний акустичний сигнал підривом одиночного перфорацийного заряду;
- підрив одиночного перфорацийного заряду відбувається нижче продуктивного пласта, що розкривається;
- збудження реперного акустичного сигналу здійснюється двічі, перед початком прострілочних робіт і після їх закінчення;
- перший реперний акустичний сигнал використовується для нормування амплітуди наступних акустичних сигналів, що збуджуються перфорацийними вибухами; по ступеню затухання другого реперного акустичного сигналу відносно першого виносять рішення про факт розкриття проникного пласта з оцінкою фільтраційних властивостей призабійної зони; при розщепленні першого реперного акустичного сигналу повторний реперний акустичний сигнал в кінці прострілочних робіт не збуджується.

Для ілюстрації наведено графічні матеріали:

- на Фіг.1 наведена структурна схема відомого пристрою;
- на Фіг.2 представлений результат експерименту на полігоні ПЕГДС;
- на Фіг.3 показані фотографії акустичних сигналів, зареєстрованих під час проведення прострілочних робіт;
- на Фіг.4 представлена структурна схема "Пристрою контролю перфорацийного вибуху".

Суть запропонованого способу полягає у використанні додаткових операцій, котрі разом з відомими забезпечують досягнення нового позитивного ефекту. Як уже відмічалось раніше, відомий спосіб і його технічна реалізація забезпечують впевнене встановлення факту перфорацийного вибуху і дають досить приблизну оцінку його повноти. Оскільки використовується частотна ознака ідентифікації числа здетонованих зарядів, то перекриття частот акустичних сигналів, що спостерігається, при близькому числі зарядів не дозволяє встановити їх чисельне значення.

У вказаному пристрої динамічний діапазон тракту вибирається із умов неспотвореного прийому максимально можливої амплітуди акустичного сигналу (при одночасній детонації найбільшої кількості зарядів у перфораторній збірці). В цілому, амплітудні характеристики прийнятих акустичних сигналів не використовуються з причини відсутності можливості їх нормування по кількості здетонованих зарядів, з урахуванням затухання сигналів на шляху розповсюдження від ділянки вибуху до точки прийому. Додаткові операції, вказані в запропонованому способі, а саме - збудження реперного акустичного сигналу перед початком прострілочних робіт шляхом підриву одиночного перфорацийного вибухового патрона і його прийом на вусті свердловини, - забезпечують нормування амплітуди наступних акустичних сигналів, що збуджуються перфорацийними вибухами, з урахуванням їх затухання на шляху розповсюдження (амплітуди кожного акустичного сигналу вимірюються при одних і тих же умовах). Враховуючи, що амплітуда акустичного сигналу пропорційна його енергії, а енергія сигналу в свою чергу пропорційна енергії здетонованих зарядів, то при вимірюваному значенні амплітуди реперного акустичного сигналу (що відповідає підриву одиночного вибухового патрона) шляхом нормування можна визначити число здетонованих зарядів при спрацюванні перфоратора. Очевидно, що одночасне використання амплітудних характеристик прийнятих акустичних сигналів, нарівні з частотними, дозволить більш надійно визначити параметри перфорацийного вибуху.

Друга частина задачі - оцінка результатів прострілочних робіт по розкриттю продуктивного пласта - забезпечується іншими додатковими операціями, викладеними у заявленому способі:

- збудження реперного акустичного сигналу відбувається двічі - перед початком прострілочних робіт і після їх завершення;
- по ступеню затухання другого реперного акустичного сигналу відносно першого виносять рішення про факт розкриття проникного пласту, з оцінкою фільтраційних властивостей призабійної зони. Можливість вирішення поставленої задачі вказаними операціями підтверджується наступним. Обсадна колона, заповнена рідиною, є хвильовим каналом для розповсюдження низькочастотної трубної хвилі (хвиля Лемба), котра являє собою каналову хвилю поршневого типу, яка розповсюджується у стовпі рідини, що заповнює свердловину, із швидкістю C_t , завжди меншою, ніж швидкість розповсюдження пружних коливань в необмеженому середовищі, тобто $C_t < C_0$.

Як показують теоретичні дослідження [3], якщо розріз високошвидкісний, коли виконується умова $V_s > C_0$, де V_s - швидкість поперечної хвилі в оточуючому масиві породи, то розповсюдження трубної хвилі вздовж осі свердловини відбувається без перевипромінювання пружної енергії в оточуючий простір. У випадку

низькошвидкісного розрізу ($V_S < C_0$) можливі два випадки:

- якщо $C_T < V_S < C_0$ - труба хвиля не випромінює енергію в оточуючий простір;
- при $V_S < C_T < C_0$ відбувається перевипромінювання енергії, що призводить до затухання трубною хвилі.

Через те, що остання умова можлива лише на незначній ділянці верхньої частини свердловини, то в цілому затухання трубною хвилі, викликане перевипромінюванням пружних коливань в оточуючий простір, вкрай незначне. Вязкі втрати в буровій рідині і втрати енергії за рахунок тертя на внутрішній поверхні колони також малі через низьку частоту збуджуваних коливань і їх можна не враховувати. Крім того, існують втрати енергії при відбитті трубною хвилі на забої і в буровій рідині на великих глибинах в більшості випадків порядку трьох і більше, тобто $Z_H/Z_P \geq 3$, що відповідає коефіцієнту відбиття $K_{від} \geq 0.5$. Враховуючи вищезгадане, можна припустити, що при збудженні трубною хвилі в свердловині будуть спостерігатися її багатократні відбиття. Всі висновки про мале затухання трубною хвилі справедливі при низьких частотах (одиноці, десятки Герц), тому необхідно оцінити частотний спектр акустичних сигналів, збуджуваних перфораційним вибухом. Частота збуджуваного сигналу в основному визначається частотою пульсації газового пузиря, що виникає в момент вибуху перфораційних зарядів, і залежить від двох основних факторів - від величини (маси) заряду ВР і глибини вибуху. Від першого фактору залежність обернено пропорційна, а від другого - частота пульсації, при інших рівних умовах, збільшується з глибиною.

Згідно формули, наведеної в роботі [4], період пульсації газового пузиря під час вибуху в рідині і в умовах вільного простору визначається із співвідношення:

$$T = \frac{k \cdot \sqrt[3]{G}}{(H + 10.3)^{5/6}}$$

де T - період пульсації [сек],

G - маса ВР [кг],

H - глибина вибуху [м],

K - коефіцієнт, що залежить від типу ВР (для тротилу 2,1).

Сумарна вага зарядів перфоратора в залежності від довжини збірки може складати сотні грам ВР. Для орієнтовної оцінки періоду пульсації газового пузиря у вільному просторі виконаємо розрахунок, використовуючи вказану залежність. При вхідних даних, близьких до тих, що спостерігаються при проведенні прострілочних робіт: $G=250\text{гр}=0,25\text{кг}$, $H=4000\text{м}$, отримуємо період пульсації $T=1.31 \cdot 10^{-3}$ сек, що відповідає частоті коливань $f=760\text{Гц}$.

Як відмічено у роботі [4], близькість границь розподілу до детонуючого заряду впливає на період пульсації газового пузиря. Аналізуються найпростіші умови, коли пульсуюча сфера знаходиться поблизу вільної поверхні, біля дна водоймища або біля жорсткої стінки. Підриг заряду у вузькій трубі не розглядається через складність процесу, що відбувається. Як відмічається в [2], виходячи із загальних фізичних принципів, можна припустити, що період пульсації пропорційний відстані, яку проходять межі газового пузиря від мінімальної до максимальної в процесі його пульсації.

Якщо вважати, що об'єм газопродуктів при вибуху залишиться сталим при даному тиску незалежно від наявності чи відсутності границь, то з рівності об'ємів сферичної і циліндричної порожнини висота останньої відноситься до радіуса сфери, як відношення квадратів радіуса сфери до радіуса циліндричної порожнини, з коефіцієнтом $4/3$. При співвідношенні $R_{сф} \gg r$ період пульсації у вузькій циліндричній порожнині збільшується більш ніж на два порядки у порівнянні з вільним простором, чим і можна пояснити виникнення низькочастотних акустичних коливань. Але слід відмітити, що максимальний радіус газового пузиря пропорційний енергії вибуху (тобто масі заряду ВР) і обернено пропорційний гідростатичному тиску. Глибини, на яких проводяться прострілочні роботи, досягають величини п'яти і більше тисяч метрів. Зі збільшенням глибини максимальний радіус газового пузиря зменшується і, як показують розрахунки, при детонації заряду ВР у необмеженому середовищі, приведена вище нерівність стає не настільки великою. Разом з тим, як буде показано нижче, навіть підриг поодиноким перфораційним вибуховим патроном з масою ВР порядку 10гр призводить до збудження у свердловині низькочастотних акустичних коливань. Можна припустити, що в умовах свердловини існує ще якийсь механізм (наприклад вплив тертя об стінки свердловини), який призводить до збільшення періоду пульсації газового пузиря.

Для отримання більш точної емпіричної залежності періоду коливань акустичного сигналу, що збуджується детонацією ВР в умовах свердловини, від маси ВР, глибини підригу і діаметру колони потрібен додатковий аналіз матеріалів по результатах контролю прострілочних робіт з використанням запропонованого способу.

Раніше проводились натурні дослідження на базі геофізичного полігону ПЕГДС (Полтавської експедиції геофізичних досліджень свердловин) з метою вивчення можливості прийому на вусті свердловини акустичного сигналу, що збуджується перфораційним вибухом. Методика дослідження полягала у наступному.

На перфораторі встановлювався тільки один вибуховий патрон типу ПВГУ 250/1500. Перфоратор опускався у свердловину на задану глибину. У вустя свердловини, заповненої водою, на глибину 20 м опускався гідрофон, з'єднаний за допомогою кабелю з підсилювачем, на вихід якого підключався осцилограф з тривалою пам'яттю. Осцилограф запускався попереднім сигналом, а потім спрацьовувала вибухова машинка. Акустичний сигнал фотографувався з екрану осцилографа.

На Фіг.2 представлений результат експерименту на полігоні ПЕГДС, де:

а) схематично показана свердловина, точка підригу вибухового патрона і траєкторія розповсюдження акустичних сигналів;

б) акустичні сигнали, прийняті на вусті свердловини зануреним гідрофоном, зареєстровані осцилографом і сфотографовані з його екрану.

Характерною особливістю акустичного поля є наявність двох імпульсних пакетів, що повторюються у часі, зі зменшенням амплітуди послідовних відносно попередніх. Таку структуру сигналів легко пояснити. Канальне розповсюдження акустичного поля (хвилі Лемба) приводить до того, що в осередку вибуху, де формується

акустичний сигнал, відбувається його розщеплення на два хвильових пакети. Перший із них, з амплітудою A_1 йде прямо на вустя свердловини, а другий, з амплітудою A_2 , відправляється до забою. Після відбиття на забої другий пакет рухається до вустя свердловини і реєструється з часовою затримкою відносно першого (часові інтервали вимірюються відносно імпульсу підпалу від вибухової машинки, момент появи якого співпадає з підривом вибухового патрона). Потім спостерігається розповсюдження двох хвильових пакетів з амплітудами A_1 A_2 від вустя до забою і назад, зі зменшенням амплітуди в момент приходу на вустя до A_1' , A_1'' . Повторний прохід хвильових пакетів з амплітудами A_1' , A_2' по вказаному шляху приводить до зменшення рівнів сигналів, які приходять на вустя, до значень A_1'' , A_2'' . Спектральний аналіз прийнятих акустичних сигналів показав, що основна енергія першого хвильового пакета з амплітудами A_1 A_1' , A_1'' зосереджена на частоті 8,6 Гц, а другого хвильового пакета з амплітудами A_2 , A_2' , A_2'' - на частоті 7,8 Гц. Можна припустити, що більш висока частота першого хвильового пакета обумовлена трансформацією енергії ударної хвилі в сейсмічний сигнал з більш високою частотою (енергія ударної хвилі другого хвильового пакета втрачається в момент відбиття на забої). Враховуючи, що амплітуди хвильових пакетів A_1 A_2 спотворені по відношенню до A_1' і A_2' через перевантаження підсилювача, можна приблизно оцінити поглинання, як 0,9 дБ/км.

Результати приведенного експерименту і аналогічні дослідження на інших свердловинах підтвердили:

- акустичні сигнали, що збуджуються перфوراційними вибухами (включаючи підриг одиночного вибухового патрона або одиночного перфораційного заряду), скупчені в області низьких частот;

- низькочастотні акустичні сигнали, що збуджуються перфораційними вибухами, в процесі розповсюдження у рідині, яка заповнює внутрішню порожнину колони, при відсутності гідродинамічного зв'язку "свердловина - колекторський пласт" зазнають незначного поглинання і впевнено реєструються на вусті свердловини.

Для підтвердження можливості реалізації даного способу необхідно показати, що акустичні низькочастотні сигнали, що збуджуються перфораційними вибухами, істотно поглинаються на ділянці колекторського пласта, який прилягає до свердловини, при наявності гідродинамічного зв'язку "свердловина - пласт". Як відомо, для стимуляції свердловин широко використовується метод змінних тисків для впливу на присвердловинну зону колекторського пласта. Для створення депресії / репресії використовується багатократне періодичне зниження з наступним підвищенням рівня рідини у свердловині, а також струменеві насоси і гідравлічні вібратори.

Найбільш ефективний метод обробки присвердловинної зони продуктивного пласта імпульсами депресії / репресії приведений у [5]. Вказані способи базуються на фізичному процесі виникнення гідропотоку у проникному середовищі при наявності градієнта тиску. Цей процес обумовлюється законом Дарсі, згідно з яким швидкість гідропотоку виражається залежністю:

$$V_n = K_{np} \cdot \frac{\partial p}{\partial e} \cdot \frac{1}{\eta},$$

де K_{np} - коефіцієнт проникності середовища, $\frac{\partial p}{\partial e}$ - градієнт тиску,

η - коефіцієнт динамічної в'язкості.

Швидкість потоку характеризує втрати енергії хвильового поля, під дією якого він виникає. Ці втрати при інших рівних умовах пропорційні коефіцієнту проникності K_{np} . Через те, що вказаний процес пов'язаний з переносом маси, то гідропотік може виникнути тільки під впливом змінного тиску низької частоти. Як показано у [6], при збудженні коливальних на резонансній частоті стовпа рідини, яка заповнює свердловину, проходження імпульсів репресії / депресії крізь перфоровану ділянку довжиною 16 метрів приводить до зменшення їх амплітуди на 10%. Аналогічні результати одержані при дослідженні низькочастотних хвильових процесів [7] у свердловині шляхом використання пневмоджерела і датчика тиску. У глухій частині колони на глибині 25 метрів було встановлене пневмоджерело з тиском $P_p=7$ МПа і робочим об'ємом 0,2 літра. Датчик тиску зміщувався по глибині свердловини. В глухій частині колони амплітуда імпульсів, що збуджувались, зменшувалась незначно і монотонно. При проходженні фільтра ($H=67-70$ м) спостерігалось різке зменшення амплітуди, а при розміщенні датчика тиску нижче фільтра акустичний сигнал був повністю відсутнім, 11 - 12 вересня 1990 року на свердловині "Перевозівська - 1" виконувались прострілочні роботи. Конструктивні і технічні параметри свердловини:

глибина - 6300 м, діаметр - 101,6 мм, колектор - 168,3x136,7x127 мм, питома вага бурового розчину - 1,522 г/см³, в'язкість - 40 с.

Параметри перфоратора:

Використовувалась 3-метрова збірка, що складалась із зарядів ЗПРКБУМ, шнура ДУЗТВ, вибухового патрона 250/1500, ПГ-170. Реєстрація сигналу проводилась з використанням гідрофона, опущеного у буровий розчин свердловини на глибину 25 метрів. На Фіг.3 показані фотографії акустичних сигналів, що були зареєстровані при проведенні прострілочних робіт.

1 - й спуск - інтервал перфорації 6182-6179 м. Спрацювало 37 зарядів (сигнал приведений на рис. 3а);

2 - й спуск - інтервал перфорації 6179-6176 м. Сталася відмова, спрацював тільки один вибуховий патрон (сигнал приведений на рис. 3б);

3 - й спуск - інтервал перфорації 6176-6173 м. Спрацювало 33 заряди (сигнал приведений на рис. 3в);

4-й спуск - інтервал перфорації 6173-6170 м. Спрацювало 37 зарядів (сигнал приведений на рис. 3г);

5 - й спуск - інтервал перфорації 6179-6176 м (повторний простріл пропущеного інтервалу). Спрацювало 35 зарядів (сигнал приведений на рис. 3д).

По результатах прострілочних робіт можна констатувати: під час вибуху перфоратора спостерігається одиночний акустичний імпульс з косинусоїдальною огибаючою. Час приходу першого вступу склав 4,6 сек, що відповідає швидкості пробігу хвилі Лемба від точки вибуху до вустя свердловини порядку 1330 м/сек. Енергетичний спектр сигналу скупчений на частоті 4,7 Гц. При повторному спрацюванні перфоратора на глибині 6179-6176 м (на першому етапі робіт відбулася відмова) збуджений акустичний сигнал мав амплітуду приблизно в три рази меншу, ніж попередній. Немає сумнівів, що причиною зменшення сигналу було його проходження ділянки свердловини довжиною 6 метрів, розкритого перфорацією. Побічно це підтверджується

відсутністю повторних відбиттів акустичних сигналів на шляху "вустя свердловини - забій - вустя свердловини" через значні втрати їх амплітуди при проходженні ділянки з гідродинамічним зв'язком "свердловина - пласт".

Все вищевикладене підтверджує, що низькочастотні акустичні сигнали, які збуджуються у свердловині вибухами перфораційних зарядів, при проходженні колекторських пластів, розкритих перфорацією, зазнають значного поглинання. Це і дозволяє ідентифікувати наявність або відсутність гідродинамічного зв'язку "свердловина - пласт" при проведенні прострілочних робіт.

Аналізуючи амплітудні співвідношення розщеплених хвильових пакетів A_1 , A_2 , що прийшли на вустя свердловини, а також після їх відбиття на забої A_1' , A_2' з урахуванням проходження акустичних сигналів по шляху "вустя - забій - вустя" (див. Фіг.2), можна записати:

$$A_1 = A_0 \cdot e^{-\alpha_1 l_1}$$

$$A_2 = A_0 \cdot e^{-\alpha_1 l_1} \cdot e^{-\alpha_2 2l_2} \cdot k_{\text{від}}$$

$$A_1' = A_1 \cdot e^{-\alpha_1 2l_1} \cdot e^{-\alpha_2 2l_2} \cdot k_{\text{від}}$$

$$A_2' = A_2 \cdot e^{-\alpha_1 2l_1} \cdot e^{-\alpha_2 2l_2} \cdot k_{\text{від}},$$

де A_0 - первинний сигнал, що збуджується перфораційним вибухом.

$$\frac{A_1'}{A_1} = \frac{A_0 e^{-\alpha_1 l_1}}{A_1 \cdot e^{-\alpha_1 2l_1} e^{-\alpha_2 2l_2} \cdot k_{\text{від}}} = \frac{A_0}{A_1 \cdot e^{-\alpha_1 l_1} e^{-\alpha_2 2l_2} \cdot k_{\text{від}}} \quad (1)$$

$$\text{із } A_2 = A_0 \cdot e^{-\alpha_1 l_1} \cdot e^{-\alpha_2 2l_2} \cdot k_{\text{від}}$$

$$\frac{A_2}{A_0} = e^{-\alpha_1 l_1} \cdot e^{-\alpha_2 2l_2} \cdot k_{\text{від}}$$

після підстановки в (1) отримаємо:

$$\frac{A_1'}{A_1} = \frac{A_0 A_0}{A_1 A_2} \quad A_0^2 = \frac{A_1^2 A_2}{A_1'} \quad A_0 = \sqrt{\frac{A_1^2 A_2}{A_1'}}$$

$$\text{із } A_1 = A_0 e^{-\alpha_1 l_1} \quad \frac{A_1}{A_0} = e^{-\alpha_1 l_1} \quad \ln \frac{A_1}{A_0} = -\alpha_1 l_1 \quad -\alpha_1 = \frac{\ln \frac{A_1}{A_0}}{l_1}$$

Оскільки коефіцієнт поглинання α вздовж свердловини змінюється незначно, то з допустимою похибкою можна прийняти $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, тоді

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{A_0 e^{-\alpha l_1}}{A_0 e^{-\alpha l_1} e^{-\alpha 2l_2} k_{\text{від}}} \quad k_{\text{від}} = \frac{A_2}{A_1 e^{-\alpha 2l_2}}$$

Таким чином наявність розщепленого акустичного сигналу

- забезпечує точне визначення амплітуди первинного акустичного сигналу у точці вибуху перфораційного заряду;

- дозволяє визначити точне значення коефіцієнта поглинання α_1 на шляху від точки вибуху до вустя свердловини і приблизне значення α_2 від точки вибуху до забою свердловини;

- дозволяє приблизно визначити $K_{\text{від}}$ на забої свердловини (чим ближче точка підриву перфораційного заряду до забою, тим точніше можна визначити $K_{\text{від}}$).

Крім того

- наявність розщепленого акустичного сигналу при збудженні першого реперного акустичного сигналу і його відсутність або значне зменшення A_2 відносно A_1 при наступних перфораційних вибухах дозволяє однозначно стверджувати про розкриття проникного пласту;

- наявність розщепленого акустичного сигналу при збудженні першого реперного акустичного сигналу і збереження первинного відношення A_2/A_1 при наступних перфораційних вибухах дозволяє однозначно стверджувати (при штатному спрацюванні перфоратора) про відсутність гідродинамічного зв'язку "свердловина - пласт" на ділянці пласту, де проводились прострілочні роботи.

Відсутність розщепленого акустичного сигналу при збудженні першого реперного акустичного сигналу під час проведення перших прострілочних робіт у свердловині можливе при аномально високому поглинанні акустичного сигналу на забої за наявності на свердловині розкритого колектора, а також при порушенні герметичності свердловини при одночасній наявності рідини за колоною. Вказані ділянки при цьому знаходяться нижче точки підриву вибухового патрона.

При відсутності розщепленого акустичного сигналу контроль перфораційних вибухів з експрес-оцінкою результатів по розкриттю проникного пласта і фільтраційних властивостей призабіної зони, як вже відмічалось, досягається шляхом використання двох реперних акустичних сигналів. Даний метод забезпечує вирішення вказаної задачі і у випадку розкриття декількох продуктивних пластів у свердловині, коли розщеплений акустичний сигнал відсутній. При цьому необхідно виконувати прострілочні роботи в продуктивних пластах тільки послідовно, від забою до вустя свердловини. Якщо розкриті ділянки знаходяться вище точки підриву вибухового патрона, то, в залежності від їх проникності, відбудеться зменшення амплітуди реперного акустичного сигналу

або його повне зникнення, що в першому випадку ускладнить інтерпретацію отриманих результатів, а в другому не дозволить зробити однозначні висновки про наявність або відсутність гідродинамічного зв'язку "свердловина - пласт" на ділянці прострілочних робіт. Слід відмітити, при великому рівні поглинання пружних коливань на ділянці продуктивного пласта при збудженні реперних акустичних сигналів потрібно буде збільшити масу ВР вибухового патрона у кратно число разів.

Можливість оцінки параметрів розкритого колекторського пласта у призабійній зоні по рівню поглинання енергії акустичного сигналу підтверджується наступними розрахунками.

У відомій формулі Дарсі

$$V_n = K_{пр} \cdot \frac{\partial p}{\partial e} \cdot \frac{1}{\eta}$$

коефіцієнт проникності характеризує поровий простір у природному стані залягання пласта. Первинне розкриття продуктивного пласта при бурінні і вторинне при проведенні прострілочних робіт значно знижує фільтраційні характеристики призабійної зони, що формально приводить до зменшення величини $K_{пр}$.

Зменшення $K_{пр}$ через вказані причини можна оцінити шляхом введення коефіцієнта якості розкриття $K_{я}$, очевидно, що його величина лежить у інтервалі значень $0 < K_{я} \leq 1$. Аналогічно впливає на швидкість потоку, а отже і на $K_{пр}$, характер вторинного розкриття, коли з тих чи інших причин під час проведення прострілочних робіт не досягається потрібна щільність перфораційних отворів на погонний метр колони. Вказане зменшення $K_{пр}$ можна оцінити коефіцієнтом, що характеризує характер розкриття - $K_{х}$, його величина також лежить у інтервалі значень $0 < K_{х} \leq 1$. Третій коефіцієнт ступеня розкриття $K_{с}$ характеризує випадок, коли продуктивний пласт розкритий не на всю його товщину. Очевидно, коефіцієнт $K_{с}$ по своїй фізичній суті відрізняється від перших двох, однак з точки зору поглинання акустичного сигналу, величина котрого визначається довжиною ділянки, на якій відбуваються втрати енергії за рахунок збудження гідропотоку, його також можна оцінити величиною, що лежить в інтервалі значень $0 < K_{с} \leq 1$. Отже, при розкритті продуктивного пласта по всій його товщині $K_{с}=1$. Таким чином, поглинання енергії пружних коливань у призабійній зоні продуктивного пласта буде характеризуватися відносним коефіцієнтом проникності ($K_{пр.від}$) що залежить від перерахованих коефіцієнтів, тобто $K_{пр.від} = K_{я} \cdot K_{х} \cdot K_{с} \cdot K_{пр}$. Через те, що $K_{я} \cdot K_{х} \cdot K_{с} < 1$, то $K_{пр.від} < K_{пр}$.

Очевидно, визначивши значення коефіцієнта проникності продуктивного пласта у природному заляганні $K_{пр}$ яким-небудь іншим методом і одночасно використовуючи одержане значення $K_{пр.від}$, можна оцінити фільтраційні властивості призабійної зони і тим самим оптимізувати технологію підвищення нафтовіддачі продуктивного пласта. Наприклад, нехай значення коефіцієнта проникності продуктивного пласта становить $K_{пр}=2 \text{ мкм}^2$, а виміряне у призабійній зоні значення відносного коефіцієнта проникності має величину $K_{пр.від}=1 \text{ мкм}^2$. Отже, $K_{я} \cdot K_{х} \cdot K_{с}=0,5$. Для оцінки величини $K_{с}$ потрібно провести додаткову перфорацію біля підшови продуктивного пласта, а потім біля його покрівлі. По величині $K_{пр.від}$ можна встановити: якщо $K_{пр.від}$ збільшується, то додаткову перфорацію необхідно продовжувати до значення $K_{пр.від}=\text{const}$, що буде свідчити, що коефіцієнт ступеня розкриття досяг значення $K_{с}=1$ і його в подальшому можна не враховувати. По двох коефіцієнтах $K_{я} \cdot K_{х}$, що залишились, для визначення величини $K_{х}$ аналогічним чином проводиться додаткова перфорація безпосередньо на ділянці продуктивного пласта. При цьому можливі три випадки:

$K_{пр.від}$ збільшився, отже $K_{х}$ наблизився до одиниці ($K_{х} \approx 1$);

$K_{пр.від}$ залишився без змін, що дозволяє припустити, що $K_{х}$ ще на етапі розкриття досяг значення $K_{х} \approx 1$;

$K_{пр.від}$ зменшився. Причиною цього може бути близькість $K_{х}$ до одиниці ще до додаткової перфорації, а після її проведення, за рахунок засмічення раніше пробитих перфораційних отворів, зменшився коефіцієнт якості розкриття $K_{я}$. Отже, всі подальші роботи у цьому випадку повинні бути направлені на відновлення проникності призабійної зони продуктивного пласта, тобто на збільшення коефіцієнта $K_{я}$.

Для визначення орієнтовного значення втрат енергії акустичного сигналу при його проходженні в інтервалі призабійної зони продуктивного пласта скористаємося зміненою формулою Дарсі з визначенням об'ємної швидкості:

$$V = \left[\frac{M}{\text{сек}} \right] \cdot S [M^2] = Q_v = \left[\frac{M^3}{\text{сек}} \right]$$

$$Q_v = \sum K_{пр} \cdot \frac{\partial p}{\partial l} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot S.$$

Вихідні дані візьмемо близькими до реально існуючих:

$$\sum K_{пр} = \text{Дарси} = \text{мкм}^2 = 10^{-12} \text{ м}^2 \quad (K_{пр.від} < K_{пр})$$

Прийнято вважати, що пласт призабійної зони з пониженою проникністю прилягає до свердловини в інтервалі

0,5-1,0 метра. При амплітуді тиску Δp акустичного сигналу $\pm 50 \text{ атм}$ градієнт тиску складе $\frac{\partial p}{\partial l} = 50 \cdot 10^5 \text{ Па/м}$.

Прийнявши інтервал продуктивного пласта $h_p=20 \text{ м}$ і внутрішній діаметр колони $D_k=127 \text{ мм}$, одержимо

$$R_k=6.35 \cdot 10^{-2} \text{ м}, S=2\pi R_k h_p=8 \text{ м}^2, \eta=15 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Після підстановки одержимо:

$$Q_v = 2,6 \cdot 10^{-3} \frac{M^3}{\text{сек}}.$$

Із співвідношення $P \cdot Q_v = [\text{Вт}]$ знайдемо

$$P \cdot Q_v = [\text{Вт}] = 50 \cdot 10^5 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} = 13000 \text{ Вт} = 13 \text{ кВт}.$$

При частоті акустичного сигналу $f=5\text{Гц}$ період дорівнює $T=0,2\text{с}$. Отже, енергія втрат при вказаних даних може мати величину порядку

$$W_n = Q_v P \cdot t = 13000 \cdot 0,2 \approx 2,6 \text{кДж}.$$

Для збудження реперних акустичних сигналів припускається використання вибухового патрона типу ПВГУ 250/1500 із масою ВР вісім грамів тротилу. Як відомо, енергетичний еквівалент одного грама тротилу складає 4,2кДж. Отже, енергія вибухового патрона буде дорівнювати

$$W_B = 8 \cdot 4,2 = 33,6 \text{кДж}.$$

Акустичний ККД вибуху тротилового заряду не перевищує величини 0,3 ($\eta < 0,3$). У цьому випадку енергія акустичного сигналу буде дорівнювати

$$W_A = 0,3 \cdot 33,6 = 10,08 \text{кДж}.$$

Після проходження призабіної зони розкритого продуктивного пласта енергія акустичного сигналу зменшиться до величини

$$W_A = W_A - W_n = 10,08 - 2,6 = 7,48 \text{кДж}.$$

Використовуючи відношення W_A/W_A вихідної енергії акустичного сигналу до енергії, зменшеної за рахунок втрат, з урахуванням відомої залежності - квадрат амплітуди сигналу пропорційний енергії пружних коливань - можна визначити зменшення амплітуди сигналу в [дБ], а з урахуванням протяжності розкритого продуктивного пласта ($h=20\text{м}$) - в [дБ/м].

Коефіцієнт поглинання на ділянці продуктивного пласта

$$-\alpha_{A_n} = 201g \sqrt{\frac{W}{W'}} = 201g \sqrt{\frac{10,08}{7,48}} = 1,3 \text{дБ}$$

$$-\alpha_{A_n}^I = \left[\frac{\partial B}{m} \right] = \frac{-\alpha_{A_n}}{20} = 6,5 \cdot 10^{-2} \text{дБ/м}$$

Як уже відмічалось, зменшення амплітуди акустичного сигналу при його розповсюдженні у колоні свердловини (поза ділянками перфорації) визначається коефіцієнтом поглинання з величиною порядку - $\alpha_{AK}=1\text{дБ/км}$, що відповідає $-\alpha_{AK}=1 \cdot 10^{-3}\text{дБ/м}$. Як видно $\alpha_{A_n}/\alpha_{AK}=6,5 \cdot 10^{-2}/1 \cdot 10^{-3}=65$, тобто приведений розрахунок підтверджує значне затухання амплітуди акустичного сигналу на ділянці розкритого продуктивного пласта. Отже, цей процес може служити надійною діагностичною ознакою для встановлення факту розкриття продуктивного пласта і оцінки фільтраційних властивостей його призабіної зони.

Перш ніж розглядати можливі шляхи технічної реалізації запропонованого способу, необхідно привести перелік і послідовність виконання необхідних операцій, тобто вказати алгоритм вирішення задачі.

1. Записати на довготривалій носій інформації (ДНІ) всі дані про свердловину і її конструкцію, геологічні параметри порід, що перетинаються свердловиною, глибини, передбачувані інтервали перфорації та ін.;

1.1. Після збудження першого реперного акустичного сигналу на встановленій глибині необхідно:

1.2. прийняти і зареєструвати на ДНІ імпульс підпалу від вибухової машинки і перший реперний акустичний сигнал;

1.3. визначити параметри імпульсу підпалу і першого реперного акустичного сигналу, амплітуду, спектр, інтервал часу між імпульсом підпалу і першим реперним акустичним сигналом, зареєструвати на ДНІ;

1.4. при розщепленні першого реперного акустичного сигналу і появі повторних відбиттів на забої прийняти вказані сигнали і зареєструвати на ДНІ;

1.5. провести вимірювання A_1, A_2, A'_1, A'_2 , визначити A_0 і $K_{\text{від}}$, а також часові інтервали між імпульсом підпалу і вказаними сигналами.

2. Зареєструвати на ДНІ вихідні дані першого і послідовних, включаючи останній, перфораторів, очікувану кількість перфораційних зарядів, тип ВР, глибини перфорації, внутрішній діаметр обсадної колони на ділянці перфорації;

2.1. по відомим залежностям розрахувати параметри очікуваного першого і послідовних, включаючи останній, акустичних сигналів, амплітуди, спектри, час приходу, тривалості сигналів, що збуджуються першим і послідовними, включаючи останній, перфораційними вибухами, зареєструвати на ДНІ;

2.2. прийняти акустичні сигнали, що збуджуються першим і послідовними, включаючи останній, перфораційними вибухами, зареєструвати на ДНІ;

2.3. визначити параметри першого і послідовних, включаючи останній, акустичних сигналів, амплітуди, спектри, час приходу відносно імпульсу підпалу, провести нормування амплітуди по першому реперному акустичному сигналу, зареєструвати на ДНІ;

2.4. порівняти одержані параметри акустичних сигналів попарно з розрахунковими в міру їх збудження, одержати висновки про факт перфораційного вибуху і його повноту. 3. Після спрацювання останнього перфоратора проводять (при необхідності) збудження другого реперного акустичного сигналу, при цьому необхідно:

3.1. прийняти і зареєструвати на ДНІ імпульс підпалу від вибухової машинки і другий реперний акустичний сигнал;

3.2. визначити параметри імпульсу підпалу і другого реперного акустичного сигналу, амплітуду, спектр, інтервал часу між імпульсом підпалу і другим реперним акустичним сигналом, зареєструвати на ДНІ;

3.3. порівняти одержані параметри першого і другого реперних акустичних сигналів, одержати висновок про факт розкриття або нерозкриття проникного пласта в результаті проведення прострілочних робіт, з оцінкою фільтраційних властивостей призабіної зони.

Для повної реалізації вказаних операцій використання аналогової апаратури, приведеної в [2], не представляється можливим. Очевидно, вказану апаратуру можна застосувати обмежено при високій кваліфікації оператора, використовуючи для запису акустичних сигналів каротажний реєстратор. По одержаним діаграмам, використовуючи приведений вище алгоритм (при значних затратах робочого часу), можна оцінити результати

прострілочних робіт по розкриттю продуктивного пласта і одержати дані про фільтраційні властивості призабійної зони.

В цілому, необхідність великого об'єму пам'яті, складність функціональних залежностей і висока швидкодія для роботи у реальному масштабі часу (для експрес - оцінки результатів прострілочних робіт) потребує для технічної реалізації запропонованого способу використання цифрової апаратури, зокрема персонального комп'ютера.

На основі викладеного вище, для технічної реалізації запропонованого способу на Фіг. 4 представлена структурна схема "Пристрою контролю перфораційного вибуху", де зображені: перший узгоджувачий пристрій 1, формувач 2, "вікно дозволу" 3, "ворота" 4, суматор 5, гідрофон 6, другий узгоджувачий пристрій 7, попередній підсилювач 8, блок фільтрів 9, підсилювач потужності 10, калібратор 11, аттенуатор 12, АЦП 13, каротажний реєстратор 14, інтерфейс 15, ПК 16, осцилограф 17, а також перемикачі P_1 , P_2 , P_3 . При цьому на вхід першого узгоджувачого каскаду 1, через електричну лінію зв'язку підключено вихід вибухової машинки. Вихід першого узгоджувачого каскаду 1 з'єднано одночасно з входом формувача 2, з першим входом суматора 5 та АЦП 13. Вихід формувача 2 підключено до входу "вікна дозволу" 3 і одночасно до гнізда запуску осцилографа 17, вихід "вікна дозволу" 3 підімкнено на керуючий вихід "воріт" 4, вихід "воріт" 4 з'єднано зі входом підсилювача потужності 10, вихід якого підключено на другий вхід суматора 5. Вихід суматора 5 з'єднано з каротажним реєстратором і одночасно через перемикач P_3 зі входом осцилографа 17. Вихід гідрофона 6 через електричну лінію зв'язку з'єднано зі входом другого узгоджувачого пристрою 7, вихід останнього з'єднано з сигнальним входом попереднього підсилювача 8, вихід попереднього підсилювача 8 одночасно з'єднаний зі входом блока фільтрів 9, через перемикач P_2 зі входом АЦП, а через перемикач P_3 зі входом осцилографа 17. Вихід блока фільтрів 9 одночасно підключений до сигнального входу "воріт" 4, через перемикач P_2 до входу АЦП, а через P_3 до входу осцилографа 17, вихід АЦП з'єднаний з ПК 16, останній через двосторонню лінію зв'язку з'єднано послідовно з інтерфейсом 15, аттенуатором 12 та керуючим входом попереднього підсилювача 8. Виходи калібратора 11 через P_1 одночасно підключені на входи першого і другого узгоджувачих пристроїв 1 і 7 відповідно.

Пристрій працює наступним чином. Після спуску перфоратора з одиночним вибуховим патроном на задану глибину до пристрою під'єднуються електричні лінії зв'язку, що з'єднують заглиблений в бурову рідину гідрофон (на глибину не менше 20м) і вихід вибухової машинки, встановленої в каротажній лабораторії. При цьому положення перемикача P_1 забезпечує підключення виходів калібратора 11 до першого і другого узгоджувачих пристроїв 1 і 7. На одному з виходів збуджуються імпульси напруги, по параметрам близькі до "імпульсу підпалу", а на другому, через інтервал часу, що відповідає глибині прострілочних робіт, цуг коливань, по амплітуді і частоті аналогічний реперному акустичному сигналу (або за вибором оператора, акустичним сигналом, що збуджується перфораторами з різним числом зарядів, що здетонували). Проводиться перевірка окремих вузлів та блоків пристрою, включаючи АЦП, інтерфейс, ПК з програмним забезпеченням, а також шляхом підключення осцилографа до точок, де вимагається контроль (блока фільтрів, підсилювача потужності, каротажного реєстратора та ін.). Частина сигналів калібрування з результатами їх обробки записується в ДНІ (одночасно, для дублювання, калібрувальні сигнали записуються каротажним реєстратором). По команді керівника прострілочних робіт, за допомогою перемикача P_1 вибухова машинка підключається до першого узгоджувачого пристрою 1, а гідрофон - до другого узгоджувачого пристрою 7. При натисканні кнопки "Вибух" імпульс підпалу підіриває патрон і одночасно потрапляє на перший узгоджувачий пристрій 1, що є пороговим пристроєм з фіксованим рівнем напруги для обмеження дії можливих імпульсних завад. З виходу узгоджувачого пристрою обмежений за рівнем імпульс підпалу подається одночасно на АЦП 13, суматор 5 і на вхід формувача 2. Стандартний імпульсний сигнал з виходу формувача 2 подається на запуск осцилографа 17 і одночасно на запуск "вікна дозволу" 3 із завчасно встановленою протяжністю. Прямокутний імпульс з виходу "вікна дозволу" 3 подається на керуючий вхід "воріт". Через інтервал t , рівний часу пробігу акустичного реперного сигналу від точки вибуху до вустя свердловини, на виході гідрофона 6 з'являється електричний сигнал, що потрапляє на вхід другого узгоджувачого пристрою 7, а з виходу останнього - на вхід попереднього підсилювача 8 (його аттенуатор завчасно встановлено на очікувану амплітуду реперного акустичного сигналу). Через перемикач P_2 сигнал потрапляє на АЦП 13, а з його виходу на ПК. Одночасно сигнал з виходу попереднього підсилювача 8 подається на блок фільтрів 9 і через P_3 на осцилограф 17. Блок фільтрів 9 являє собою набір ФНЧ зі смугою пропускання, що регулюється. Якщо в процесі калібрування оператор виявить значний рівень завад, враховуючи напругу промислової частоти, то шляхом перемикачання P_2 на АЦП 13 подається сигнал з виходу блока фільтрів 9. Одночасно з виходу останнього сигнал потрапляє на сигнальний вхід "воріт" 4, а потім на вхід підсилювача потужності 10. Після підсилювача 10 сигнал подається на суматор 5, а з виходу останнього на каротажний реєстратор 14 і одночасно через P_3 на осцилограф 17. Після перетворення в АЦП аналогового сигналу в цифровий код, в ПК відбувається його обробка згідно програмного забезпечення на основі приведеного алгоритму вирішення потрібної задачі (п.1÷3.3). Після підйому першого перфоратора (з попереднім підйомом гідрофона 6) виконується повна збірка перфоратора з фіксованим числом зарядів, інформація про їх кількість завчасно заноситься в ПК. Відключається лінія зв'язку "апаратура - вибухова машинка" і проводиться спуск перфоратора на задану глибину. По готовності до апаратури повторно підключається гідрофон 6, опущений в свердловину, і через лінію зв'язку - вибухова машинка. Відбувається вибух, прийом сигналів і їх обробка проводиться по вищевказаній структурній схемі. В кінці прострілочних робіт збуджується і приймається другий реперний акустичний сигнал. Як вже відмічалось, при розщепленні першого реперного акустичного сигналу другий реперний акустичний сигнал не збуджується. Після кожного перфораційного вибуху відбувається фіксація вибуху і визначається його повнота, а після завершення прострілочних робіт представляється експрес-оцінка результатів вибухів по розкриттю проникного пласта і фільтраційних властивостей призабійної зони.

В довершення слід відмітити - запропонована нова технологія контролю перфораційних вибухів в свердловині дозволяє більш надійно фіксувати факт перфораційного вибуху і його повноту, а також встановити після закінчення прострілочних робіт наявність або відсутність гідродинамічного зв'язку "свердловина-пласт", з оцінкою фільтраційних властивостей призабійної зони у випадку розкриття продуктивного пласта.

Найбільш ефективний запропонований спосіб під час проведення перших прострілочних робіт, на етапі

промислового освоєння свердловини. При відсутності в свердловині гідродинамічного зв'язку "свердловина - колекторський пласт" перший реперний акустичний сигнал, що збуджується в свердловині детонацією вибухового патрона, приходиться на вустя свердловини у вигляді розщепленого (подвійного) сигналу. З отриманої аналітичної залежності витікає, що, використовуючи розщеплений акустичний сигнал і його повторні відбиття на шляху "вустя свердловини - забій - вустя свердловини", можна встановити амплітуду початкового сигналу в осередку вибуху і тим самим визначити поглинаючі характеристики даної свердловини, як каналу розповсюдження пружних коливань, включаючи коефіцієнт відбиття на забої. При наявності вказаної інформації можна більш точно визначити фільтраційні властивості призабійної зони не тільки даного продуктивного пласта, але й інших продуктивних пластів, що розкриваються. Контроль проведення повторних прострілочних робіт на вказаній свердловині відбувається з використанням другого акустичного реперного сигналу, при цьому необхідно виконати тільки одну вимогу - розкриття пластів відбувається послідовно від забою до вустя свердловини. Якщо відбувається додаткова перфорація продуктивного пласта при наявності інших пластів, що вже експлуатуються, то в разі розташування пласта, де проводяться прострілочні роботи, вище по відношенню до інших, контроль перфораційних вибухів відбувається по приведеній методиці з використанням додаткового (третього) реперного акустичного сигналу від підризу вибухового патрона на ділянці дещо вище продуктивного пласта. При розташуванні пласта нижче за інші, вже розкриті пласти, контроль перфораційних вибухів з визначенням фільтраційних властивостей призабійної зони викликає суттєві труднощі, подолання котрих вимагає подальших досліджень. У цьому і полягає обмеження запропонованого способу.

Використання перфораторів, що опускаються на НКТ, суттєво не змінює методику контролю. Гідрофон опускається в затруб, а збудження двох реперних сигналів відбувається перед спуском перфоратора на НКТ і після його підйому, шляхом використання перфоратора, що спускається на кабелі. На основі вищевикладеного можна стверджувати, що запропонований спосіб контролю перфораційного вибуху у свердловині має ряд переваг:

- забезпечує контроль перфораційних вибухів та їх повноту;
- дозволяє оцінювати фільтраційні властивості призабійної зони продуктивного пласта, що розкривається;
- забезпечує швидкодію - обробка відбувається в реальному масштабі часу, по мірі приходу акустичного сигналу, без участі оператора, автоматично, шляхом порівняння параметрів прийнятого сигналу з розрахунковими;
- мінімальна вартість апаратурного комплексу (основні затрати - вартість ПК);
- мінімальна кількість обслуговуючого персоналу (один технік);
- потрібно всього один - два комплекти апаратури для контролю всіх прострілочних робіт на промислі.

Таким чином, використання запропонованого способу і апаратури дозволяє отримати додаткову інформацію, необхідну для вибору вірного напрямку наступних заходів щодо освоєння і промислової експлуатації свердловин.

Джерела інформації, використані при виявленні винаходу і складанні його опису.

1. Аппаратура индикации срабатывания прострелочно-взрывной аппаратуры (АНИС). Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Киевское ОКБ геофизического приборостроения, Киев, 1998г., АХБ431.681.1.002.ТО.

2. Авторское свидетельство СССР №1721224А1 МКИ Е21В 47/00, опубликовано в 1992 году.

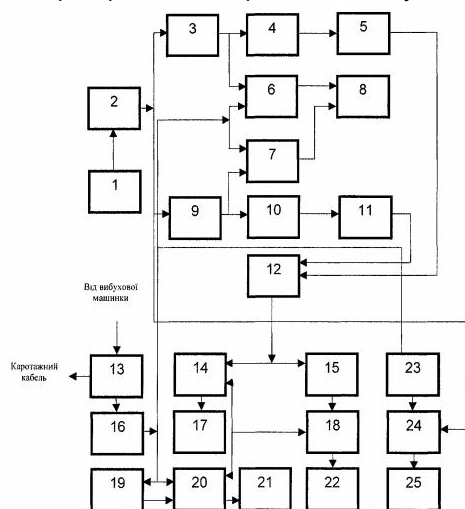
3. Петрашень Г. И., Молотков Л. А., Карауклис П. В. "Волны в слоисто-однородных изотропных упругих средах" Т. 2, Ленинград, "Наука", 1985г.

4. Р. Коул. "Подводные взрывы". Издательство иностранной литературы. Москва, 1950г.

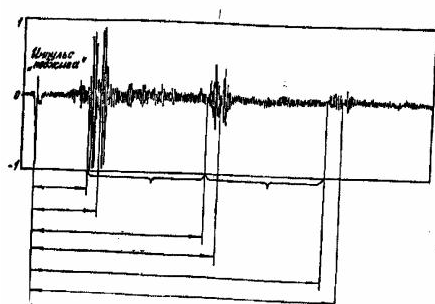
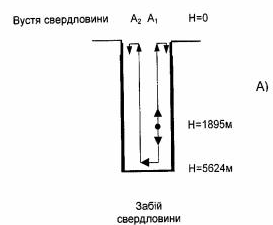
5. Патент України №23573 А МКИ G0141/40, опублікований в 1998 році.

6. Балашов М. И., Андреев Ю. Н., Козни В. А., Бобылев В. Я. "Техника и технология обработки прискважинной зоны пласта импульсами давления". Сб. Прострелочно - взрывные и импульсные виды работ в скважинах. ВНИИПИ взрывгеофизика, Москва, 1990г.

7. Беленький М. С., Вольницкая Э. М., Кашевич М. С. "Исследования распространения гидродинамических волн давления, возбуждаемых низкочастотными пневмоимпульсными источниками в системе "скважина - пласт" Сб. Прострелочно - взрывные и импульсные виды работ в скважинах. ВНИИПИ взрывгеофизика, Москва, 1990г.

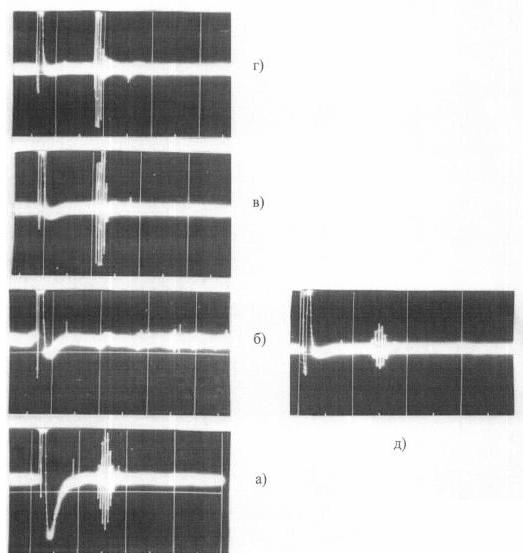


Фиг.1

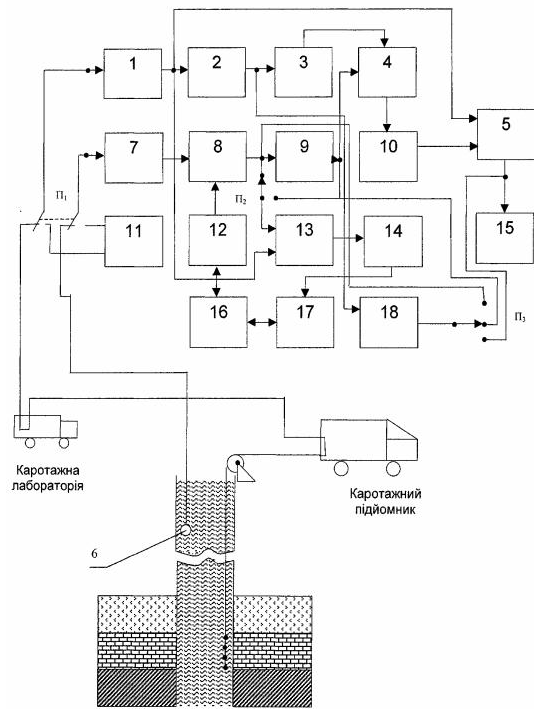


Б)

Фиг. 2



Фиг.3



Фіг. 4