

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВИМИ ДІЯМИ НА ПЛАСТИ

М.В. Худін, О.М. Карпаш

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42430,
e-mail: kh.red@mail.ru, karpash@nung.edu.ua

З метою підвищення видобутку нафти та газу з-поміж інших застосовується технологія імпульсно-хвильової дії. Для підвищення проникності привибійної зони пласта і впливу на весь продуктивний пласт використовується різноманітне обладнання. У даній статті проведено аналіз методів і засобів підвищення продуктивності нафтових свердловин із використанням даної технології та пов'язані з нею проблеми. Описано суть імпульсно-хвильової дії на пласт, процеси дії пружними коливаннями на привибійну зону пласта з метою підвищення продуктивності нафтових свердловин. Запропоновано класифікацію методів та обладнання для імпульсно-хвильової дії на продуктивні пласти. Наведено перелік питань, над вирішенням яких необхідно зосередити увагу в майбутньому: підвищення коефіцієнта корисної дії генераторів під час передачі енергії і створенні коливань; використання як енергоносія для роботи генераторів рідини і газу з метою створення широкопоздовжових акустичних коливань на вибої свердловини.

Ключові слова: гідравлічний генератор, пружні коливання, глибинне обладнання, продуктивність свердловин.

С целью повышения добычи нефти и газа помимо других применяется технология импульсно-волнового воздействия. Для повышения проницаемости призабойной зоны пласта и влияния на весь продуктивный пласт используется разнообразное оборудование. В данной статье проведен анализ методов и средств повышения продуктивности нефтяных скважин с использованием данной технологии, и связанные с ней проблемы. Описаны суть импульсно-волнового воздействия на пласт, процессы воздействия упругими колебаниями на призабойную зону пласта с целью повышения производительности нефтяных скважин. Предложена классификация методов и оборудования для импульсно-волнового воздействия на продуктивные пласты. Приведен перечень вопросов, над решением которых необходимо сосредоточить внимание в будущем: повышение коэффициента полезного действия генераторов при передаче энергии и создании колебаний; использование в качестве энергоносителя для работы генераторов жидкости и газа с целью создания широкополосных акустических колебаний на забое скважины.

Ключевые слова: гидравлический генератор, упругие колебания, глубинное оборудование, производительность скважин.

In order to increase production of oil and gas in addition to other technology is used technology of pulsed-wave action. To increase the permeability layer zones and influence throughout the reservoir using a variety of equipment. This article analyzes the methods and means of increasing the productivity of oil wells using this technology, and related problems. Describes the nature of the pulse-wave action, processes influence the elastic vibrations in the bottom zone of the reservoir in order to increase the productivity of oil wells. A classification of methods and equipment for pulsed-wave impact of productive strata. A list of issues over which there is need to focus on in the future: improving the efficiency of the generators in the transmission of energy and vibration; use as an energy source for the liquid and the gas generator to create a broadband acoustic oscillations at the bottom hole.

Keywords: fluid-pulse generator, elastic vibrations, downhole equipment, performance of wells.

Останні десятиріччя характеризуються погіршенням якісного стану сировинної бази нафтовидобувної промисловості України внаслідок значного виробітку високопродуктивних родовищ, що знаходяться на завершальній стадії розробки та мають високий ступінь обводненості нафтових пластів, а також залучення до експлуатації відкритих родовищ з так званими важкодоступними запасами. Практика розробки нафтових родовищ в Україні засвідчує, що 30-65% початкових запасів нафти залишаються невилученими. Однією з причин зниження продуктивності свердловин є забруднення привибійної зони під час розкриття пластів та експлуатації свердловин [1-5]. У цьому контексті актуальним і важливим залишається питання розроблення нових високоєфективних технологій підвищення продуктивності нафтових свердловин.

Спосіб інтенсифікації видобутку нафти імпульсно-хвильовою дією на продуктивний пласт є одним із перспективних. Дана технологія не потребує високоартістичних обладнання та хімічних сполук, виконується за допомогою штатного нафтопромислового обладнання. Не відбувається забруднення навколишнього середовища. Вперше метод обробки привибійних зон нагнітальних і видобувних свердловин, що використовує імпульсно-хвильову дію, був випробуваний на нафтових промислах ще в 60-х роках, і відразу ж були отримані достатньо обнадійливі дані щодо його технологічної ефективності. Проте подальший досвід показав, що для досягнення високої успішності і рентабельності методу у разі його застосування в ускладнених геолого-промислових умовах експлуатації свердловин необхідне проведення цілого ряду теоретичних, лабораторних і промислових

досліджень, конструкторських і технологічних розробок.

У даній статті проаналізовано сучасний стан методів і засобів підвищення продуктивності нафтових свердловин імпульсно-хвильовими діями на пласти на основі огляду літературних джерел, в яких описуються технічні засоби і методи, що використовуються у тій чи іншій технології.

Розглянемо загальний принцип здійснення імпульсно-хвильової дії на пласт. Суть його полягає в створенні пружних коливань у привибійній та міжсвердловинній зонах пласта. Для цього необхідно передати енергію з поверхні до опущеного обладнання, або створити коливання необхідної потужності на поверхні та забезпечити їх передачу до пласта. Для реалізації цих процесів різні групи науковців підходили по-різному. Великий внесок у вивчення даного питання зробили як українські, так і закордонні вчені: Чекалюк Е.Б., Абдулін Ф.С., Бойко В.С., Дорошенко В.М., Єгер Д.О., Дибленко В.П., Камалов Р.Н., Гадієв С.М., Сургушов М.Л., Кузнецов О.Л. та ін.

Розглянемо процеси дії пружними коливаннями на привибійну зону пласта з метою підвищення продуктивності нафтових свердловин із залученням понять градієнтів тиску. Градієнти тиску у привибійній зоні пласта створюються свердловинними, або наземними гідравлічними генераторами пружних коливань.

Аналіз процесів дій пружними коливаннями на привибійну зону пласта із залученням понять градієнтів тиску є правомірним у зв'язку з тим, що розглядаються процеси, які проходять у свердловині і в зонах пласта з лінійними розмірами, що не перевищують довжин хвиль пружних коливань з частотами від одиниць до кількох тисяч герц. Так, наприклад, за [5-7] різке зниження проникності пласта у пристовбурній зоні спостерігається на відстанях від декількох сантиметрів до 1,5-2,0 м.

У даному дослідженні розглядаємо імпульсний режим роботи гідравлічного генератора, при якому у рідинному середовищі свердловини створюються імпульси тиску.

Гідроімпульси тиску, діючи з певною частотою повторення на оточуюче свердловинне шарувате середовище (вода-сталь-цемент-пласт), збуджують у пласті хвильові пакети пружних загасаючих коливань певної тривалості.

Параметри хвильових пакетів (максимальна амплітуда коливань у пакеті, тривалість пакету) визначаються як акустичними характеристиками пласта (добротність, швидкість розповсюдження і коефіцієнт поглинання пружних коливань, акустичний опір), так і параметрами послідовності гідроімпульсів тиску (амплітуда, частота повторення імпульсів). Зі збільшенням частоти повторення пакетів шпаруватість послідовності пакетів (відношення періоду повторення до тривалості пакету) буде зменшуватися [8].

Так, результати досліджень представлені у [9] свідчать, що під час дії на пісковик механіч-

ними імпульсами тиску інтенсивністю 90 Вт/см^2 у пласті створюються хвильові пакети у спектральному розкладі яких переважають гармонічні складові у діапазоні частот 20-1000 Гц, а тривалість пакетів усередньому становить 0,1 с. Таким чином, за частоти повторення пакетів 10 Гц, шпаруватість даної послідовності пакетів дорівнюватиме одиниці.

Виходячи із наведених значень спектрів частот, швидкостей акустичних хвиль у середовищах свердловинного простору і продуктивного пласта, а, звідси, і довжин акустичних хвиль у цих середовищах, характерних геометричних розмірів середовищ, де нас цікавить вплив пружних коливань на пласт, можна, як це відмічено у [6], використати нехвильові методи аналізу, засновані на понятті градієнта тиску *grad p*:

$$\text{grad } p = \frac{dp}{dt} \approx \frac{\Delta p}{\Delta l}, \quad (1)$$

де Δp – перепад (зміна) тиску між двома одиничними ділянками середовища (ізотропного і однорідного у прийнятому напрямі), взаємновіддаленими на відстань Δl .

У ході експлуатації свердловини, у процесі фільтрації внаслідок привнесення у привибійну зону пласта різного типу кольматуючих частинок пластовий флюїд перетворюється в привибійній зоні пласта на колоїдно-дисперсну структуру, що є неньютонівською рідиною [6, 10, 11]. Вказана рідина створює значний гідравлічний опір під час руху флюїду, що спричинює падіння дебіту свердловини. Для початку руху неньютонівської рідини у порах пласта граничний градієнт тиску можна оцінити з допомогою наступної нерівності [6, 10]:

$$\text{grad } p > \frac{\tau_0}{K_{np}^{1/2}}, \quad (2)$$

де τ_0 – гранична напруга зсуву, яка відповідає мінімальному перепаду статичного тиску, що викликає руйнування просторової сітки колоїдно-дисперсної системи;

K_{np} – коефіцієнт проникності пласта.

У нашому випадку, тиск змінюється у часі. Ця зміна тиску (так само як і фронт тиску) переміщується у середовищі зі швидкістю Cn розповсюдження акустичних хвиль у цьому середовищі (фізика цих явищ одна і та ж). За час Δt фронт тиску пружної хвилі Δp пройде відстань Δl із швидкістю Cn . Звідси отримуємо:

$$\text{grad } p = \frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{\Delta p}{Cn \cdot \Delta t} = \frac{\Delta p}{Cn}. \quad (3)$$

Швидкість розповсюдження пружних коливань Cn у середовищі є величиною постійною, яка визначається фізичними параметрами середовища (у нашому випадку продуктивного пласта). Чисельник виразу (3) дорівнює швидкості зміни тиску у часі. Як відомо з теорії гармонічного аналізу [12-14], чим коротші фронти імпульсних процесів, тим більші амплітуди вищих гармонічних складових, на які розкладаються імпульсні процеси. Звідси впливає,

що з врахуванням (3) ми можемо отримати одні і ті ж градієнти тисків як за височастотних дій, так і за низькочастотних, але достатньо великих за амплітудою (по перепадах тисків).

Як було сказано вище, наявність малопроникної зони продуктивного пласта, яка оточує перфоровану зону свердловини, обумовлена утворенням в пласті колоїдно-дисперсної системи, яка являє собою "корок" з розмірами стінки по товщині не більше 1,5-2,0 м. При таких геометричних розмірах "корка" коефіцієнт проходження пружної енергії знаходиться на рівні 0,6 [5]. Тому у близькій зоні пласта – на відстанях до кількох метрів від стінки свердловини – форми акустичних імпульсів тиску (хвильових пакетів), які утворюються від дії на пласт гідроімпульсів тиску, змінюються мало.

Якщо згідно з (2) створити по всій товщині "корка" колоїдно-дисперсної системи крутизну

переднього фронту хвильового пакету $\frac{dp}{dt} \approx \frac{\Delta p}{\Delta l}$

достатню для створення $gradp$, який викликає руйнування структури колоїдно-дисперсної системи, то неньютонівська рідина у привибійній зоні пласта стає більш плинною і може бути витиснена у свердловинний простір. Витиснути зруйновану структуру колоїдно-дисперсної системи з пласта необхідно тому, що вона здатна самовідновлюватись [6, 11]. З цієї точки зору, доцільним є поєднання імпульсних акустичних дій з одночасною депресією на пласт.

Виходячи із вище наведеного, можна зробити висновок, що аналіз процесів механічних дій на привибійну зону пласта із застосуванням понять градієнтів тиску дає змогу зв'язати фізико-механічні характеристики системи "пласт-колектор-пластовий флюїд" з необхідними значеннями градієнтів тиску у пласті, створюваних з метою зміни характеристик вказаної системи.

Дійсно, вираз (2) визначає величину градієнта тиску, необхідну для зміни фізико-механічних характеристик системи пласт-флюїд. Знаючи радіус зони зміненої проникності і градієнт тиску, який повинен діяти в цій зоні, можна визначити технічні параметри свердловинного генератора імпульсів тиску для конкретних свердловин.

Для забезпечення дії градієнту тиску по всій довжині радіуса зони зміненої проникності розраховане значення Δl повинно бути більшим фактичного значення радіуса зони зміненої проникності R . Значення Δl залежатиме від амплітуди і тривалості переднього фронту імпульсів тиску, а також від значення Cn .

Величина $gradp$, необхідна для розриву зв'язків між коагулюючими частинками кольматанту, визначається за виразом (2) для конкретного пласта, виходячи із величини граничної напруги зсуву пластового флюїду τ_0 і коефіцієнта проникності пласта K_{mp} . Згідно з виразом (3) необхідну амплітуду імпульсів тиску у поровому середовищі пласта можна визначити зі встановленого для конкретного пласта значення $gradp$, тривалості переднього фронту хвильових пакетів Δt , а також величини радіуса

зони зміненої проникності R . У першому наближенні тривалість переднього фронту хвильових пакетів можна прийняти як час наростання амплітуди коливань у пакеті від мінімального до максимального значень який з достатньою для практичних розрахунків точністю відповідає передньому фронту гідроімпульсів тиску, створених гідрогенератором у свердловинному середовищі. Вказане диктується потребою у простому інженерному розрахунку параметрів послідовності гідроімпульсів тиску, які діють із свердловини на пласт. Час наростання тиску у свердловині (тривалість переднього фронту імпульсу тиску) можна визначити з допомогою швидкодіючого електронного манометра.

Значення R обчислюють за результатами гідродинамічних досліджень пласта на основі стандартних методик, а тривалість переднього фронту імпульсу тиску для конкретного імпульсного генератора встановлюють не меншою відношення R/Cn .

Після імпульсно-хвильової дії створюється оптимальна для конкретних геолого-технічних умов депресія на пласт з допомогою стандартних технологій та обладнання з метою видалення кольматанту із привибійної зони пласта.

Затримки зі створенням депресії на пласт призводять до повторної коагуляції частинок кольматанту (самовідновлення коагуляційних структур) і тим самим до повторного блокування привибійної зони пласта. У зв'язку з цим для створення депресії доцільним є використання струминних насосів, які дозволяють в широких межах плавно змінювати вибійний тиск. Конструктивне поєднання гідравлічного генератора імпульсів тиску і струминного насоса дає змогу ефективно очищувати від кольматуючих речовин привибійну зону пласта. Після імпульсно-хвильової дії на пласт з допомогою струминного насоса проводиться вибір оптимального значення депресії, за якої кількість кольматуючих речовин в пробах рідини, що беруться на викиді циркуляційної системи, через рівні проміжки часу буде мінімальною, а приплив рідини з пласта буде стабільним.

Найбільш розповсюдженими у даний час є технічні засоби і методи імпульсно-хвильової дії на пласти із використанням глибинного обладнання, встановленого на вибої свердловини.

Методи та обладнання для імпульсно-хвильової дії на продуктивні пласти можна поділити на групи (рис. 1).

До першої групи можна віднести:

- комплексну технологію гідроімпульсно-реагентного впливу з використанням струминних пристроїв стаціонарного або вставного типу (УКОП-1М, НСВ-2) разом із генераторами хвильових коливань [15];

- технології та обладнання для дії на кольматований пласт гідравлічними імпульсами тиску регульованої амплітуди з використанням гідродарних пристроїв: у пласті створюються знакозмінні градієнти тиску – до 1,5 МПа/м; амплітуда імпульсів тиску – 5 МПа [16];

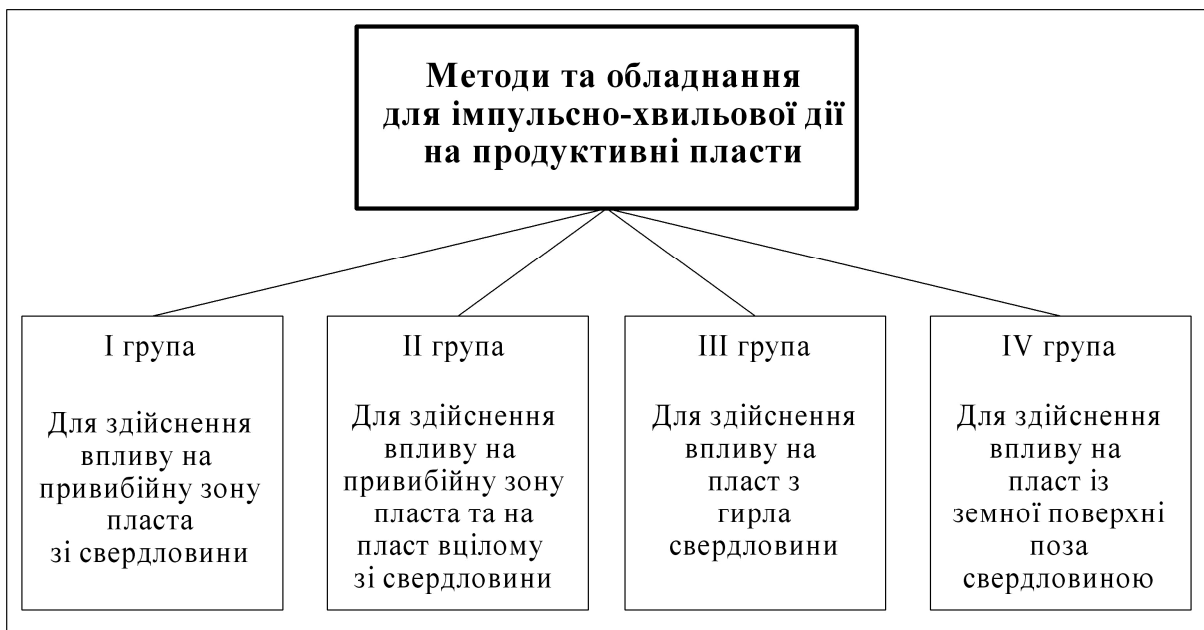


Рисунок 1 – Схема класифікації методів та обладнання для імпульсно-хвильової дії на продуктивні пласти

- гідравлічний вібратор пружинного типу: максимальна амплітуда гідроудару – 1,8-2,5 МПа, оптимальна витрата рідини – 6-8 л/с [17];

- пристрій для очищення привибійної зони свердловини з використанням генератора імпульсів (передввімкнений та основний кавітатор) та зістикованого з ним молекулярно-хвильового кавітатора [18];

- прилад для ультразвукового впливу на пласт з випромінювачем ультразвуку, виконаний з можливістю випромінювання не менше двох частот ультразвукових коливань [19];

- роторний пристрій для очищення свердловин від піщаних пробок, в якому втулка та пружина вставлена в порожнистий вал, є пульсатором [20];

- імпульсний пристрій з генератором пружних коливань [21];

- гідродинамічний генератор коливань вишлого типу [22];

- генератори пружинно-клапанного та клапанно-ударного типу (пульсатор вставний ПВ-54, клапанно-ударний вібратор КУВ-100, генератор клапанний ГК-2): амплітуда коливань – 0,04...0,15 МПа, частоти коливань – 10...6000 Гц [2];

- гідравлічні перетворювачі-«свистки» (генератори ГАП, ГД108-УНИ, свердловинні генератори СГГК) [2];

- гідравлічні роторні перетворювачі-«сирени» (гідравлічний вібратор золотникового типу ГВ3-108): амплітуда коливань – 0,06...0,47 МПа, частоти коливань – 50...4700 Гц [2];

- гідродинамічні генератори на основі вихрових підсилювальних відцентрових форсунок (ГЖ-2, ГЖ-11, ГД2В-3, ГД2В-6): амплітуда коливань – 0,5...2,1 МПа, частоти коливань – 20...250 Гц [2];

- комплекс свабування для дії на привибійну зону пласта гідродинамічними віброударними полями [3];

- гідроакустичний випромінювач: діапазон частот – 100...10000 Гц, граничний звуковий тиск – до 1...2 МПа, інтенсивність – до 50 кВт/м² [23];

- саморухомий золотниковий вібратор: діапазон частот – 100...500 Гц, імпульсний тиск – до 15 МПа [23];

- п'єзокерамічний випромінювач: діапазон частот – 1...100000 Гц, інтенсивність – до 50 кВт/м², електроакустичний коефіцієнт корисної дії – до 50...60% [23];

- кавітаційно-пульсаційний вплив на привибійну зону пласта [4].

Результати досліджень різних гідродинамічних генераторів коливань тиску зведені до таблиці 1. На рисунках 2-4 показані спектрограми і осцилограми сигналів із давачів коливань тиску під час роботи генераторів різних типів.

До другої групи можна віднести:

- технологію акустичної реабілітації свердловин і пластів з використанням свердловинних п'єзокерамічних випромінювачів [24];

- технологію вібросейсмохімічної дії на пласт, яка містить генератор сейсмічних хвиль та пружинно-клапанний пульсатор, в якому частота дії сейсмічними хвилями становить 0,25...0,5 Гц, частота гідравлічних імпульсів тиску – 5...25 Гц [25];

- метод ударно-хвильової дії з використанням переобладнаного свердловинного штангового насоса [3];

- технологія ударно-хвильової дії, в якій джерелом коливань є верстат ударно-канатного буріння УГБ-ЗУК [3];

- електрогідравлічні методи дії на пласт, в яких для створення імпульсів тиску використо-

Таблиця 1 – Результати стендових досліджень гідродинамічних генераторів різних типів

Тип генератора, організація-розробник	Витрата рідини через генератор, м ³ /добу	Тиск нагнітання робочої рідини, МПа	Втрати напору (перепад тиску) на генераторі, МПа	Середньо-квадратичне значення амплітуди коливань, МПа	Розмах коливань тиску, МПа	Домінуючі частоти коливань, Гц
<i>Генератори пружинно-клапанного типу</i>						
Пульсатор вставний ПВ-54, ТатНИПИнефть	550	14,2	1,2	0,04	0,1	10; 1200; 3000; 6000
Клапанно-ударний вібратор КУВ-100	160	1,0	0,4	-	1,0	28; 110; 650
	200	1,1	0,4	-	1,2	28; 90; 410
	300	1,4	0,7	-	1,8	32; 100; 410
	400	1,6	1,0	-	3,0	38; 100; 420
	500	2,0	1,4	-	3,6	40; 100; 420
	700	8,5	7,7	-	4,2	48; 100; 600
Генератор клапанний ГК-2, БашНИПИнефть	100	5,3	0,5	0,15	0,4	100; 200
	350	6,2	1,0	0,10	0,3	100; 200
<i>Гідравлічні роторні перетворювачі-“сирени”</i>						
Гідравлічний вібратор золотникового типу ГВЗ-108, б. МИНГ і ГП	100	4,7	0,2	0,07	0,3	50; 4500
	200	5,2	0,5	0,06	0,2	62; 4700
	400	5,1	0,7	0,10	0,4	75; 4500
	600	4,8	1,2	0,25	0,8	94; 4200
	800	6,7	2,4	0,47	1,7	130; 800
<i>Гідродинамічні, на основі вихрових підсилювальних відцентрових форсунок</i>						
З одним напірним вихровим ступенем:						
	ГЖ-2	370	10,5	9,5	0,50	2,5 (4,0)
ГЖ-11	400	10,5	9,5	0,60	3,0 (5,0)	25; 75; 150
З двома напірними вихровими ступенями протилежного закручування:						
	ГД2В-3	240	8,0	7,5	0,90	4,8 (6,4)
ГД2В-6	500	8,0	7,0	2,10	8,0 (9,6)	33; 250

ується ефект від електричного пробую свердловинної рідини між електродами [3];
 - електрогідравлічну дію [26];
 - магнітострикційний випромінювач з характеристиками: діапазон частот – 1...150000 Гц, гранична інтенсивність – до 50 кВт/м², електроакустичний коефіцієнт корисної дії – до 40% [23];
 - комплекс “Лотос”, який містить, крім іншого, п’єзокерамічний випромінювач з робочою частотою – 8000 Гц [23];
 - акустичні установки АКУ з характеристиками: акустична потужність – 0,6...1,2 кВт, радіус дії в пласті – 25...50 м [23];
 - спосіб віброхвильового витіснення нафти з продуктивного пласта під час внутрішньоконтурного заводнення [27];
 - електророзрядні та акустичні свердловинні пристрої ударно-хвильової дії [28].

До третьої групи можна віднести:
 - кавітаційно-імпульсний хвильовий трансформатор енергії, параметри якого: потужність взаємодії хвиль коливань – 20 Вт/см²; тиск робочої рідини – 35...45 МПа; частоту коливань – 105...106 Гц; інтенсивність випромінювання енергії – 1,25 МВт/м² [1, 29]
 - гирловий пульсатор [30].
 До четвертої групи можна віднести:
 - пересувний вібратор підвищеної потужності з параметрами: робочий діапазон частот – 5-100 Гц, амплітуда сили на штампі – 20 т, принцип дії – гідравлічний з електроприводом, реактивна маса – 5 т, під час роботи в «середніх» ґрунтових умовах, на осадових породах, вібратор створює на глибині 1 км сейсмічні коливання, що характеризуються швидкістю руху частинок середовища – 102 мм/с, відносними

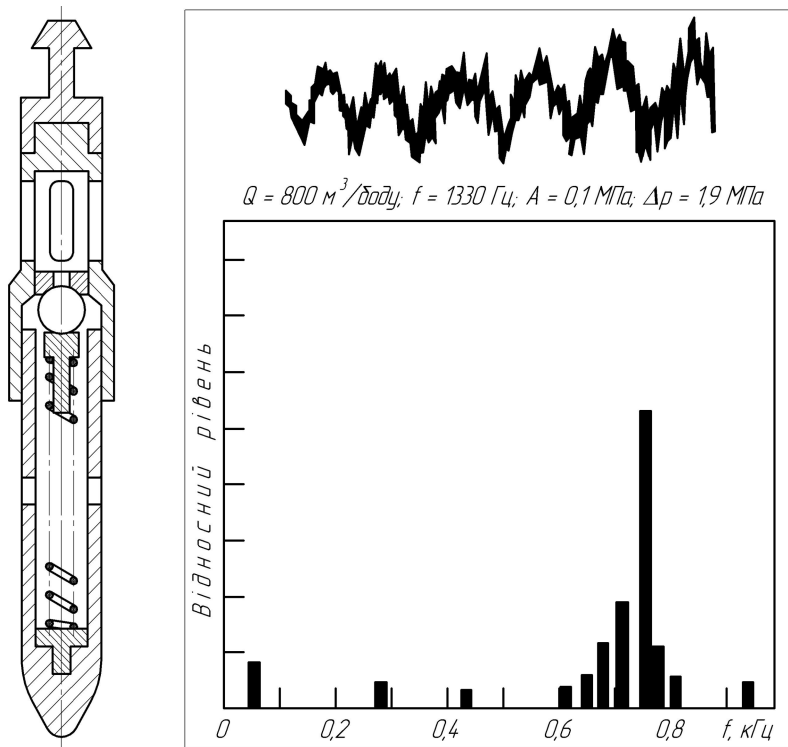


Рисунок 2 – Осцилограма і спектрограма сигналів із давачів під час роботи генератора коливань тиску пружинно-клапанного типу ПВ-54

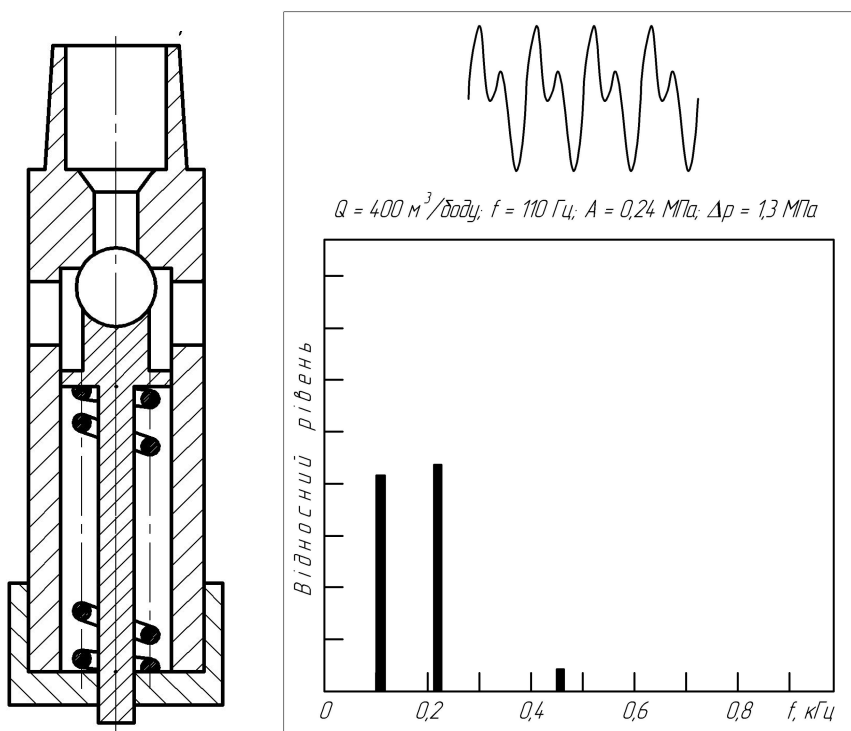


Рисунок 3 – Осцилограма і спектрограма сигналів із давачів під час роботи генератора коливань тиску пружинно-клапанного типу ГК

деформаціями – 10-7, густиною потоку енергії – 0,01 Вт/м² [31];

- невибухові поверхневі віброджерела – віброплатформи, що працюють у діапазоні частот – 5...100 Гц [3].

Також застосовуються комплексні установки гирлової та глибинної дії на продуктивний пласт:

- комплекс «Імпульс-7S» з параметрами: частота імпульсів – 1,2...30 Гц; тиск – 25 МПа; енергія імпульсу – 1,2 кДж [1];

- акустична випромінювальна система, що містить у собі набір свердловинних п'єзокерамічних випромінювачів і наземних генераторів акустичної дії: у свердловині створюються аку-

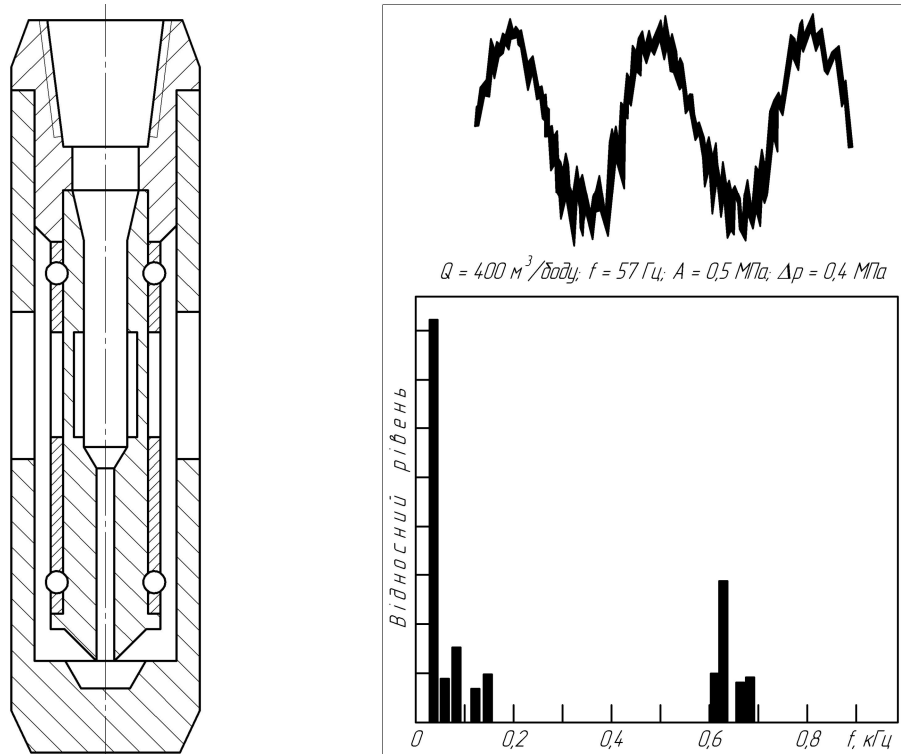


Рисунок 4 – Осцилограма і спектрограма сигналів з датчиків при роботі генератора коливань тиску золотниково-роторного типу ГВЗ-108

стичні потужності – понад 5 Вт/см², діапазон частот – 11-45 кГц [32].

«НПП Ойл-Инжиниринг» розроблено комплекс хвильових технологій, які успішно впроваджуються АНК «Башнефть», ВАТ «Татнефть», БК «Євразія» та іншими підприємствами при освоєнні свердловин:

- технологія освоєння та підвищення продуктивності свердловин з використанням комплексу віброхвильової, депресійної та фізико-хімічної дії;
- технологія комплексної віброхвильової та пінної обробки привибійної зони пласта;
- технологія гідровіброфрак;
- технологія глибокої реагентно-хвильової обробки продуктивних пластів;
- технологія термо-газо-депресійно-хвильової обробки;
- колтубінгові хвильові технології [33].

Хузїна Л.Б. та Габдрахімов М.С. наводять теоретичні основи роботи маятникового вузла свердловинного наддолотного вібратора [34].

У довіднику [26] наводиться аналіз роботи і розрахунок гідравлічного золотникового вібратора типу ГВЗ, а також описується електрогідравлічна дія на привибійну зону пласта.

Незважаючи на позитивні результати, під час використання наведених вище методів та обладнання, проведений аналіз виявив багато невіршених технологічних проблем:

- 1) невелика потужність і довговічність роботи генераторів;
- 2) низький коефіцієнт корисної дії генераторів;

- 3) необхідність створення генератора з необхідними частотними характеристиками для різночастотного впливу на привибійну і міжсвердловинну зони пласта;

- 4) складність виготовлення генераторів та незручність в користуванні;

- 5) недовговічність генераторів при роботі з рідинами, які містять абразивні забруднювачі;

- 6) неможливість роботи одного генератора як в рідинному, так і в газовому середовищі.

З аналізу наведеної інформації за методами третьої і четвертої груп видно, що потужні наземні джерела пружних коливань, якими є віброплатформи, генерують коливання низьких частот (до 10 Гц) з довжиною хвилі, набагато більшою від розмірів віброплатформ. Це означає, що такі джерела коливань випромінюють сферичні хвилі. Тиск у таких хвилях спадає з віддаленням від джерела на величину r за законом $1/r$, а інтенсивність випромінювання зменшується за законом $1/r^2$. Якщо, наприклад, на віддалі 1 м від джерела маємо тиск 1000 атм., то на віддалі 1000 м він буде рівний 1 атм., а потужність (інтенсивність) відповідно в $(1000)^2=10^6$ разів меншою. Як наведено в [5], для одержання технологічного ефекту під час дії на продуктивний пласт інтенсивність коливань повинна бути не меншою, ніж $0,1 \text{ Вт/см}^2 = 1 \text{ кВт/м}^2$. Отже, для одержання інтенсивності $0,1 \text{ Вт/см}^2$ на глибині 1000 м необхідно мати джерело пружних коливань на поверхні з інтенсивністю випромінювання $1 \text{ кВт/м}^2 \cdot 10^6$. Створення таких інтенсивностей у пластовому середовищі є складним технічним завданням.

Методи імпульсно-хвильового впливу на пласти з допомогою глибинних генераторів різної конструкції, встановлюваних у свердловинному середовищі в зоні продуктивного пласта, є більш ефективними у зв'язку із можливістю створення більшої інтенсивності пружних коливань на вході у пласт без спотворення форми коливань під час проходження їх у трубних колонах.

Аналіз сучасного стану методів і засобів імпульсно-хвильових дій на пластове середовище свідчить про їх велику різноманітність із застосуванням різних способів збудження пружних хвиль у пласті, великим діапазоном частот ($0,25 \dots 10^6$ Гц) та інтенсивностей ($0,1 \text{ Вт/см}^2 \dots 125 \text{ кВт/см}^2$), значною кількістю конструктивних рішень глибинного, гирлового та наземного обладнання. Вказане свідчить про інтенсивний розвиток даного науково-технічного напрямку і його перспективність, у першу чергу для підвищення нафтогазовилучення із пластів без застосування хімічних реагентів і нагрівачів, зважаючи на зменшення видобувних запасів вуглеводнів у світі. Перевагою вказаних методів і засобів є їх екологічна чистота, ефективність, відносно низька вартість, низька енергомісткість.

Невирішеними залишаються наступні науково-технічні проблеми:

- теоретичне та експериментальне обґрунтування фізико-хімічних процесів у поровому середовищі нафтогазонасиченого пласта під впливом імпульсно-хвильових дій;

- теоретичне обґрунтування та експериментальне визначення впливу пружних коливань різних частот та інтенсивностей на зміну швидкості і напрямку фільтраційних потоків у поровому середовищі міжсвердловинної зони пласта для різних режимів розробки нафтових і газових родовищ;

- розроблення ефективних свердловинних генераторів пружних коливань для одночасного різночастотного впливу на привибійну та міжсвердловинну зони пласта;

- створення генераторів для роботи з використанням як рідкого, так і газового носія енергії.

Враховуючи наведене вище, необхідно зосередити увагу на вирішенні таких питань:

- 1) підвищенні коефіцієнта корисної дії генераторів під час передачі енергії і створенні коливань;

- 2) використанні в якості енергоносія для роботи генераторів рідини і газу з метою створення ширококутових акустичних коливань на вибої свердловини.

Література

1 Кичигин А.Ф. Канонические ансамбли в процессах интенсификации добычи нефти [Текст] / А.Ф. Кичигин, Д.А. Егер. – К.: Техніка, 2002. – 184 с.

2 Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия [Текст] / В.П. Дыбленко, Р.Н. Ка-

малов, Р.Я. Шарифуллин, И.А. Туфанов. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. – 381 с.

3 Слюсарев Н.И. Технология и техника повышения нефтеотдачи пластов [Текст]: Учебное пособие / Н.И. Слюсарев – Санкт-Петербург: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2003. – 78 с.

4 Интенсификация припливу углеводнів у свердловину [Текст] / Ю.Д. Качмар, В.М. Світлицький, Б.Б. Синюк, Р.С. Яремійчук. – Львів: Центр Європи, 2005. – 414 с.

5 Кузнецов О.Л. Применение ультразвука в нефтяной промышленности [Текст] / О.Л. Кузнецов, С.А. Ефимова. – М.: Недра, 1983. – 192 с.

6 Горбачев Ю.И. Акустическое воздействие и повышение рентабельности разработки нефтяных месторождений [Текст] / Ю.И. Горбачев // НТВ Каротажник. – 1999. – № 60. – С. 56-67.

7 Кудинов В.И. Методы повышения производительности скважин [Текст] / В.И. Кудинов, Б.М. Сучков. – Самара, 1996. – 414 с.

8 Браммер Ю.А. Импульсная техника [Текст] / Ю.А. Браммер, И.Н. Пашук. – М.: Высшая школа, 1965. – 284 с.

9 Бажалук Я.М. Дослідження акустичних властивостей менілітових відкладів [Текст] / Я.М. Бажалук, О.М. Карпаш, О.І. Гутак [та ін.] // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4(9). – С. 53-56.

10 Крутин В.Н. Механизм акустической интенсификации притоков нефти из продуктивных пластов [Текст] / В.Н. Крутин // НТВ Каротажник. – 1998. – № 42. – С. 46-53.

11 Горбачев Ю.И. Физико-химические основы ультразвуковой очистки призабойной зоны нефтяных скважин [Текст] / Ю.И. Горбачев, О.Л. Кузнецов, Р.С. Рафиков, А.А. Печков // Геофизика. – 1998. – №4. – С. 5-9.

12 Шарп Р. Методы неразрушающих испытаний [Текст] / Р. Шарп. – М.: Мир, 1972. – 496 с.

13 Атабеков Г.И. Основы теории цепей [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Атабеков. – М.: Энергия, 1969. – 442 с.

14 Бронштейн И.Н. Справочник по математике [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: ГИФМЛ, 1959. – 608 с.

15 Акульшин О.О. Технологія гідроімпульсно-реагентного впливу для стимуляції роботи свердловин [Текст] / О.О. Акульшин, Б.Б. Штайден, Л.В. Немировська // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №3. – С. 36-37.

16 Бажалук Я.М. Використання технологій гідроімпульсної дії на пласт для освоєння свердловин [Текст] / Я.М. Бажалук // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №4. – С. 35-38.

17 Пат.2197598 Российская Федерация, МПК Е 21 В 28/00, Е 21 В 43/25. Гидравлический вибратор [Текст] / Ибрагимов Н.Г., Салимов М.Х., Жеребцов Е.П., Гарифов К.М., Кадыров А.Х.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Татнефть» –

№ 2000110057/03; заявл. 20.04.00; опуб. 27.01.03, Бюл. № 2.

18 Пат.68021 Україна, МПК Е 21 В 37/00, Е 21 В 28/00. Пристрій для очищення привибійної зони свердловини [Текст] / Здольник Г.П., Верба Ю.В.; заявник і патентовласник Здольник Геннадій Петрович, Верба Юрій Валентинович – № 2003087991; заявл. 26.08.03; опуб. 17.07.06, Бюл. № 7.

19 Пат.74984 Україна, МПК Е 21 В 37/00, F 04 F 5/02, Е 21 В 49/08. Спосіб роботи свердловинної струминної установки під час очищення присвердловинної зони пласта ультразвуком і пристрій для його здійснення [Текст] / Хоминець З.Д.; заявник і патентовласник Хоминець Зіновій Дмитрович – № 2002106128; заявл. 03.12.02; опуб. 15.02.06, Бюл. № 2.

20 Авт. свид.867104 ССРСР, МПК Е 21 В 37/00. Роторное устройство для очистки скважин от песчаных пробок [Текст] / Табаков В.П., Корнев Б.П., Обрезков А.И., Пилатовский В.П.; заявитель и патентообладатель Всесоюзный нефтегазовый научно-исследовательский институт – № 2929217/22-03; опуб. 23.05.80.

21 Пат.2274730 Российская Федерация, МПК Е 21 В 37/00, Е 21 В 43/25. Скважинное оборудование для обработки призабойной зоны пласта и импульсное устройство для него [Текст] / Дыбленко В.П., Лысенков А.П., Туфанов И.А.; заявитель и патентообладатель Дыбленко Валерий Петрович, Лысенков Александр Петрович, Туфанов Илья Александрович – № 2004101681/03; заявл. 13.01.04; опуб. 20.04.06, Бюл. № 3

22 Пат.2267364 Российская Федерация, МПК В 06 В 1/20. Способ генерирования колебаний жидкостного потока и гидродинамический генератор колебаний [Текст] / Дыбленко В.П., Лысенков А.П., Туфанов И.А.; заявитель и патентообладатель Дыбленко Валерий Петрович, Лысенков Александр Петрович, Туфанов Илья Александрович – № 2004114350/28; заявл. 30.04.04; опуб. 10.01.2006, Бюл. № 1.

23 Вяхирев Р.И. Теория и опыт добычи газа [Текст] / Р.И. Вяхирев, Ю.П. Коротаев, Н.И. Кабанов. – М.: Недра, 1998. – 479 с.

24 Технология акустической реабилитации скважин и пластов для решения задач повышения нефтеотдачи [Текст] / Э.И. Орендлихерман, Д. Воронин, А. Исхаков, Ю. Горбачев. // Нефть и газ. – 2002. – №5. – С. 51-55.

25 Техника для вибросейсмохимического воздействия на призабойную зону [Текст]. / А.Н. Дроздов, Д.Н. Ламбин, А.Г. Молчанов [и др.] // Территория нефтегаз. – 2007. – №2. – С. 44-49.

26 Гиматудинов Ш.К. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти [Текст] / Ш.К. Гиматудинов. – М.: Недра, 1983. – 455 с.

27 Віброхвильове витіснення нафти з продуктивного пласта при внутрішньоконтурному заводненні [Текст] / В.М. Казанцев, В.О. Фролагін, Ю.А. Балакіров [та ін.] // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №1. – С. 39-41.

28 Кучернюк А.В. Комплексні технології ударно-хвильової дії на продуктивні горизонти як інструмент підвищення ефективності експлуатації нафтових родовищ [Текст] / А.В. Кучернюк // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №5. – С. 23-27.

29 Кичигин А.Ф. Глобальная энергия в энергосбережении добычи и обработки материалов [Текст] / А.Ф. Кичигин, Д.А. Егер, А.Г. Ивченко. – К.: Кондор, 2006. – 402 с.

30 Сулейманов Б.А. Повышение эффективности физического воздействия на призабойную зону нефтедобывающих скважин [Текст] / Сулейманов Б.А., Ш.З. Исмаилов // Нефтегазовое дело. – 2005. – <http://www.ogbus.ru>.

31 Абасов М.Т. Перспективы вибрационного воздействия на нефтяную залежь с целью повышения нефтеотдачи [Текст] / М.Т. Абасов, А.В. Николаев, М.А. Садовский // Вестник АН СССР. – 1986. – №9. – С. 95-99.

32 Токарев В.Д. Технология РАВ – важный этап совершенствования методов акустического воздействия на пласты [Текст] / В.Д. Токарев // Oil&Gas Eurasia. – 2008. – №6. – С. 56-59.

33 Освоение скважин на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами с использованием комплекса волновых технологий [Текст] / В.П. Дыбленко, И.А. Туфанов, А.П. Очковский // Нефтяное хозяйство. – 2008. – №11. – С. 112-116.

34 Хузина Л.Б. Наддолотный маятниковый вибратор [Текст] / Л.Б. Хузина, М.С. Габдрахимов // Нефтегазовое дело. – 2005. – <http://www.ogbus.ru>.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
29.01.13*

*Рекомендована до друку
професором Кондратом Р.М.
(ФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором Петришиним Л.Б.
(Прикарпатський національний університет
ім. В. Стефаніка, м. Івано-Франківськ)*