

## ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОНИКНОСТІ ПРИВИБІЙНОЇ ЗОНИ ПЛАСТА ТА РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ СВЕРДЛОВИН ГІДРОАКУСТИЧНИМ МЕТОДОМ

*Б.О. Чернов, М.М. Западнюк*

*ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел.(03422) 48090,  
e-mail: z a p a d m a x @ u k r . n e t*

*Одним із важливих питань сьогодення нафтогазовидобувної галузі є підвищення проникності привибійної зони пласта. Розглянуто завдання підвищення ефективності діючих родовищ за рахунок забезпечення потенційних можливостей кожної окремо взятої свердловини. Пропонується вирішення даної проблеми без значних матеріальних затрат та часу. Розглянуто класифікації методів дії на пласт з метою підвищення нафтовіддачі. Описано основні вимоги, що висуваються до вибору методу дії на пласт у кожному окремому випадку. Наведено класифікацію фізико-гідродинамічних методів підвищення вуглеводневилучення. Розглянуто характеристику найбільш розповсюджених на промислі методів дії на привибійну зону та обґрунтовано їх техніко-економічні особливості. Показана ефективність застосування методів з практичного боку їх використання. Описано застосування запропонованих методів та результати їх впровадження на родовищах. Запропоновано технологію комплексного впливу на процес підвищення вилучення вуглеводнів, яка включає дві складові: гідравлічну та акустичну. Розглянуто дію акустичного поля на процеси, які відбуваються в привибійній зоні свердловини та пласта при запропонованій обробці. Встановлено ефективність використання акустичного поля для проблемних родовищ з високов'язкими нафтами родовища Прикарпаття та Карпат). Встановлено позитивний ефект у випадку застосування сумісної дії потоку рідини, тобто гідравлічної складової, та акустичних хвиль для закольматованих ділянок пласта. Обґрунтовано використання пристроїв гідроакустичної дії та враховано конструктивні недоліки попередників. Наголошується на перевагах гідроакустичного впливу над застосовуваними технологіями підвищення проникності привибійної зони. Запропоновано область застосування розробленого пристрою та розглянуто основні технологічні завдання, які він дозволяє вирішити. Подана класифікація існуючих пристроїв ідентичного впливу на пласт, їх принцип дії, технічні характеристики, область застосування та особливості експлуатації. Представлено схему генератора гідроакустичних імпульсів та його конструктивні особливості. Коротко наведено опис процесів, які відбуваються в самому генераторі, та механізм їх впливу на зносостійкість елементів конструкції. Подано висновки про ефективність застосування сучасних методів підвищення продуктивності видобування вуглеводнів.*

*Ключові слова:* родовище, поклад, свердловина, видобування, розробка, гідроакустика, пристрій.

*Одним из важных вопросов нефтегазодобывающей отрасли на сегодняшний день является повышение проницаемости призабойной зоны пласта. Рассматривается задача повышения эффективности действующих месторождений за счет обеспечения потенциальных возможностей каждой отдельно взятой скважины. Предлагается решение данной проблемы без значительных материальных затрат и времени. Рассмотрены разные классификации методов воздействия на пласт с целью повышения нефтеотдачи. Представлены основные требования, предъявляемые к выбору метода воздействия на пласт для каждого отдельного случая. Приведена классификация физико-гидродинамических методов повышения углеводоизвлечения. Рассмотрена характеристика наиболее распространенных в промышленности методов воздействия на призабойную зону и обосновано их технико-экономические особенности. Показана эффективность применения методов с практической точки зрения их использование. Приведены наглядное изображение применения предложенных методов и результаты их применения на месторождениях. Предложена технология комплексного воздействия на процесс повышения извлечения углеводородов, который включает в себя две составляющие: гидравлическую и акустическую. Рассмотрены действие акустического поля на процессы, происходящие в призабойной зоне скважины и пласта при предложенной обработке. Установлена эффективность использования акустического поля проблемных месторождений с высоковязкой нефтью (месторождения Прикарпатья и Карпат). Показан положительный эффект при применении совместного воздействия потока жидкости (гидравлической составляющей) и акустических волн для закольматированных участков пласта. Обосновано использование устройств гидроакустического воздействия и учтены конструктивные недостатки предшественников. Указаны преимущества гидроакустического воздействия перед применяемыми технологиями повышения проницаемости призабойной зоны. Предложена область применения разработанного устройства и рассмотрены основные технологические задачи, которые он позволяет решить. Дана классификация существующих устройств идентичного воздействия на пласт, их принцип действия, технические характеристики, область применения и особенности эксплуатации. Представлена схема генератора гидроакустических импульсов и его конструктивные особенности. Коротко приведено описание процессов, происходящих в самом генераторе, и механизм их влияния на износостойкость элементов конструкции. Сделаны выводы об эффективности применения современных методов повышения производительности добычи углеводородов.*

*Ключевые слова:* месторождение, залежь, скважина, добыча, разработка, гидроакустика, устройство.

*One of the principal tasks of modern oil and gas producing industry is the increasing of the led fluid conductivity of well. Article deals with the task of increasing existing reservoirs productivity by providing potential capacity of each separate well. The solution of a given problem without significant material and time expenses is given in the article. Classification of methods of exposure to layer in order to increase oil recovery factor are analyzed and the main requirements to the selection of exposure method in each separate case are introduced. The classification of physical and hydrodynamical methods of carbohydrate extraction is presented. Characteristics of most widespread methods of exposure are presented and their technical and economical peculiarities are reasoned. Efficiency of methods practical application is shown in a given article as well as the demonstration of the suggested methods application and results of their application. The technology of complex influence on the process of carbohydrate extraction which includes two components: hydrodynamic and acoustic is offered in the article. Article enusages acoustic field influence on the processes which occur in bottom-hole zone and layer during a specific processing and determines efficiency of acoustic field use in problem reservoirs with high-viscosity oil (reservoirs in Precarpathian and Carpathian region). The positive effect of the operation of liquid combined flow (hydraulic component) and acoustic waves for colmatage sections of layer is to determined. The application of hydroacoustic devices was grounded with taking into account all structural faults of predecessor and represents advantages of hydroacoustic influence over other technologies of the increasing the fluid productivity of well. Article offers field of application of developed tool and main technological tasks it may accomplish. A given classification of existing devices that have identical influence on layer, principle of their operation, technical characteristics, field of application and peculiarities of exploitation. Article shows scheme of generator of hydroacoustic impulses and it's structural peculiarities. The processes which occur in generator and their influence on it's elements durability. The conclusions about the efficiency of modern methods of carbohydrate extraction increasing output were made.*

Keywords: deposit, reservoir, well, output, development, hydroacoustics, device.

Більшість нафтових та газових родовищ перебувають на завершальній стадії розробки, яка характеризується падінням дебіту свердловини та погіршенням умов видобування флюїду. Внаслідок цього на багатьох родовищах переважна більшість свердловин переведена на механізовану або періодичну експлуатацію. Видобування нафти і газу на таких родовищах стає неефективним, або малоефективним. Нерівномірність колекторських властивостей пласта призводить до нерівномірного нафтогазовилучення і зниження коефіцієнта нафтовіддачі. Під час довготривалої роботи видобувних свердловин на вибраному режимі експлуатації відбувається кольматація присвердловинної зони продуктивного пласта, знижуються фільтраційно-ємнісні характеристики. Основними перешкодами у видобуванні нафти і газу на пізній стадії розробки та експлуатації свердловин є збільшення обводненості вуглеводнів (до 80-90%), парафінізація, замулювання та закупорювання важкими фракціями нафти та піском нафтоносного продуктивного пласта у привибійній зоні. Таке забруднення пов'язане з інтенсивним виділенням розчиненого газу, відкладенням неорганічних солей, наявністю глинистих частинок, які різко знижують гідродинамічний зв'язок свердловини та пласта. Тому на пізніх стадіях розробки родовищ ми маємо справу із зовсім іншими колекторськими властивостями, новими гідродинамічними, гідрогеологічними, тепловими та фізико-хімічними режимами пласта. В цих умовах актуальним є завдання підвищення ефективності діючих родовищ за рахунок використання потенційних можливостей кожної свердловини. До того ж вирішення цієї проблеми можливе без значних матеріальних затрат. Про це і йтиметься далі.

Основною завданням даної роботи є оцінка техніко-економічної ефективності методів підвищення нафтогазовилучення, які вже пройшли дослідно-промислове впровадження та застосовуються.

В практиці промислових робіт використовують різні методи освоєння свердловин: промивання свердловин нафтою і хімічними реагентами, створення великих депресій тиску, кислотна обробка присвердловинної зони, гідророзрив пласта тощо. У літературі стикаємось з різною класифікацією цих методів. Зокрема російські вчені та дослідники всі сучасні методи дії на пласт з метою підвищення нафтогазовіддачі виділяють шість основних груп:

- раціональне розміщення нафтових, газових і нагнітальних свердловин;
- гідродинамічний вплив закачуванням значної кількості води для підтримання, або збільшення початкового пластового тиску;
- теплова дія на систему пласт-насичені рідини;
- фізико-хімічні методи, основані на використанні хімічних реагентів типу ПАР, полімерів, кислот і т.д.;
- газові методи, основані на використанні азоту, діоксиду вуглецю, димових газів, метану, природного газу та інших подібних речовин;
- група комбінованих методів, які включають в себе одночасно різні принципи впливу на об'єкт розробки. [1].

Сучасні українські фахівці у галузі видобування нафти і газу та підвищення нафтогазовилучення, зокрема Бойко В.С. [2] виділяє з десятків різноманітних методів діяння на поклади чотири основні групи:

- гідродинамічні методи: циклічне заводнення, зміна напрямку фільтраційних потоків, створення високих тисків нагнітання, форсування відбирання рідини, а також методи діяння на привибійну зону пласта;
- фізико-хімічні методи: заводнення із застосуванням активних домішок (ПАР, лугів, сірчаної кислоти, міцелярних розчинів та ін.);
- газові методи: витіснення нафти газом високого тиску, водогазове циклічне діяння;
- теплові методи: витіснення нафти різного роду теплоносіями (гарячою водою, паром),

внутрішньо пластове горіння, пароциклічне оброблення пласта та ін.

Всі із вище зазначених методів підвищення вуглеводневилучення із пластів визначаються геолого-фізичними умовами та характеризуються різними потенційними можливостями збільшення флюїдовилучення із пластів (від 2% до 35% балансових запасів) і різними факторами їх застосування.

На практиці, вплив на пласт в більшості випадків реалізується саме через комбінований принцип дії: гідродинамічної і теплової, гідродинамічної та фізико-хімічної, теплової та фізико-хімічної і т.д. Практично всі методи дії на пласт мають поєднуватись з раціональним розміщенням свердловин, так як максимальна ефективність досягається лише при оптимальному розташуванні свердловин для конкретного методу. Вибір методу інтенсифікації в кожному конкретному випадку залежить від багатьох факторів, зокрема:

- типу колектора;
- значень фільтраційно-ємнісних властивостей ПЗП;
- величини пластового тиску;
- розташування інтервалів впливу в межах продуктивного розрізу;
- наявність водоносних інтервалів по розрізу;
- технічного стану свердловини;
- причин зниження колекторських властивостей ПЗП;
- технічних та фінансових можливостей підприємства, яке експлуатує даний об'єкт.

Як свідчить досвід, найбільш перспективним в цьому плані слід вважати розробку комплексних технологій. При цьому високоефективний комплекс впливу на пласт має відповідати технологічній доступності та простоті здійснення технологічних операцій. Одним із найбільш раціональних напрямків інтенсифікації припливу флюїду є перехід на принципово нові методи, які забезпечують ефективне дренавання та перспективні для підвищення продуктивності свердловин та величини нафтогазовилучення із пластів. Такими методами є гідродинамічні та фізичні методи. Існує різна класифікація даних методів. Наведемо одну із них, до якої входить класифікація фізико-гідродинамічних методів підвищення вуглеводне вилучення за різними технологіями та ступенем впливу їх на продуктивні пласти. До першої групи можна віднести методи, які частіше за інші застосовуються на промислах зважаючи на свою простоту технології реалізації. До цієї ж групи належать також ті гідродинамічні методи, які здійснюються тільки через зміну режимів роботи свердловини, а також спрямовані на залучення в активну розробку слабкодренованих запасів. Ці методи включають в себе:

- циклічне заводнення;
- підвищення тиску нагнітання;
- вибіркове закачування води в низькопроникні пропластки і пласти, зони і ділянки;

- методи обробки привибійної зони, які змінюють режим роботи і відновлюють потенціал свердловини (гідроімпульсний, хвильовий, гідроакустичний вплив та ін.);
- механічні методи зміни режимів роботи нагнітальних свердловин;
- періодичні зупинки і пуски груп свердловин або окремих свердловин;
- внутрішньопластова дія для обмеження підтікання води (ізоляційні роботи);
- системи обробки привибійної зони, гідророзрив пласта (ГРП), поінтервальне підвищення продуктивності свердловин (перфорація);
- забурювання додаткових та горизонтальних стовбурів.

До другої групи відносяться методи, направлені на за діяння в розробку недренованих або слабкодренованих запасів неоднорідного пласта. Ці методи відрізняються розмаїттям технологій дії на пласти. Серед них:

- перенесення фронту нагнітання води;
- організація додаткових рядів нагнітальних свердловин, шляхом переведення видобувних а нагнітальні;
- використання бар'єрного, площового та інших модифікацій заводнення;
- залучення в розробку недренованих запасів нафти в лінзах, застійних низькопроникних зонах шляхом буріння додаткових видобувних, або нагнітальних свердловин.

Зупинимось детальніше на деяких із методів та розглянемо їх техніко-економічні особливості.

**Гідравлічний розрив пласта (ГРП).** Суть методу полягає в тому, що на вибої свердловини, шляхом закачування рідини, створюється тиск, який перевищує гірський тиск. Порода продуктивного пласта розривається по площинах мінімальних напружень гірського тиску, внаслідок закачування рідини, тріщини що утворилися збільшуються в розмірах (рис. 1). Потім, цією ж рідиною транспортується в тріщину розклинюючий агент (пропант), який утримує тріщину у відкритому стані після зниження надлишкового тиску. Таким чином, за рахунок створеної тріщини розширюється область пласта біля вибою, яка раніше не використовувалась в розробці покладу. Цей метод дозволяє підвищити дебіт свердловини в декілька разів, збільшити коефіцієнт вилучення і тим самим перевести частину балансових запасів в промислові. Недоліком даного способу є використання рідин на нафтовій основі, що є дуже пожежовибухонебезпечним фактором. Ще одним принциповим недоліком є те, що даний метод дає результат, який характеризується лише короткочасною проникністю, та не завжди прогнозований дебіт відповідає фактичному вже після проведення ГРП.[3]

**Заводнення.** Ще один спосіб впливу на пласт в процесі розробки родовищ, при якому підтримка і відновлення пластового тиску і балансу енергії здійснюються закачуванням води. Вона забезпечує високі темпи видобутку і порівняно високий ступінь вилучення вуглеводнів (до 70%). Як робочий агент використовуються

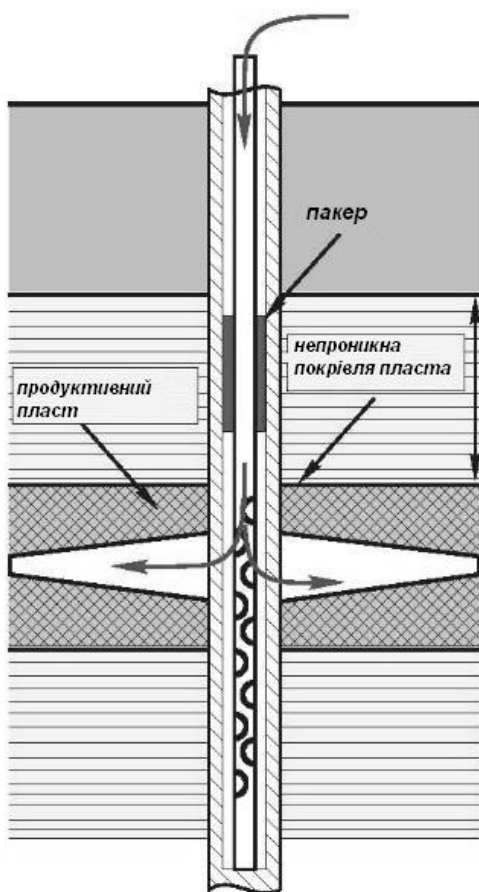


Рисунок 1 – Схема утворення тріщини при ГРП

води водоймищ (ріки, моря, озера), глибинних водоносних горизонтів, пластові води, а також розчини ПАР, полімерів, двоокису вуглецю і лугів, що характеризуються підвищеними нафтовитіснявальними властивостями.

*Метод циклічного заводнення* – це метод підвищення нафтовилучення із пласта, технологічна суть якого полягає в періодичній зміні витрати (тисків) нагнітальної води за безперервного або періодичного видобування рідини з покладу і зсуву фаз коливань тиску по окремих групах свердловин. Кожна нагнітальна і видобувна свердловина працює в режимі циклічної зміни вибірного тиску (нагнітання, видобування); внаслідок такого діяння на пласт у ньому відбуваються стрибкоподібні підвищення і зниження тиску. Метод циклічного заводнення найбільш ефективний у шарово-неоднорідних і тріщинувато-пористих пластах.

*Полімерне заводнення* – це фізико-хімічний метод підвищення нафтовилучення при заводненні шляхом закачування в пласт облямівки водних розчинів полімерів концентрації 0,015–0,7% з високою молекулярною масою. Відносна технологічна ефективність методу полімерного заводнення зростає порівняно зі звичайним заводненням для високов'язкої нафти.

*Мицелярне заводнення* – технологія фізико-хімічного підвищення нафтовилучення шляхом нагнітання в поклад облямівки мицелярного розчину, що забезпечує істотне зниження між-

фазного поверхневого натягу. Об'єктом для даного виду заводнення має бути поклад з високою початковою нафтонасиченістю.

Залежно від розташування нагнітальних свердловин відносно покладу нафти розрізняють: законтурне заводнення, при якому нагнітальні свердловини розташовуються за межами нафтоносної частини продуктивного пласта (по периметру покладу); приконтурне заводнення – нагнітальні свердловини буряться у водонафтовій зоні пласта між внутрішнім та зовнішнім контурами нафтоносноності; внутрішньоконтурне заводнення – вода закачується безпосередньо в нафтонасичену частину пласта. На багатьох родовищах застосовують поєднання описаних різновидів заводнення.

*Законтурне заводнення* – спосіб розробки нафтових родовищ, при якому підтримання або відновлення балансу пластової енергії здійснюється закачуванням води в нагнітальні свердловини, що розташовуються за зовнішнім контуром нафтоносноності (по периметру покладу). Розташування нагнітальних свердловин щодо останнього визначається умовами залягання продуктивного пласта; відстанями між нагнітальними свердловинами по лінії нагнітання, між зовнішніми і внутрішніми контурами нафтоносноності і між зовнішнім контуром нафтоносноності і першим рядом видобувних свердловин; співвідношенням в'язкостей нафти і води. Крім того, необхідно забезпечувати відносно рівномірне просування води до центру покладу з метою зменшення можливості прориву води на окремих ділянках покладу. Найбільш ефективним є застосування законтурного заводнення на відносно невеликих родовищах, пласти яких є однорідними породами з високою проникністю, не ускладнені порушеннями і містять мало в'язку нафту.

*Внутрішньоконтурне заводнення* – спосіб розробки нафтових родовищ, при якому підтримання або відновлення балансу пластової енергії здійснюється закачуванням води безпосередньо в нафтонасичені ділянки нафтового (продуктивного) пласта. Внутрішньоконтурне заводнення – найбільш інтенсивний і економічно ефективний спосіб впливу на нафтовий пласт. За характером взаємного розташування нафтовидобувних і водонагнітальних свердловин розрізняють кілька різновидів внутрішньоконтурного заводнення.

Основними недоліками всіх методів заводнення є те, що для їх ефективного застосування потрібні певні конкретні геологічні умови, що не завжди зустрічаються на практиці.

*Глибоко проникаюча перфорація.* Перфорація – це пробивання отворів у стінках свердловини навпроти заданої ділянки продуктивного пласта з метою посилення припливу води, нафти чи газу у видобувну свердловину чи пласт (рис. 2). Цей метод відноситься до методів вторинного розкриття пластів, за допомогою якого утворюються перфораційні канали глибиною до 1 метра. Довжина каналів при звичайній перфорації до 20-30 см. Перфорація забезпечує збільшення припливу рідини з плас-

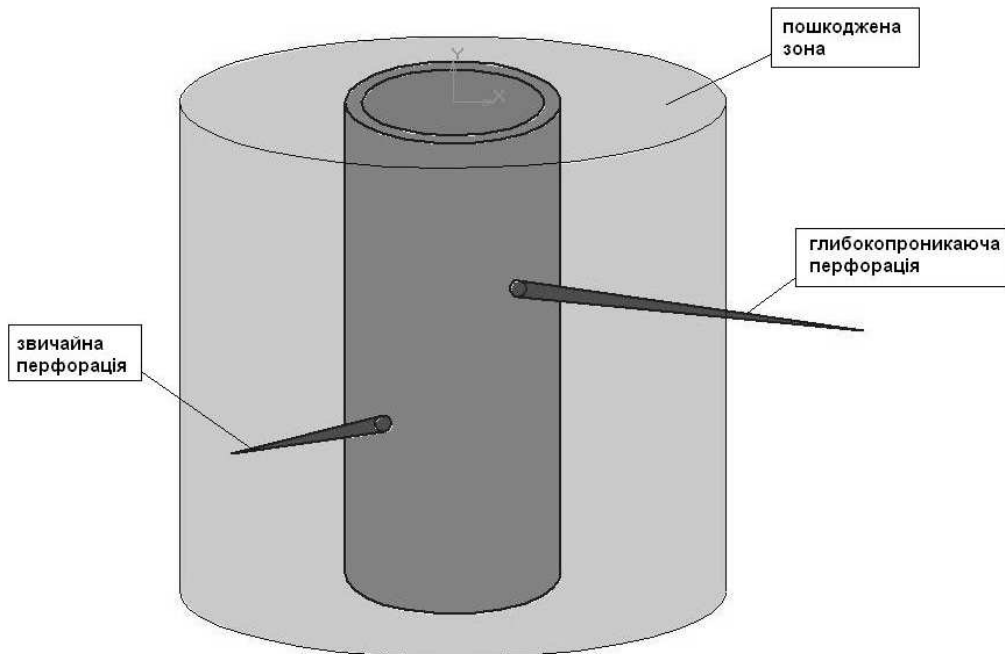


Рисунок 2 – Ілюстрація перфораційної зони при здійсненні процесу

та на 40-50%. Технологія забезпечує очищення каналів за рахунок створення перепаду тиску між пластом і свердловиною в момент перфорації.

*Гідропіскоструминна перфорація* – це створення каналів у експлуатаційній колоні, цементному камені і масиві гірських порід за рахунок енергії піскорідинної струмینی з насадок перфоратора. Після проведення перфорації покращується гідрогазодинамічний зв'язок свердловини із продуктивним пластом, підвищується продуктивність свердловин за рахунок наявності каналів у привибійній зоні, а також активізують тріщини при гідравлічному розриві пласта. Перфорація свердловини цим методом здійснюється спеціальною бригадою, яка оснащена пересувними насосними агрегатами, що можуть створювати тиск до 50-70 МПа.

Недоліками даних видів перфорації є те, що шлам, який утворюється під час самого процесу, осідає на корпусі перфоратора, колоні, породи та погіршує продуктивність свердловини. Також при перфорації створюються отвори малого діаметру (не більше 15 мм). При русі вуглеводнів через малі отвори виникають високі гідравлічні опори, що обмежують інтенсивність надходження видобувного флюїду в свердловину [3].

**Кислотна обробка.** Застосування даного методу забезпечує підвищення проникності піщаних та карбонатних гірських порід після буріння, під час експлуатації та ремонтних робіт (рис. 3). Найчастіше для обробки карбонатних порід-колекторів застосовують соляно-кислотний розчин (СКР), а для піщаних – глинокислотний (ГКР). Основною метою способу є, звичайно, збільшення проникності ПЗП за рахунок розчинення складових частинок породи пласта, а також сторонніх частинок, якими засмічені породи. Однак цей метод має ряд недоліків.

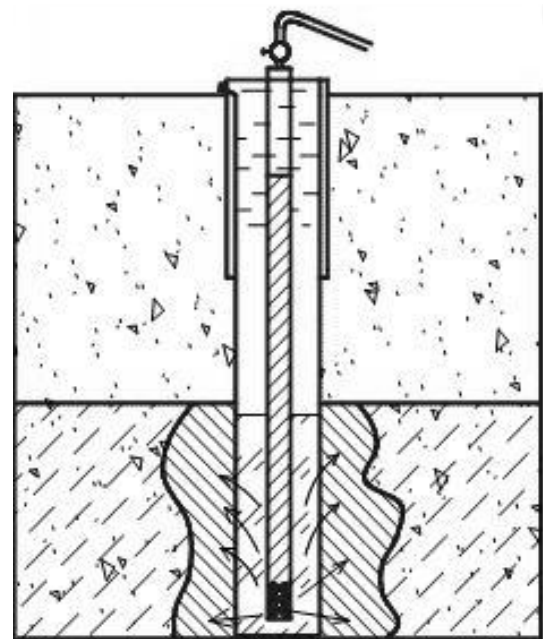


Рисунок 3 – Схема кислотної обробки свердловин

Одним із найвагоміших є складність проведення самої обробки, правильність приготування самого соляно- або глинокислотного розчину, необхідність спецтехніки. Великою ймовірністю є також зниження проникності після кислотної обробки. Це пояснюється тим, що продукти реакції можуть відкладатись в поровому просторі у вигляді твердих або гелеподібних фаз, які, в свою чергу, при взаємодії з флюїдом утворюють емульсії або осади. При обробці свердловини соляною кислотою, остання реагує з породою як на стінках свердловини, так і в порових каналах. Соляно-кислотні обробки в основному застосовують для введення кислоти

в пласт (по можливості на значні від свердловини відстані), з метою розширення каналів та покращення їх сполучення. Глибина проникності кислоти в пласт у активному стані залежить від швидкості реакції її з породою. Швидкість реакції залежить також від складу породи, від об'єму кислоти, яка розрахована на одиницю поверхні порід, від пластової температури та тиску. Технологія кислотної обробки кожної окремої свердловини потрібно вибирати з урахуванням пластових умов. У важкорозчинних породах швидкість реакції потрібно підвищувати (шляхом підігрівання кислоти), а в добре розчинних – доцільніше сповільнити дію кислоти, щоб забезпечити проникність її в активному стані якнайдалі в пласт [4, 5].

#### Забурювання горизонтальних стовбурів.

Даний метод зарекомендував себе в зв'язку зі збільшенням кількості нерентабельних, малодобітних, недіючих, аварійних свердловин, або свердловин з високою обводненістю. Вибір технології і технічних засобів для буріння горизонтальних свердловин необхідно вибирати з врахуванням особливостей геологічної будови родовища. Збільшення нафтогазовіддачі досягається за рахунок розширення контактування продуктивного пласта зі стовбуром свердловини (рис. 4).

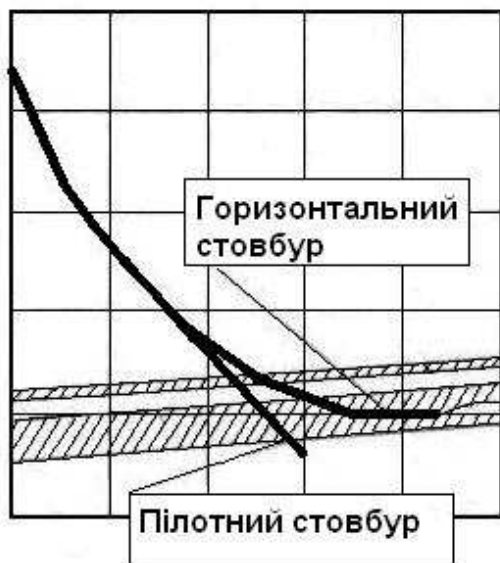


Рисунок 4 – Схема забурювання горизонтального стовбура

Особливо перспективним є застосування горизонтального буріння додаткових горизонтальних стовбурів із колони старої свердловини при дорозробці виснажених родовищ на пізній стадії. Залучення в розробку свердловин з важководобувними запасами, відновлення недіючих та малодобітних свердловин. Буріння горизонтальних стовбурів дозволяє вже сьогодні залучити в розробку значну частину, а в перспективі — практично всі позабалансові запаси вуглеводнів. Для того, щоб бурити свердловину, слід продумати все, у тому числі спеціальне наземне і противикидне обладнання, внутрішньосвердловинний інструмент і контрольно-

вимірювальні прилади. Недоліком цих способів є висока вартість реалізації методів, а також дані методи потребують втручання спецтехніки [6].

**Електромагнітний вплив.** Оснований на використанні внутрішніх джерел тепла, які виникають при дії на пласт височастотного електромагнітного поля. Особливістю методу є ефект деемульсації нафти, зниження температури початку кристалізації парафіну. Електромагнітна хвиля при розповсюдженні в середовищі затухатиме а її енергія перетворюватиметься на теплову. На відміну від традиційних методів, використання височастотного електромагнітного поля для теплової дії на пласт або привибійну зону, забезпечує більш однорідне прогрівання за рахунок об'ємного поглинання енергії. Недоліком даного методу є складність подачі живлення на глибину понад 1500м. Також цей метод не можна вважати повноцінним для застосування для різних умов. Даний метод є ефективним тільки для видобування високов'язкої нафти (бітумної нафти), для який попереднє розігрівання пласта є необхідним [7].

**Акустичний вплив на привибійну зону пласта.** Метод акустичного впливу поєднує велику групу методів і модифікацій, використовуваних для дії на пласт та привибійну зону пружні поля хвильового походження – ударні, вібраційні, сейсмоакустичні, ультразвукові і т.д. як з поверхні землі, так і зі свердловини. При цьому, найбільш розвиненими на сьогодні як в теоретичному й апаратно-технологічному плані, так і найбільш розповсюдженими на практиці промислових робіт є методи і технології впливу на ПЗП і пласт із свердловини в режимі силового ультразвуку. Найбільш розповсюдженими з усієї класифікації акустичного впливу є п'єзокерамічні випромінювачі, які відносяться до височастотних пристроїв.

Метод акустичного впливу полягає в перетворенні електричної енергії змінного струму в енергію пружних коливань. При взаємодії акустичного поля з фазами гірських порід досягається:

- збільшення їх проникності за рахунок зміни об'єму порового простору;
- руйнування мінеральних солевідкладень;
- акустична дегазація та зниження в'язкості нафти;
- залучення в розробку низькопроникних і закольматованих пропластків порід продуктивного пласта.

Технологія забезпечує збереження цілісності експлуатаційної колони та є низькозатратною. При обробці за даною технологією використовується малогабаритна апаратура, а сам процес є безпечним та екологічно чистим. Перевагою даного методу є також час обробки свердловини, який не перевищує 8 год. Але, як і всі вище згадані методи, цей також має свої недоліки. Основним з яких є те, що електричну енергію потрібно подати на глибину до 1500-2000, а часом і на 2500 метрів. Це пояснюється тим, що значна частина електричної енергії (~ 50%), яка передається від генератора до

свердловинного випромінювача, втрачається в кабелі. Чим довшим є кабель, тим більші втрати енергії [7].

**Віброхвильовий вплив на породи продуктивного пласта.** Створюється під час роботи штангового насоса, який впирається в зумпф через спеціальний хвостовик і колону труб. В результаті проведення обробки в породі формуються хвилі пружних деформацій, які поширюються на велику відстань від свердловини та забезпечують отримання значних ефектів. Пружні хвилі формують в пласті зону розуцільнення, що покращує його фільтраційні характеристики. Технологія ефективно реалізується тільки за таких умов:

- залишкові запаси на родовищі мають складати не менше 30-50%;
- обводненість продукції має коливатись в межах 60-80%;
- необхідна наявність хоча б однієї свердловини, обладнаної штанговим насосом.

Недоліками даного методу є складність виконання технологічних та технічних параметрів. Дуже складно вийти на режим резонансу частот, яка має бути кратною роботі штангового насоса в системі "насос-колона-порода зумпфа" [1].

**Метод впливу імпульсами електричного току на продуктивний пласт.** Під дією імпульсів струму на нафтогазові пласти відбувається виділення енергії в тонких капілярах останнього, що призводить до перебудови структури пористого простору. В свою чергу, структура пористого простору суттєво впливає на характер фільтрації. В нафтових свердловинах відбувається руйнування кольматуючого шару та прилеглих шарів породи, процес газової кольматції, руйнування подвійних електричних шарів, зміна поверхневого натягу на границі розділу фаз. Підготовка свердловини до обробки даним методом передбачає її зупинку та загальне відключення від наземного обладнання. Після цього під'єднується робочий кабель та починається обробка. Недоліки даного методу такі ж як і при обробці свердловин електромагнітним полем [1, 3].

**Плазмово-імпульсна дія.** Застосування технології плазмово-імпульсного впливу на продуктивний пласт передбачає використання електричних розрядів, які створюються в рідині та подаються через калібрувальний металевий провідник. Під дією розряду утворюється плазмовий канал, який при взаємодії з провідником утворює зону підвищеного тиску та температури. Взаємодія цих чинників призводить до утворення ударної хвилі, яка розповсюджується пластом з високою швидкістю. Хвиля, що утворилась, виходячи через перфораційні канали, проникає в пружне середовище, спричинюючи його рух, відтак швидко згасає та перетворюється на ряд послідовних коливань. Багаторазове повторення плазмового імпульсу в певних точках формує широколінійний сигнал від 1 до 20 кГц. Плазмово-імпульсний вплив на продуктивний пласт збуджує коливну систему в широкому діапазоні та створює доволі склад-

ну пружно-хвильову картину, яка не достатньо вивчена. Високочастотні коливання мають різноплановий вплив як на пласт, так і на елементи кріплення свердловини. Тому застосування високих частот не означає, що й результат буде ефективнішим [8].

На сьогодні одним з перспективних напрямків у вирішенні проблеми підвищення нафтогазовіддачі пластів є використання різного роду хвильових процесів для інтенсифікації нафтогазовилучення та зниження обводненості видобувної продукції. Зацікавленість щодо методів швидкоплинного хвильового процесу виникла з практичних завдань підвищення нафтогазовилучення. Водночас експериментальні дослідження акустичних, віброударних та загалом хвильових процесів дії на пласт мають суперечливий характер: в деяких випадках з їх допомогою вдається досягти значного збільшення припливу флюїду або підвищення приймальності нагнітальних свердловин, в інших випадках ефект абсолютно відсутній. Це пояснюється тим, що при застосуванні різного роду хвильових пристроїв та технологій чітко не виявлено механізму різноманітних явищ, які супроводжують розповсюдження хвиль в насичених середовищах. Для успішного застосування хвильових технологій в процесах видобування нафти і газу необхідно попередньо ретельно проаналізувати всі фактори та провести розрахунок з метою встановлення параметрів впливу, які забезпечують оптимальний ефект. Нами запропонована техніка та технологія підвищення продукту вилучення вуглеводнів, що повністю відповідає сучасним вимогам та включає в себе комплексний вплив. Гідроакустична обробка привибійної зони пласта дозволяє впливати на нафтогазові пласти за допомогою знакозмінних тисків різних частот та інтенсивності. Ми пропонуємо хвильовий пристрій, який генерує енергію від потоку рідини, що проходить крізь нього. Цю енергію можна поділити на дві складові: гідравлічну та акустичну.

Зупинимось детальніше на акустичній дії. В процесі експлуатації пласта в його присвердловинній частині утворюється зона із полем напружень, яка впливає на розподіл води, нафти та газу. Крім того, за рахунок неоднорідності колекторських властивостей, розподіл нафти і води в пласті також є неоднорідним. Таким чином, частина порового простору є насиченим та може мати нафтову плівку. Дія акустичного поля пришвидшує фазові переходи, впливає на теплообмін та дифузію. Розподіл акустичного поля в рідині з газом викликає дегазацію. Це пояснюється тим, що наявний в рідині газ, а, точніше, пухирці газу, під дією акустичного випромінювання починають рухатись до зони пониженого тиску. Це пояснюється тим, що рідина, в якій перебувають пухирці газу, починає рухатись, тим самим приводячи в рух стінки пухирців. В залежності від газонасиченості і властивостей рідини, а також від інтенсивності та частоти випромінювань пухирці газу можуть збільшуватись в об'ємі, лускати або розчинятись в рідині. На особливу увагу заслуговує



також факт зміни в'язкісних характеристик нафти під дією акустичного випромінювання. Особливо актуальним це питання постає у регіонах з високов'язкими нафтами (родовища Прикарпаття та Карпат). Під дією акустичних випромінювань інтенсивністю 8-100 кВт/м<sup>2</sup> та частотою 20 Гц – 4,5 МГц відбувається зміна в'язкості нафти. Зазвичай після такого впливу в'язкість нафти спочатку знижується на 20-30%, а в подальшому або відновлює свої властивості, або залишається на такому ж рівні. Автори стверджують, що зміна в'язкості в проміжку кілогерцового діапазону практично не залежить від частоти. Також спостерігається незначне зниження ефекту з підвищенням частоти (400 кГц – 4,5 МГц). Незворотні зміни в'язкості спостерігаються тільки при впливі на рідину протягом декількох годин з інтенсивністю 100 кВт/м<sup>2</sup>. В цьому випадку зменшується молекулярна маса нафти, змінюється її структурний склад та збільшується температура випадання парафіну [7].

Акустична дія на привибійну зону свердловини забезпечує збільшення фільтраційних властивостей пластів присвердловинного простору за рахунок:

- руйнування відкладів солей на стінках пор при акустичній вібрації;
- усунення газових корок в капілярах при акустичній дегазації рідини;
- руйнування гальмівного електростатичного шару в капілярах;
- зниження в'язкості рідини.

Технологічна обробка ПЗП з використанням гідроакустичних пристроїв дає змогу проводити повторну дію без піднімання обладнання на устя та створювати імпульси тиску, достатні для руйнування кольматуючих шарів. Гідроакустична дія володіє ефектом післядії, тобто позитивний ефект зберігається від декількох тижнів до кількох місяців.

Дослідниками розроблено різні конструкції гідроакустичних пристроїв (генераторів) для інтенсифікації видобування вуглеводнів методом спрямованої дії на пласт, проте, як свідчить аналіз цих конструкцій, більшість з них базуються на використанні сопел Лавалю, які не забезпечують ефективності на великих глибинах та можливість регулювання частоти і інтенсивності в процесі роботи. Крім того, недостатньо досліджено і виявлено вплив енергії акустичних коливань на структуру вуглеводнів, цементного каменю, механічні властивості гірських порід, термобаричні характеристики.

Особливістю технології є багаторазове створення в зоні обробки пласта знакозмінних імпульсів тиску, спрямованих у напрямку від свердловини в пласт і навпаки. Під дією знакозмінного тиску відбувається очищення пор і тріщин ПЗП, утворюються втомні напруження в породах пласта, тож існує можливість утворення та розвитку тріщин. Створювані імпульси руйнують механічні корки, збільшуючи проникність, а, отже, продуктивність пласта. Ефективність методу знакозмінних імпульсів тиску в основному визначається характером депресії,

тобто чим частіше створюється депресія, тим ефективнішим є вплив на пласт. При створенні хвиль, що діють на пласт, найбільшому впливу піддається ПЗП, так як гідродинамічний імпульс в породах загасає в залежності від властивостей насичених флюїдів і віддалі від свердловини внаслідок пружності системи і гідравлічного опору в фільтраційній зоні свердловини.

Запропонований пристрій створює пульсації низької частоти, що спричинюють підсилення масових перетоків між неоднорідними частотами колектора та сприяють розповсюдженню імпульсу, який розколює матову ефективний пустотний простір по об'єму пласта та розблоковує зони, насичені нафтою та пластовою водою. Ці всі фізичні процеси підвищують швидкість потоку рідини в капілярах на 20-30% і дозволяють вирішувати основні технологічні задачі видобування вуглеводнів:

- підвищення видобування з малодобітних свердловин і підтримання дебіту на стабільному рівні;
- виклик припливу нафти і газу з простояючих свердловин та при освоєнні нових;
- збільшення приймальності нагнітальних свердловин;
- руйнування газорідних корок і т.д.

Під дією пружних коливань відбувається очистка порових каналів колектора, усувається блокуючий вплив залишкових фаз газу, нафти та води, ініціюється фільтрація флюїдів в низькопроникних пропластках і зонах. В результаті чого відбувається підвищення фазової проникності для нафти та зниження для води, зменшення міжфазних напружень на границях нафта-вода і збільшення об'ємної газонасиченості пластових флюїдів без їх дегазації. Це призводить до багаторазового збільшення капілярного та гравітаційного витіснення нафти водою.

Одним із найважливіших переваг розробленого пристрою є можливість комбінування технологій акустичної дії з іншими видами впливу, наприклад тепловими, хімічними тощо, які значно розширюють область застосування, в тому числі на об'єктах з високов'язкою нафтою та іншими нетрадиційними покладами вуглеводнів. Запропонований пристрій дозволяє:

- послідовно та ефективно діяти на ПЗП та віддалені зони пласта;
- сумісно та одночасно діяти акустичним полем та кислотною обробкою та іншими хімічними стимуляторами;
- ліквідувати парафінові пробки в НКТ;
- покращити реологічні властивості нафти (зниження динамічної в'язкості та ін.).

Робота всіх гідроакустичних випромінювачів базується на створенні коливань, чи при взаємодії з потоком рідини (струмини), яка витікає із сопла з перешкодами певних розмірів та форм, чи при примусовому періодичному перериванні струмини. Механізми випромінювання звуку можуть бути найрізноманітнішими і залежать від конструкції випромінювача. Класифікація акустичних пристроїв наведена в табл. 1 [7].



Таблиця 1 – Класифікація акустичних пристроїв

Випромінювач	Принцип дії	Технічні характеристики	Область застосування	Особливості експлуатації
Гідро-акустичний	Перетворення енергії потоку рідини або газу в енергію пружних коливань	Діапазон частот – 100-10 000 Гц, граничний звуковий тиск – 1-2 МПа, інтенсивність – до 50 кВт/м <sup>2</sup>	Інтенсифікація руйнування гірських порід; пеленгація поточного положення вибою свердловини; підвищення проникності привибійної зони пласта; боротьба із солевідкладенням солей в нафтопромисловому обладнанні	Кріпиться на насосно-компресорні труби. Працює в потоці рідини
Саморушний золотниковий вібратор	Перетворення енергії потоку рідини або газу в енергію пружних коливань	Частота залежить від швидкості потоку і витрат рідини. Діапазон частот – 100-500 Гц, імпульсний тиск – до 15 МПа	Інтенсифікація видобування нафти	Супроводжується гідроударом
Магніто-стрикційні	Перетворення електричної енергії в акустичну з використанням ефекту магнітострикції	Діапазон частот – від 1 до 100-150 кГц, гранична інтенсивність – до 50 кВт/м <sup>2</sup> . Електро-акустичний ККД – до 40%	Інтенсифікація видобування нафти; освоєння свердловин; опробування пласта; боротьба із солевідкладенням в нафтопромисловому обладнанні	Генератор – наземний, випромінювач – циліндричний. Маса всієї системи – 350 кг
П'єзо-керамічний	Перетворення електричної енергії в акустичну за рахунок п'єзоефекту	Діапазон частот – від 1 до 100 кГц, інтенсивність – до 50 кВт/м <sup>2</sup> . Електро-акустичний ККД – до 50-60%	Інтенсифікація видобування нафти; освоєння свердловин; опробування пласта; боротьба із солевідкладенням в нафтопромисловому обладнанні	Генератор – глибинний, випромінювач – стрижневий. Маса всієї системи – 50 кг.

Існує також розподіл гідродинамічних та гідроакустичних пристроїв за їх конструктивним виконанням. Якщо вихідні отвори пристрою розміщені радіально, то такий тип випромінювача називається радіальним, а якщо отвори вздовж осі – аксіальним. Застосовуючи випромінювачі до умов обробки присвердловинної зони, пристрої аксіального типу є менш ефективними, ніж радіальні. Це пояснюється тим, що стінки свердловини є акустично жорсткими і відбивають хвилі, якщо знаходяться на відстані меншій, ніж чверть хвилі від випромінювача. Тому майже вся звукова енергія (більше 90 %) повертається в аксіальний випромінювач. [7, 9]. Процес відбиття звуку характеризується певними фізичними величинами. До таких величин відносять, зокрема, коефіцієнт відбиття звуку. З врахуванням залежності коефіцієнта поглинання звуку від інтенсивності поля  $I$ , густини енергії  $E$  і швидкості звуку  $c$ , модуль коефіцієнта відбиття звуку можна записати у вигляді:

$$|r_p| = \left[ \frac{\left(1 - \frac{I}{cE}\right)}{1 + \frac{I}{cE}} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Безпосереднє вимірювання величин  $I$ ,  $E$ , які входять в рівняння (1), пов'язане з певними труднощами і є дуже наближеним. Тому, безрозмірну величину  $\frac{I}{cE}$  запишемо як:

$$\frac{I}{cE} = \frac{2 \cos \varphi}{\left( \rho c \frac{v_0}{P_0} + \frac{1}{\rho c} \times \frac{P_0}{v_0} \right)}, \quad (2)$$

де:  $v_0$ ,  $P_0$  – амплітуди коливної швидкості частинок середовища та звукового (акустичного) тиску відповідно;  $\varphi$  – кут зсуву по фазі між звуковим тиском та коливною швидкістю;  $\rho$  – густина рідини.

Коливна швидкість  $v_0$  тісно пов'язана з акустичним тиском  $P_0$ :

$$v_0 = -\frac{1}{P_0} \int_{-\infty}^t \nabla P_0 dt. \quad (3)$$

Наведені залежності дають змогу повною мірою оцінити коефіцієнт відбиття звуку. На основі теоретичних досліджень авторами розроблено пристрій [10]. Конструктивно пристрій відповідає всім вимогам гідроакустичних пристроїв. Генератор гідроакустичних імпульсів (рис. 5) працює наступним чином: генератор під'єднують до колони НКТ і опускають до зони перфорації. Робочий агент (рідина-газ) під тиском потрапляє у вхідний отвір конічної форми 1, в якому виникає явище турбулентності. Відбувається взаємодія потоків осьового та приграничного шару робочого агента, що призводить до зміщення шарів. При цьому спостерігається випередження ядра центрального шару. Це явище веде до збільшення швидкості та нагромадження енергії. В концентраторі потоку 2 за рахунок інтенсивного вирівнювання швидкостей виникають пульсації значної інтенсивності. Приграничний шар після концентратора потоку потрапляє до камери завихрення 3, де набуває високої турбулентності, і на виході з камери взаємодіє з осьовим шаром робочого агента. В результаті взаємодії шарів трьох потоків рідини(газу), які рухаються з великими швидкостями і тиском, виникають гідроакустичні коливання значної інтенсивності, частота яких залежить від конструктивних параметрів генератора та початкового тиску. Далі рідина(газ) потрапляє на розділювач потоку 4, який спрямовує розділений потік в сопла із гвинтовими направляючими канавками 5. За рахунок цього підвищується енергія пульсуючого потоку та створюються гідроакустичні ударні імпульси тиску, які діють на стінки свердловини.

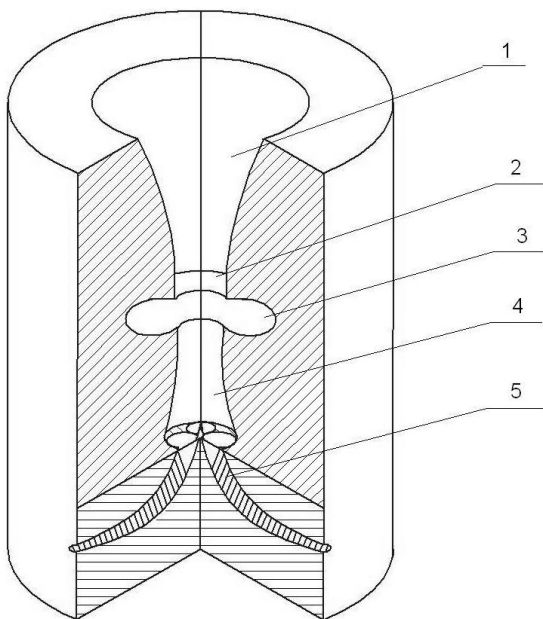


Рисунок 5 – Схема генератора гідроакустичних імпульсів

Під час генерації гідроакустичних імпульсів в областях розрідження утворюються розтягуючі зусилля, які призводять до утворення в рідині розривів. Тобто, в рідині утворюється велика кількість заповнених газом бульбашок. Ці бульбашки отримали назву кавітаційних, а сам процес – ультразвуковою кавітації. Кавітаційні бульбашки в області рідини виникають щоразу, коли до цієї області доходить фаза розрідження ультразвукової хвилі. Як правило, кавітаційні, бульбашки недовговічні: вже наступна за розрідженням фаза стиснення руйнує більшість із них. При закритті кавітаційної бульбашки виникає ударна хвиля, що розвиває значний тиск. Однією з причин використання даного ефекту є те, що зі збільшенням швидкості потоку після початку кавітації швидко збільшується кількість бульбашок, відтак бульбашки поєднуються в загальну кавітаційну фазу, і потік переходить в режим струмини. Якщо ударна хвиля виникає в генераторі, то вона зустрічає на своєму шляху перешкоди у вигляді конструктивних елементів, які вона руйнує. Оскільки кавітаційних бульбашок багато і лускання їх відбувається багато тисяч разів на секунду, кавітація може призвести до значного руйнування. Тому для підвищення зносостійкості камер завихрення, які і являються перешкодою для кавітаційного потоку нами запропоновано виготовляти ці елементи з нержавіючої або легованої сталі з хромовим покриттям деяких частин. Таке рішення прийнято не тільки через руйнівний кавітаційний потік, але й через агресивність агента, який буде використовуватись для обробки привибійної зони.

## Висновки

Серед методів підвищення проникності привибійної зони пласта виділяють невелику кількість, які знайшли своє застосування на практиці. Найбільш перспективними з них виявились комплексні методи підвищення нафтогазовіддачі. Авторами публікації виділено основні вимоги, які ставляться до вибору методу інтенсифікації для кожного окремого випадку. Запропоновано нову конструкцію генератора гідроакустичних імпульсів та показано ефективність його застосування для родовищ, що перебувають на завершальній стадії розробки, або експлуатуються періодично. Для наочності показано та обґрунтовано вплив пружних коливань, які генерує гідроакустичний випромінювач, та результати їх впливу на привибійну зону пласта та свердловини.

## Література

- 1 [www.tatneft.ru](http://www.tatneft.ru)
- 2 Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ / В.С. Бойко. – К.: Реал-Принт, 2004. – 695 с.
- 3 [www.tegaz.ru](http://www.tegaz.ru)
- 4 Довідник з нафтогазової справи: за заг. ред. В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука. – Київ-Львів.: Місіонер, 1996. – 620 с.

5 Акульшин О.І. Технологія видобування, зберігання і транспортування нафти і газу: навч. посіб. / О.І. Акульшин, О.О. Акульшин, В.С. Бойко та ін. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 434 с.

6 Вітчизняні технології та технічні засоби для будівництва горизонтальних свердловин / Я.В. Кунцяк, К.В. Булатов, В.Д. Новиков та ін. // Нафтова і газова промисловість. – 2003. – №3. – С.13-14.

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

8 Нефтесервис зима 2008. «Технология плазменно-импульсного воздействия на продуктивные пласты с целью увеличения извлекаемости нефти» стр.52

9 Кузнецов О.Л. Физические основы виб-рационного и акустического воздействия на нефтегазовые пласты / О.Л. Кузнецов, Э.М. Симкин, Дж. Чилингар. – М.: Мир, 2001. – 260 с.

10 Пат. України № 63187 Е21В 28/00. Генератор гідроакустичних імпульсів / Чернов Б.О., Чернова М.Є., Западнюк М.М., Ільків І.М., Мозолев О.А.; заявник Чернов Борис Олександрович. – № u201105983; заявл. 13.05.2011; опубл. 26.09.2011. – Бюл. №18

*Стаття надійшла до редакційної колегії*  
27.02.12

*Рекомендована до друку професором*  
**Бойком В.С.**