

РОЗРОБЛЯННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ, СПРЯМОВАНИХ НА ПІДВИЩЕННЯ ГАЗОКОНДЕНСАТОВИЛУЧЕННЯ У СВЕРДЛОВИНАХ МОРСЬКИХ РОДОВИЩ ДАТ “ЧОРНОМОРНАФТОГАЗ” ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КАВІТАЦІЙНО-ПУЛЬСАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Я.М. Фем'як, В.О. Шарко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42331,
e-mail: o v e o k i @ r a m b l e r . r u

Розглядається питання щодо підвищення продуктивності роботи газових та газоконденсатних свердловин на родовищах шельфової зони Чорного та Азовського морів, які розробляються ДАТ «Чорноморнафтогаз». Основна увага приділена збільшенню термінів міжремонтного періоду експлуатації видобувних свердловин шляхом розробки та впровадження в промислову практику новітніх технологій і технічних заходів, спрямованих на інтенсифікацію продуктивних відкладів.

Результати проведених досліджень свідчать, що за допомогою спеціального пристрою-кавітатора на вибої і в привибійній зоні свердловини послідовно створюються численні пухирці різних розмірів, заповнені газом або повітрям. Ці пухирці, потрапивши до зони високого тиску, лускають з виникненням ударних хвиль тиску різної амплітуди і широкого спектра гармонік, які, накладаючись, формують у пористому середовищі привибійної зони свердловини нерівномірне поле тисків, під впливом якого відбувається очищення пор від осадів, розширення та закріплення тріщин, осадження пластової води в підшовні зони колектора під дією гравітаційних сил. У такий спосіб підвищується проникність привибійної зони продуктивного пласта з відповідним підвищенням або відновленням продуктивності свердловини і уможливується видалення води і гідратних шарів з поверхні порід привибійної зони, що й забезпечує подальше збільшення міжремонтного періоду роботи свердловини.

Ключові слова: продуктивні відклади, кавітація, гідродинамічний кавітатор.

Рассматривается вопрос повышения производительности работы газовых и газоконденсатных скважин на месторождениях шельфовой зоны Черного и Азовского морей, разрабатывающихся ГАТ «Чорноморнефтегаз». Основное внимание уделено увеличению сроков межремонтного периода эксплуатации добывающих скважин путем разработки и внедрения в промышленную практику новейших технологий и технических средств, направленных на интенсификацию продуктивных отложений.

Результаты проведенных исследований показали, что с помощью специального устройства-кавитатора на забое и в призабойной зоне скважины последовательно создаются многочисленные пузырьки разных размеров, заполненные газом или воздухом. Эти пузырьки, попадая в зону высокого давления, лопают с возникновением ударных волн давления разной амплитуды и широкого спектра гармоник, которые, накладываясь, формируют в пористой среде призабойной зоны скважины неравномерное поле давлений, под воздействием которого происходит очистка пор от осадков, расширение и закрепление трещин, осаднение пластовой воды в подошвенные зоны коллектора под воздействием гравитационных сил. Таким образом, повышается проницаемость призабойной зоны продуктивного пласта с соответствующим повышением или возобновлением производительности скважины и достигается возможность удалять воду и гидратные слои с поверхности пород призабойной зоны, что и обеспечивает в дальнейшем увеличение межремонтного периода работы скважины.

Ключевые слова: продуктивные отложения, кавитация, гидродинамический кавитатор.

The article deals with the increase of gas and gas condensate wells productivity, situated on Black and Azov sea shelf zone formation, developed by national joint-stock company “Chernomorneftegas”. The main attention is paid to the ways of prolongation of producing wells overhaul period by means of up-to-date technologies and technological equipment development and industrial implementation aiming at productive deposits intensification.

Undertaken researches prove that numerous bubbles of different size filled with gas or air appear near the bottomhole area of the well. While reaching the high-pressure zone these bubbles burst and cause pressure air blasts of different amplitude and partials range, which overlap and create non-uniform pressure field in the bottomhole porous area. This cleans the pores from sediments, expands and fixes the cracks, besets the interstitial water at reservoir bottom area affected by the gravity force. In this way the bottomhole area permeability of productive layer is increased together with the increase or resumption of well production. Water and hydrated layers may be removed out of bottomhole area superficial rock, which guarantees the prolongation of producing wells overhaul period in the nearest future.

Key words: productive deposits, cavitation, hydrodynamic cavitation.

Постановка проблеми. Проблема енергетичної безпеки України на даний час постає надзвичайно гостро: в умовах зростання цін на нафту і газ, питання енергозабезпечення та енергозбереження є для економіки держави най-

більш актуальними. Видобуток нафти і природного газу в світовій економіці вже давно перемістився на морський шельф. В Україні є дві шельфові зони – Чорного і Азовського морів. За оцінками спеціалістів, потенційні вуглеводні

запаси Чорного та Азовського морів – 1,5 млрд. тонн або 1,5 трлн. м³. У газовому еквіваленті це 30% усіх запасів України. З цих ресурсів видобуто менше 4%, в той час як на материковій частині – 67%. Стратегічним напрямом розвитку нафтогазового комплексу України є освоєння вуглеводневої сировини в українському секторі Азовського і Чорного морів. Пошуково-розвідувальними роботами, проведеними ДАТ “Чорноморнафтогаз”, встановлено, що основними нафтогазоносними комплексами на шельфі Чорного та Азовського морів і прилеглому суходолі є відкладення неогену, майкопської серії, еоцену, палеоцену, нижньої і верхньої крейди, юри. Причорноморсько-Кримська нафтогазоносна провінція охоплює Причорноморську западину з Кримським півостровом, акваторію Чорного і Азовського морів. Тут розвідано понад 60 родовищ нафти і газу. Промислові газові, газоконденсатні та нафтові поклади розташовані в палеогенових і нижньокрейдових гірських породах на глибині 100-4500 м. У підводних надрах Чорного моря виявлено родовища газу на глибині 300-750 м. В межах північно-західного шельфу Чорного моря відкрито 8 газових і газоконденсатних родовищ: Голіцинське, Південно-Голіцинське, Штормове, Архангельське, Шмідта, Кримське, Одеське, Безіменне. Переважна більшість вуглеводневих родовищ пов'язана із зонами глибинних розломів.

Якщо найближчим часом будуть підтвержені запаси вуглеводнів на прикерченському шельфі Чорного моря, які імовірно можуть скласти в газовому еквіваленті 280 млрд. м³, тоді нафтогазовидобуток однозначно переміститься в море.

Основні нафтогазові родовища ДАТ “Чорноморнафтогаз” знаходяться на пізньому етапі розробки, який характеризується зниженням пластового тиску і різким зростанням обводненості (до 90% і більше) [1]. В процесі тривалої експлуатації свердловин відбувається кольматація навколосвердловинного простору продуктивного горизонту, яка знижує продуктивність свердловини і продуктивну потужність інтервалу перфорації, що потребує періодичного очищення привибійної зони пласта, а неоднорідність колекторських властивостей призводить до нерівномірного газоконденсатовилучення. Наприклад, основними ускладненнями при експлуатації тортонських відкладів на Архангельському, Штормовому, Голіцинському та Східно-Казантипському родовищах є: надходження в стовбур свердловини продуктів руйнування пластів і пластової води. Дрібнодисперсний глинистий матеріал, розріджений залишковою водою (дрібнодисперсна суспензія) перебиває продуктивний інтервал та перешкоджає руху газу і підвищує недосконалість свердловин за ступенем і характером розкриття. Тому підвищення продуктивності роботи газових та газоконденсатних свердловин, збільшення термінів їх міжремонтного періоду експлуатації може бути досягнуто шляхом розробки та впровадження в промислову практику

новітніх технологій і технічних засобів стосовно інтенсифікації продуктивних відкладів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом винайдено велику кількість методів інтенсифікації припливу вуглеводнів із пласта [2-4]. Серед останніх досягнень світової науки у галузі інтенсифікації припливу вуглеводнів виділяються декілька методів.

З метою очищення привибійної зони пласта (ПЗП) та збільшення коефіцієнта нафтогазовилучення розроблено технологію і технічні засоби ударно-хвильової дії на присвердловинну зону продуктивного пласта в інтервалі перфорації, що дають змогу в локальних об'ємах створювати дію на пласт, яка імітує геодинамічну дію [1]. Ударно-хвильова дія на пласт передбачає два види ефектів: безпосередню дію на ближню присвердловинну зону пласта з радіусом захоплення до 50 см від джерела пружних хвиль ультразвукового діапазону частот; віддалену дію, яка ресструється гідрофонами на віддалі 1-1,5 км від джерела, що генерує низькочастотні 0,2 Гц пружні хвилі. Як джерело ударного і низькочастотного хвильового навантаження в технології використовується свердловинний електророзрядний пристрій; як джерело високочастотних коливань розроблено свердловинний пристрій, що генерує пружні коливання в ультразвуковому діапазоні частот 18-25 кГц. Відновлення потенційної продуктивності видобувних і нагнітальних свердловин досягається за рахунок руйнування колоїдно-дисперсних систем, які кольматують присвердловинну ділянку колектора, внаслідок чого утворюються шари пониженої проникності.

Технологія підвищення проникності ПЗП за рахунок створення мережі штучних тріщин може бути реалізована за допомогою теплового удару (наприклад, швидким нагнітанням у ПЗП газового конденсату, охолодженого «сухим льодом»). З цією метою можна використовувати такі чинники: високу температуру продуктивного пласта; наявність перфораційних отворів в обсадній колоні, що концентрують теплові напруги; наявність порових каналів і природних тріщин для швидкого проникнення теплоносія в пласт; низьку пластичність матеріалу продуктивного пласта; різницю коефіцієнтів теплового розширення компонентів породи продуктивного пласта; різницю коефіцієнтів теплопровідності компонентів породи продуктивного пласта; можливість зміни температури теплоносія, поданого на вибій; можливість додаткового нагрівання ПЗП термохімічним способом перед закачуванням холодоагенту або навпаки.

Технологія струминно-вакуумної дії [3] на привибійну зону свердловини включає струминний насос та додатковий вакуумний модуль, який значно знижує вимоги до якості посадки пакера, а також уможлиблює його відсутність. Адаптивність системи полягає в зміні режимів функціонування вакуумного модуля у міру падіння тиску в привибійній зоні. При цьому імпульсний режим вакуумної обробки

привибійної зони переходить у високочастотний віброрежим поступового зниження гідростатичного тиску в привибійній зоні. Це сприяє більш повному видаленню забруднених частинок з пластової системи та поліпшенню її колекторських властивостей. Ефективність підвищення дебіту нафти для малодобітних свердловин з високов'язкою нафтою - не менше 40% від початкового видобутку з тривалістю ефекту не менше року.

Технологія інфрачастотної хвильової дії на пласт [4] призначена для оброблення привибійної зони пласта з метою збільшення притоку рідини у видобувних свердловинах і збільшення прийнятності нагнітальних свердловин. Поставленої мети було досягнуто поліпшенням колекторських властивостей привибійної зони пласта шляхом очищення її від забруднюючих частинок, створенням у привибійній зоні мікротріщинуватості, а також генерацією доміантних резонансних частот в пластовому середовищі. В основі технології обробки привибійної зони пласта лежить синергічна дія на колектор пульсуючим тиском рідини, спеціально підібраними хімічними реагентами та кавітаційними струменями. Завдяки присутності рідини в порах колектора та пружності твердої фази колектора генеровані коливання поширюються з привибійної зони в пластове середовище.

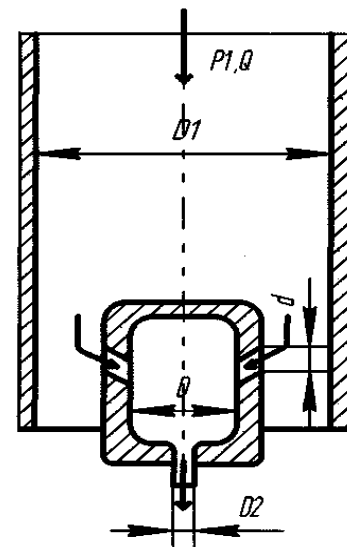
Виділення не вирішених частин загальної проблеми. Наведені вище методи володіють низкою недоліків, які обмежують можливість їх застосування. Перспективним на даний час є метод впливу за допомогою кавітації. Суть нового способу збудження різноманітних за величиною ударних імпульсів і коливань тиску у широкому діапазоні частот полягає в тому, що на основі утворення газової фази в рідинних системах за допомогою спеціального пристрою-кавітатора (пульсатора) на вибої і в привибійній зоні свердловини послідовно створюються численні пухирці різних розмірів, заповнені газом або повітрям. Ці пухирці, потрапивши в зону високого тиску, лускають з виникненням ударних імпульсів тиску різної амплітуди і широкого спектру гармонік коливань тиску в привибійній зоні свердловини [5].

Невирішеними на даний момент залишаються питання практичного застосування кавітаційно-імпульсного впливу на привибійну зону морських свердловин родовищ ДАТ "Чорноморнафтогаз", тому що основні проблеми на цих родовищах полягають у передчасному обводненні та забрудненні свердловин, що можуть бути викликані навіть застосуванням методів хімічного впливу на пласти при обробці продуктивних інтервалів у видобувних свердловинах.

Постановка задачі. Одним з основних завдань технології обробки привибійної зони пласта за допомогою гідродинамічного пристрою-кавітатора (пульсатора) є формування в привибійній зоні високошвидкісних пульсуючих потоків робочої рідини, що несуть в собі

високі заряди кінетичної енергії, які при співпаданні з тріщинами і мікротріщинами, наявними в гірській породі, створюють в них імпульсні тисків, достатні для їх руйнування. Очевидно, що, накладаючись, ударні хвилі різної природи формують у пористому середовищі привибійної зони свердловини нерівномірне поле тисків, під впливом якого відбувається очищення пор від осадів, розширення та закріплення тріщин, осадження пластової води в підшовні зони колектора під дією гравітаційних сил. Завдання полягає в тому, щоб визначити умови контактування пульсуючої струмини з пористо-тріщинним середовищем пласта та тиск її гідравлічного удару до гірських порід.

Основний матеріал дослідження. Гідродинамічний пульсатор, конструкція якого описана в роботі [6], у першому наближенні можемо звести до гідравлічної схеми, яку показано на рис. 1.



Q – витрата рідини, м³/с; D_1 – діаметр корпусу кавітатора, м; D_2 – діаметр вихідного отвору, м; d – діаметр вхідного отвору кавітаційної камери, м

Рисунок 1 – Гідравлічна схема гідродинамічного кавітатора

Гідродинамічний кавітатор працює так. Робоча рідина через вхідні тангенціальні отвори потрапляє до камери завихрення. В камері завихрення рідина набуває обертового руху з миттєвим збільшенням швидкості робочого потоку. Завихрений потік під дією відцентрових сил і перепаду тиску безперервно витікає в кільцевий конфузюрний канал (насадку). В насадці, яку виконано з кутом розкриття α від 6° до 7° , досягається збільшення швидкості потоку рідини з виникненням її локального розриву, тобто утворення пухирців і каверн, що заповнені газом (повітрям).

Оскільки потік промивальної рідини спрямований по дотичній в кільцевому конфузюрному каналі, то він рухатиметься по кривій, і чим більший час проходження потоку через зону пониженого тиску в насадці пристрою,

тим більше зростатимуть за розмірами каверни і пухирці, а також збільшуватиметься їх кількість.

Рух потоку робочої рідини в насадці пульсатора супроводжується нарощуванням швидкості з, відповідно, створенням умов для відривання потоку від стінок насадки пульсатора та утворення нових пухирців і каверн, що зрештою призводить до виникнення коливального процесу.

Слід зауважити, що у конструкції вихрової камери пульсатора основні робочі елементи виготовляються методами порошкової металургії з надтвердих матеріалів.

Загалом, гідродинамічний кавітатор повинен забезпечити не тільки створення пухирців і каверн, але й їх винесення за межі пристрою, де, потрапивши до зони високого тиску, вони лускають, створюючи пульсаційні потоки високої інтенсивності.

Слід зауважити, що особливістю розробленої конструкції гідродинамічного кавітатора є змінна робоча насадка, профіль якої може бути розширеним і утвореним коноїдальною поверхнею, конічною поверхнею, конічною поверхнею, яка переходить поступово в циліндричну поверхню, конічною поверхнею з вхідною циліндричною ділянкою, проте конічні поверхні можуть бути виконані з різними кутами розкриття і різної довжини. Це забезпечує встановлення різних режимів витікання робочої рідини з пульсатора і, крім цього, дозволяє швидко змінювати насадки у випадку їх ерозійного зношування і зміни профілю бокових каналів.

З механізму дії гідродинамічного кавітатора випливає, що дія на пласт затопленими пульсуючими струминами, що безпосередньо вдаряють до тупика порових каналів і тріщин, буде ефективною при певній віддалі робочої насадки гідродинамічного пульсатора від стінки свердловини [7]. Відомо, що при цьому відбувається розширення струмини, зниження швидкості її ядра і послаблення дії на стінки свердловини. Проте, інтенсивні удари струмин до вибою свердловини можуть чинити сильний вплив на формування коливального поля тисків в зоні працюючого в свердловині кавітатора. Звідси випливає питання щодо доцільності аналізу кількісних значень величин імпульсів тиску, які формуються в привибійній зоні свердловини під час роботи гідродинамічного кавітатора (пульсатора).

Для цього задаємося такими вихідними даними:

- діаметр вихідного перерізу отвору насадки гідродинамічного кавітатора $d_n = 0,014\text{ м}$;
- густина робочої рідини $\rho_p = 1150\text{ кг/м}^3$;
- модуль пружності робочої рідини $K = 3 \cdot 10^9\text{ Па}$;
- модуль пружності пористого середовища гірських порід $E = 2 \cdot 10^{10}\text{ Па}$;
- витрата рідини $Q = 0,028\text{ м}^3/\text{с}$;
- коефіцієнт структури потоку $a = 0,07$.

За формулою (1) знаходимо положення полюса струмини на глибині початкового перерізу струмини:

$$h_0 = 0,29 \frac{d_n}{a} / a = 0,29 \frac{14 \cdot 10^{-3}}{2} / 0,07 = 29 \cdot 10^{-3}\text{ м.} \quad (1)$$

Знайдемо розташування перехідного перерізу струмини за формулою (2):

$$S_0 = 0,67 \frac{d_n}{a} / a = 0,67 \frac{14 \cdot 10^{-3}}{2} / 0,07 = 67 \cdot 10^{-3}\text{ м.} \quad (2)$$

З'єднавши центр перехідного перерізу з кромкою насадки кавітатора, отримаємо границю постійних швидкостей ($U = U_0$). Тангенс кута звуження границі постійних швидкостей $\text{tg} \alpha'_1 = \alpha' \phi'_1 = 1,6 \alpha \phi'_1 = 1,5 \alpha$, тобто $\text{tg} \alpha'_1 = 0,105$.

Кут розширення пограничного шару становить:

$$\beta = \alpha'_1 + \alpha'_2 = \text{arctg}(0,105) + \text{arctg}(3,4a). \quad (3)$$

при $a = 0,07$, $\alpha'_1 + \alpha'_2 = 14^\circ$.

Ширина пограничного шару в довільному перерізі початкової ділянки струмини дорівнює $b_{п.с} = 4,9 \alpha S$.

При $Q = 28\text{ л/с}$ швидкість витікання промивальної рідини з насадки гідродинамічного кавітатора діаметром 14 мм становить 182 м/с .

Визначимо швидкість поширення ударної хвилі:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho_{п.р}}}}{\sqrt{1 + \frac{K}{E}}}, \quad (4)$$

де $K = \frac{1}{\beta_{\vartheta}}$ – модуль пружності промивальної рідини (величина, яка є обернена до коефіцієнту його об'ємного стиснення), Па^{-1} ;

E – модуль пружності пористого середовища гірських порід, що підлягають руйнуванню $\left(E = \frac{1}{\beta'_{\vartheta}} \right)$, Па.

Згідно формули (4) швидкість поширення ударної хвилі становить 1506 м/с .

Розрахуємо тиск, що створюється внаслідок гідравлічного удару в тріщині за формулою

$$\Delta P = \rho_p \cdot c \cdot v_0, \quad (5)$$

де c – швидкість поширення ударної хвилі, м/с;

v_0 – початкова середня швидкість рідини, м/с;

ρ_p – густина робочої рідини, кг/м^3 .

Тоді тиск гідравлічного удару до вибою свердловини, визначений за формулою (5) дорівнює $\Delta P = 315,2\text{ МПа}$.

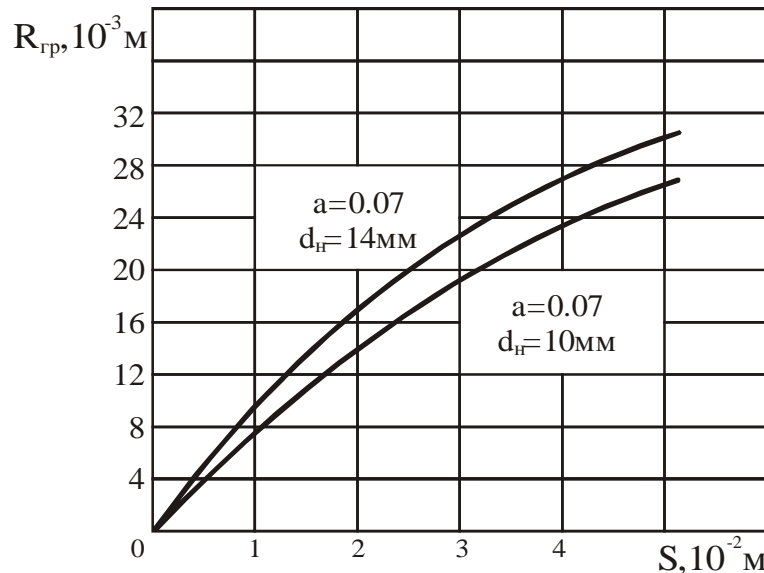


Рисунок 2 – Залежність повного радіуса R_{gp} пульсуючої струмینی від віддалі між торцем насадки до стінки свердловини S для різних значень діаметра насадки кавітатора

На рис. 2 наведено залежність повного радіуса струмینی R_{gp} від віддалі S для різних значень діаметра насадок гідродинамічного кавітатора (пульсатора) при $\alpha = 0,07$.

З рис. 2 випливає, що при віддалі від торця насадки гідродинамічного кавітатора до стінки свердловини більше трьох її діаметрів має місце випадок, коли діаметр $2R_{gp}$ потоку рідини перекриває розміри наявних в породі тріщин. З наведеної вище графічної залежності випливає, що пульсаційні потоки затоплених пульсуючих струмін можуть періодично створювати коливання імпульсів тиску великих амплітуд, значення яких є цілком достатніми для руйнування гірських порід. Однак слід зауважити, що нами розглядаються ідеальні умови прояву впливу кінетичної енергії надшвидкісних пульсуючих струмін на процес руйнування гірських порід. Тому наведені дані за величиною відносяться до максимально можливих значень тисків, які можуть виникати за ідеальних умов. Фактично вони діють в умовах інтерференції декількох потоків робочої рідини, що рухаються одночасно і утворюють в навколосвердловинній зоні пласта складний спектр турбулентних потоків, параметри яких практично неможливо аналітично розрахувати. Проте, абсолютні значення тисків вільних затоплених пульсуючих струмін, що ударяють до стінки свердловини, дають нам всі аргументовані підстави вважати, що навіть і при інтерференції потоків рідини сила ударів до гірської породи буде все ж значною, що зрештою призведе до її руйнування.

Таким чином, за рахунок гідродинамічного кавітатора в технологічному об'ємі робочої рідини можуть виникати кавітаційно-пульсаційні процеси, які являють собою зону із скупчення бульбашок газу (повітря). Величина пульсаційної зони насамперед буде визначатися формою і розмірами вихрової камери та насадки гідродинамічного кавітатора, причому пульсація ви-

никатиме як на границі розділу фаз, так і в самій рідині.

На даному етапі досліджень за існуючими методами математичного і фізичного моделювання різних процесів, що відбуваються в рідинах, практично неможливо чітко визначити модель зони пульсації, тому що розподіл пухирців за розмірами і простору об'єму рідини не має чітко встановленого статистичного характеру. Але частину якісних результатів для зони пульсації можна отримати на основі аналізу динаміки пульсаційних автоколивань. Оскільки пульсації струмін утворюють потік рідини, що радіально розходиться, тоді швидкість цього потоку поблизу поверхні сусідньої струмینی визначатиме силу дії однієї струмینی на іншу. Якщо припустити, що дві сусідні пульсаційні струмینی одного радіуса R коливаються синхронно на віддалі l між своїми центрами, тоді умовою відсутності взаємодії можна вважати випадок, коли швидкість v пульсуючого потоку, який утворюється внаслідок руху першої струмینی біля поверхні другої, є незначною в порівнянні з швидкістю U руху об'ємної поверхні другої струмینی:

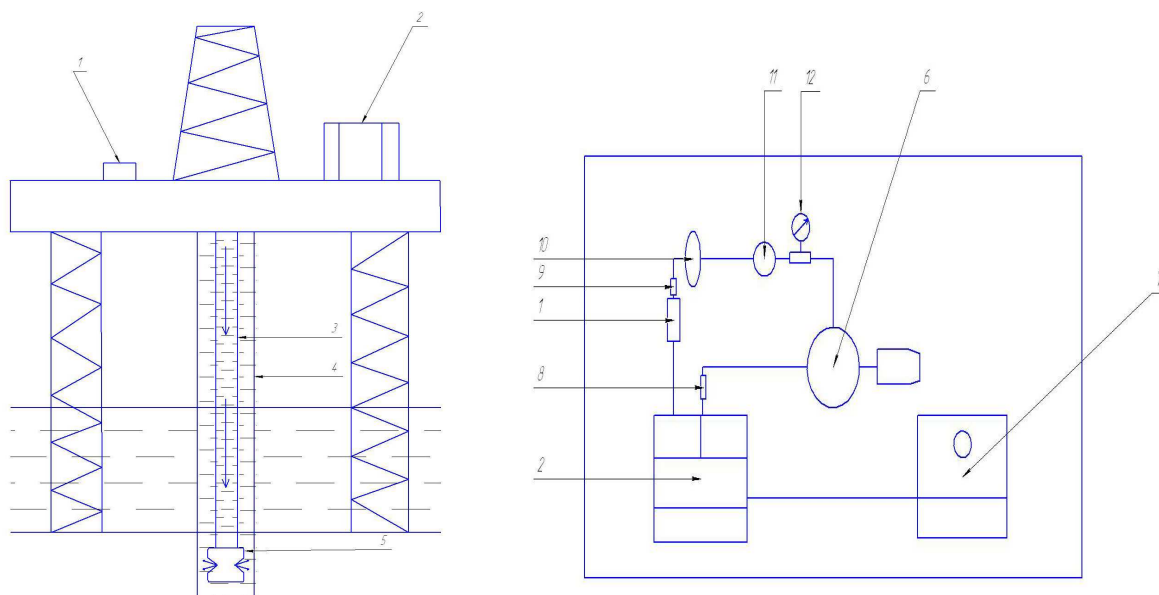
$$\frac{v}{U} \ll 1. \quad (6)$$

В такому випадку вираз для визначення швидкості пульсуючого потоку від сферичного джерела матиме такий вигляд

$$v(r) = \frac{\varphi}{r^2}, \quad (7)$$

де r – поточна координата;
 φ – функція, яка визначається з граничних умов.

Так як $v = R$ при $r = R$, тоді $\varphi = UR^2$. Підставивши вираз для φ у формулу (7), отримаємо



1- смість (20-25 м³); 2 - насосний агрегат типу АСF-700; 3 - колона НКТ; 4 - експлуатаційна колона; 5 - гідродинамічний кавітатор (пульсатор); 6 - свердловина; 7 - цистерна; 8 - фільтр; 9 - кран для відбору проб; 10 - витратомір; 11- шламоуловлювач; 12 - манометр

Рисунок 3 – Техніко-технологічна схема обв’язки обладнання при інтенсифікації продуктивних відкладів

$$v(r) = U \left(\frac{R}{r} \right)^2. \quad (8)$$

Тоді, використовуючи (8), умову відсутності взаємодії (6) запишемо наступним чином:

$$\left(\frac{R}{r} \right)^2 \ll 1. \quad (9)$$

Враховуючи те, що знак “ \ll ” вказує на різницю в порядку величини, а R_{\max} – максимальне значення радіуса пульсуючої струмини, отримаємо критичне значення радіуса струмини і критичну віддаль між ними:

$$r_{кр} = 3R_{\max} \text{ і } l_{кр} = 4R_{\max}. \quad (10)$$

Відомо, що пульсуюча струмина може втрачати свою стійкість і розпадатися на частинки. Через те, що руйнування струмини відбувається в момент, коли тиск і температура в ній досягають свого максимального значення, ймовірно є й те, що в новоутворених струминах тиск і температура є також високими. На момент розтягування вони легко розширюються і стають зародками нових пульсаційних потоків.

На рис. 3 нами наведена техніко-технологічна схема проведення інтенсифікації з використанням гідродинамічного кавітатора.

Пристрій опускається у свердловину на колоні НКТ 3. Робоча рідина надходить у корпус кавітатора, і під впливом конуса обтічника скеровується у вихрові багатозахідні гвинтові канали. Далі закручений потік з кільцевого розточення надходить через похилі напрямні отвори у конфузори прискорювачів потоків (генераторів гідродинамічних імпульсів), що розміщені навколо центрального прискорювача або генератора.

Як робочу рідину використовують воду, дегазовану нафту й різні розчини, склад яких спеціально добирається.

Механізм виникнення інтенсивних ударних імпульсів і вібрацій тиску ініціює хвильові процеси, що поширюються пластом у привибійній зоні, під впливом яких відбувається очищення від осаду, кольматуючих частинок породи і залишків промивальної рідини, а також осадів солей і асфальтено-смоло-парафінових відкладів, що випали в пористому середовищі. Ударні імпульси, у свою чергу, формуються під впливом специфічних особливостей гідродинаміки потоків.

Одним з основних факторів процесу впливу на пластову систему слугує швидкісний напір, що розвивається струменями при витіканні їх у свердловину з вихреکیلцевої камери через сопла-насадки малого діаметра. При співпаданні напрямку поширення струменя з віссю циліндричного перфораційного каналу в стінці обсадних труб і в найближчому поровому просторі пласта виникають специфічні умови течії турбулентного струменя. Гідродинамічний (надлишковий) тиск у тупиковому каналі може, наприклад, досягати (при повному співпаданні осі каналу з напрямком турбулентного затопленого струменя при витраті рідини в 10 л/с і наявності в агрегаті трьох викидних каналів-насадок) значень, що дорівнюють 10...15 МПа.

Тиск, що виникає, з урахуванням гідростатичного тиску (тиску стовпа рідини в свердловині) може бути близьким до гірського. Варто наголосити, що періодичному співпаданню струменів з гирлами перфораційних каналів і осей потоку з осями каналів сприяє вільна підвіска пульсатора на трубах НКТ, що знаходяться під великим тиском і володіють значним запасом пружної енергії, яка витрачається нерівномірно при витіканні з пульсатора недостатньо зрівноваженого турбулентного затопленого потоку. Відбувається інтенсивний хаотичний рух пристрою в привибійній зоні у

вертикальній і горизонтальній площинах, що сприяє періодичному співпаданню ударів струменів до перфораційних каналів з виникненням нерівномірної за величиною сили ударів до них. Імпульси тисків, що виникають, розкривають природні тріщини колектора і сприяють виникненню нових тріщин, які мають підвищену гідропровідність, що дає змогу надавати ударним навантаженням більш віддалені від вибою ділянки пласта. При змиканні тріщин унаслідок падіння тиску в них після зсуву струменя від перфораційних каналів відбувається витискання забруднень із привибійної зони.

Елементом механізму виникнення гідравлічних ударів і вібрацій тиску при прокачуванні через агрегат (кавітатор) робочої рідини є виникнення в ньому і довкола нього парових порожнин і пухирців газової фази різного розміру, що з'являються внаслідок розривів суцільності потоку рідини під впливом складної динаміки течії в агрегаті затопленого турбулентного закрученого струменя. Інтенсивне виділення парової фази відбувається при зіткненні затоплених струменів зі стінкою обсадних труб внаслідок ударного диспергування робочої рідини. Час існування каверн парової фази, струменів і газових порожнин визначається швидкісним напором у їхньому середовищі й у східчастому розтрубі агрегату. При зниженні швидкісного напору в газорідинному середовищі відбувається лускання пухирців і порожнин парової фази під впливом гідростатичного тиску робочої рідини в затрубному просторі. При цьому виникають численні гідравлічні удари, частота й амплітуда яких визначаються будовою парових порожнин, концентрацією газової фази в рідині і розподілом за розмірами виниклих газових пухирців.

Багатотональний шум, що виникає при випробуванні і дослідженні роботи агрегату на стенді [8], свідчить про появу різноманітних за розміром газових пухирців, лускання яких призводить до виникнення гідравлічних ударів із широким діапазоном частот і амплітуд, інтерференція яких створює в рідині привибійної зони могутній коливальний процес (вібрацію та гідравлічні удари), що поширюється в пористе середовище. Цей коливальний процес (при прокачуванні робочої рідини через агрегат) накладається на гідравлічні удари в пористому середовищі, що формуються під впливом тиску ударних затоплених струменів робочої рідини, які потрапляють у перфораційні канали. При цьому сумарний ефект впливу на процес очищення привибійної зони свердловини, на поліпшення фільтраційних властивостей порід, на розкриття старих і формування нових тріщин істотно зростає.

Висновки. Проведені дослідження дали змогу встановити, що, накладаючись одна на одну, ударні хвилі різної природи формують у пористому середовищі привибійної зони свердловини нерівномірне поле тисків, під впливом якого відбувається очищення пор від осадів, розширення та закріплення тріщин, осадження пластової води в підшовні зони колектора під дією гравітаційних сил.

Оскільки описані вище процеси відбуваються багаторазово, миттєво і, як правило, через рівні проміжки часу, то й звукові хвилі, і гідравлічні удари призводять до виникнення гармонічних явищ, або, навіть, до резонансу з великою руйнівною силою. Таким чином, виконуються поставлене завдання - підвищується проникність привибійної зони продуктивного пласта з відповідним підвищенням або відновленням продуктивності свердловини і уможливилось видалення води і гідратних шарів з поверхні порід привибійної зони.

Література

- 1 Технологія ударно-волнового впливу на призабойну зону нефтяних і газових скважин / А.В. Кучернюк, В.А. Кучернюк, С.М. Давыденко, В.М. Сова, М.Ю. Максимчук // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – Київ: ВАТ „УкрНГГ”, 2006. – С. 47-48.
- 2 До питання термодеструктивної дії на породи продуктивних пластів / В.М. Світлицький, Б.Б. Синюк, О.О. Іванків // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – Київ: ВАТ „УкрНГГ”, 2006. – С. 52-55.
- 3 Технологічний адаптивний комплекс струмінно-вакуумної дії / С.П. Шевчук, В.М. Сліденко, О.В. Саливон, С.П. Шевчук, В.М. Сліденко, О.В. Саливон // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – Київ: ВАТ „УкрНГГ”, 2006. – С. 46-47.
- 4 Інфрачастотна хвильова технологія підвищення продуктивності нафтових свердловин / В.М. Сліденко, С.П. Шевчук, Л.К. Лістовщик // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі». – Київ: ВАТ „УкрНГГ”, 2006. – С. 45-46.
- 5 Ибрагимов Л.Х. Интенсификация добычи нефти с применением генераторов затопленных турбулентных струй и адиабатных двухфазных потоков / Л.Х. Ибрагимов // Нефтегазопромысловое дело. – 1996. – №6. – С. 44 - 49.
- 6 Методика і аналіз експериментальних даних досліджень роботи вихрового гідродинамічного пульсатора / Р.С. Яремийчук, В.Р. Возний, Я.М. Фем'як, Я.Я. Якимечко // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №1. – С. 19–21.
- 7 Розроблення методики практичного розрахунку оптимізації кавітаційно-пульсаційного методу інтенсифікації припливу вуглеводнів / В.Р. Возний, С.О. Овечкий, Я.М. Фем'як, М.В. Марусич // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – №2. – С. 35–37.
- 8 Яремийчук Р.С. Использование кавитационно-пульсационной технологии для уменьшения энергозатрат при бурении скважин / Р.С. Яремийчук, В.Р. Возний, Я.М. Фем'як // Нефтяное хозяйство. – 2011. – №10. – С. 91–93.

Стаття надійшла до редакційної колегії
04.06.12

Рекомендована до друку професором
Копеєм Б.В.