

Фізико-технічні проблеми видобування енергоносіїв

УДК 622.276.6

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНО-ХВИЛЬОВИХ ДІЙ НА ПРОЦЕСИ НАФТОВИТИСКАННЯ У ПЛАСТІ

¹ Я.М.Бажалук, ¹ О.М.Карпаш, ¹ Я.Д.Климишин, ¹ О.І.Гутак, ¹ М.В.Худін,
² В.Я.Бажалук, ³ В.Д.Михайлюк

¹ ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,
тел. (03422) 42002; e-mail: karpush@nung.edu.ua

² НВФ „Інтекс”, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Маланюка, 14/11,
тел. (0342) 785380; e-mail: yaropolkbazhaluk@gmail.com

³ ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. (03422) 42123; e-mail: math@nung.edu.ua

Рассматривается воздействие упругих колебаний на фильтрационные процессы в продуктивных пластах, способы моделирования пластов в лабораторных условиях, результаты проведенных экспериментальных исследований.

Affecting of resilient vibrations is considered processes of filtrations in productive layers, methods of design of layers in laboratories, results of the conducted experimental researches.

Підвищення нафтовилучення з нафтових родовищ є актуальним і водночас, складним завданням. Однією з характеристик ефективності експлуатації родовища є коефіцієнт нафтовилучення. Аналіз результатів експериментальних досліджень і статистичних промислових даних показав, що кінцеві коефіцієнти нафтовилучення залежно від режимів роботи поклавд можуть набувати таких величин [1]:

водонапірний режим	0,5..0,8;
газонапірний режим	0,1..0,4;
режим розчиненого газу	0,05..0,3;
гравітаційний режим	0,1..0,2.

Протягом останніх років зростає інтерес спеціалістів нафтової та газової галузей до практичного використання нових високоефективних та рентабельних технологій, що забезпечують стабільний приріст видобутку нафти в складних геолого-промислових умовах. Сьогодні основний об'єм видобутку нафти припадає на родовища, що були введені в експлуатацію у 80-х роках минулого століття, де спостерігався невиправдано інтенсивний відбір нафти, що призвело до порушення оптимальних режимів експлуатації, високого забруднення привибійних зон нагнітальних свердловин і навіть плас-

тів через неприпустимо низьку якість і велику кількість закачаної у нагнітальні свердловини води. Низький коефіцієнт нафтовилучення на вказаних родовищах значною мірою зумовлюється формуванням у пластах малорухливих застійних зон нафти під час закачування води з метою підтримання пластового тиску.

Одним із перспективних напрямків досліджень з метою підвищення нафтовилучення з пластів є дослідження впливу пружних коливань на продуктивний пласт.

В 60-х роках на нафтових родовищах СРСР почали застосовувати дію пружними коливаннями на привибійну зону пласта (ПЗП) за допомогою різних вибійних пристроїв, що опускалися у свердловини. Найбільшого поширення набули генератори, що використовують для роботи гідродинамічний натиск закачуваної в свердловину технологічної рідини (вода, розчини ПАР, нафта, розчинники, кислоти тощо). Це, наприклад, відомий вібратор ГВЗ золотникового типу конструкції РГУНГ [2, 3], вставний пульсатор ПВ-54 клапанного типу конструкції ТатНІПнефть [4]. Так, за даними РГУНГ за період з 1967 по 1985 рр. за допомогою вібратора ГВЗ-108 проведено близько 6000 обробок

свердловин. Успішність робіт склала 70%. Тривалість ефекту – 1-1,5 року. Загальний приріст видобутку нафти перевищив 5 млн. т, збільшення приймальності в нагнітальних свердловинах – 15 млн. м³. За даними ТатНИПИнефть [4] з використанням пульсаторів ПВ-54 за період 1984-1985 рр. оброблено 100 нагнітальних свердловин з успішністю 80%. Приймальність свердловин збільшилася в середньому на 25%, ефект продовжувався протягом 60-90 діб.

На нафтових родовищах Ставропілля приблизно в той же час проводилися дослідно-промислові роботи – дії пружними коливаннями на ПЗП за допомогою свердловинних гідравлічних пульсаторів конструкції СевКавНИПИнефть [5].

На артезіанських свердловинах м. Мінська був випробуваний гідроімпульсний метод Білоруського політехнічного інституту [6]. Метод заснований на використанні енергії вибуху суміші водню і кисню, яку отримують електролізом води на вибої свердловини. Спосіб успішно випробуваний на 20 неглибоких артезіанських свердловинах, при цьому їх дебіти зросли в 1,5-2,5 рази. На глибших свердловинах він не знайшов застосування через різке зниження його ефективності із збільшенням глибини свердловин.

В Інституті фізики Землі АН СРСР і Кубанському державному університеті в 70-80-ті роки було систематизовано багаторічні спостереження за сейсмічною активністю різних ділянок Землі з метою теоретичного обґрунтування можливості спрямованої сейсмічної дії з поверхні на нафтові пласти. Це сприяло створенню відносно потужних поверхневих віброджерел-віброплатформ, призначених для вібраційного "прослуховування" Землі. Подібні джерела працюють в діапазоні частот від 5 до 100 Гц і можуть розвивати зусилля в імпульсі до 100 т.

Роботи з вивчення сейсмоакустичної дії на нафтові пласти з метою збільшення їх нафтовилучення проводяться в Росії в Інституті фізики Землі РАН, ВНИИнефть, ВНИИЯГТе, а також в США.

Основна частина описаних у літературі експериментальних досліджень стосується вивчення впливу пружних коливань на насичене пористе середовище привибійної зони пласта.

Дослідження із впливу пружних коливань на малорухливі застійні зони нафти у пласті з метою підвищення коефіцієнта нафтовилучення знаходяться на початковій стадії.

Недостатньо вивченими є механізми взаємодії поля пружних коливань із поровим нафтоводонасиченим середовищем пласта під час фільтрації нафтоводяної суміші у пласті. У першу чергу, це механізми впливу пружних коливань на швидкість фільтрації флюїдів у пористому середовищі, а також механізми взаємодії нафтоводяної суміші і твердої поверхні пор під впливом поля пружних коливань.

Метою даної роботи є експериментальні дослідження якісного і кількісного впливу пружних коливань на фільтрацію нафтоводяних

сумішей в обводненому пласті із сформованими застійними зонами нафти.

Для реалізації даної мети розроблено методику проведення експериментальних досліджень та спроектовано дослідно-експериментальну установку із плоскою моделлю нафтового пласта.

Методика проведення експериментальних досліджень.

В дослідях для насичення піщаної моделі пласта використовувались промислові зразки нафти та пластова вода.

Для дослідів як модель пористого середовища приймався пісок із фракціями 0,100-0,025 мм. Пісок попередньо просіювався, промивався розчином соляної кислоти, а потім дистильованою водою. У всіх дослідях підтримувались стандартні умови. Для отримання правдивих результатів дослідна система попередньо стабілізувалась, кількість замірів приймалась рівною 15..20. Підтримування постійного тиску в системі досягалось використанням посудин Маріотта.

Схема установки зображена на рисунку 1.

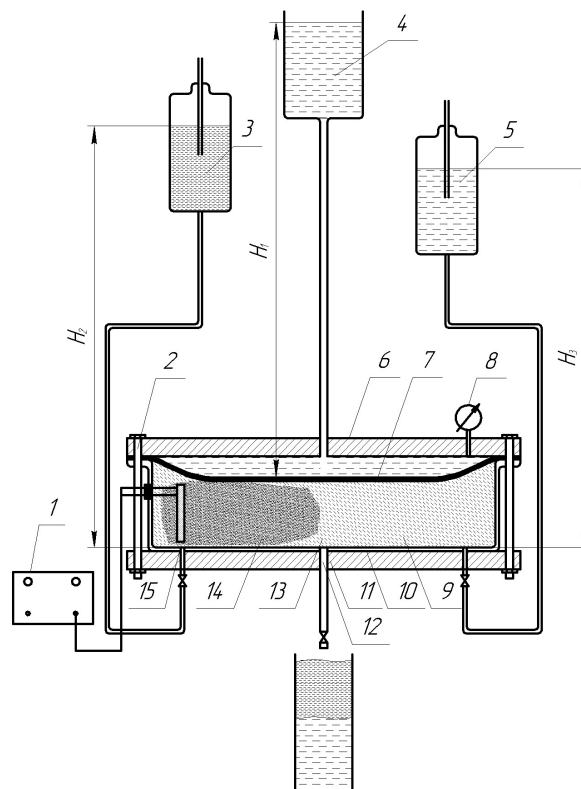


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки

Плоска модель нафтового обводненого пласта виготовлена у вигляді металевого циліндра 10, який заповнений підготовленим піском 9, де 1/3 об'єму циліндра заповнена нафтою 14, в'язкість якої складає 50 мПа·с при 20°C, а решта об'єму заповнена пластовою водою 13 (50 г/л NaCl).

Зверху і знизу модель пласта стискається двома текстолітовими дисками 6 і 11 товщиною 16 мм за допомогою гвинтів 2.

Під верхнім диском знаходиться гумова мембрана 7. В порожнину між нею і насипним зерном подається вода з ємності 4, що знаходиться на висоті H_1 , для моделювання стабільного гірничого тиску. Тиск контролюється за допомогою манометра 8.

З метою моделювання застійної зони нафти у пласті використали ємність з нафтою 3, підняту на висоту H_2 , для створення відповідного тиску і з'єднану гідравлічно з об'ємом застійної зони 14. Для моделювання системи підтримання пластового тиску і витиснення нафти водою використано ємність із пластовою водою 5, підняту на висоту H_3 і гідравлічно з'єднану із заводненою частиною моделі пласта 13.

З метою створення усталеного режиму фільтрації нафтоводяної суміші і стабілізації незмінного тиску під час процесу фільтрації ємності з нафтою і пластовою водою виконані як посудини Маріотта. Імітацією видобувної свердловини у моделі слугує центральний отвір 12.

Для створення у моделі пласта імпульсів тиску розроблено спеціальний генератор електричних імпульсів 1, до якого через герметичний ввід під'єднано п'єзовипромінювач 15. Амплітуда електричних імпульсів регулюється у діапазоні 50–2000 В. Частота повторення імпульсів 1 Гц, тривалість переднього фронту імпульсів 0,025 мс. П'єзоелектричний випромінювач перетворює електричні імпульси у механічні імпульси тиску, які, у свою чергу, створюють у пласті поле пружних коливань певної інтенсивності.

Експериментальні дослідження дії механічних імпульсів тиску на фільтрацію нафтоводяної суміші у насипному зерні проводились у такій послідовності:

1. З'єднувалась ємність з нафтою 3 та пластовою водою 5 з моделлю пласта; центральний отвір 12 імітував видобувну свердловину. Через деякий час (2..3 години) відбувалась стабілізація процесу фільтрації нафтоводяної суміші (ознакою стабілізації є утворення повітряних бульбашок на кінцях стабілізуючих трубок у ємностях із нафтою 3 і водою 5).

2. Вимірювали час наповнення мірної ємності (у даному експерименті 5 см^3) та визначали співвідношення “нафта-вода” у взятій пробі. Проводили 15..20 вимірювань до встановлення стабілізації процесу.

3. Включали генератор імпульсів 1, п'єзокерамічний випромінювач 15 якого знаходиться у моделі пласта в зоні обводнення, і через рівні проміжки часу (5 хв) проводили замірювання часу витікання 5 см^3 суміші, а потім визначали в ній співвідношення “нафта-вода”.

4. Для підвищення достовірності експериментів кількість вимірювань становить 15..20. Для наглядного представлення результатів досліджень побудували залежність часу наповнення проби (5 см^3 суміші) та вмісту в ній води і нафти від об'єму прокачуваної води (рис. 2).

Аналізуючи побудовані графіки на рисунку 2 можна зробити такі висновки:

- процеси фільтрації нафтоводяної суміші у насипній моделі пласта стабілізуються протя-

гом 2..3 год. У відібраних через кожні 5 хв. пробах співвідношення “нафта-вода” залишається практично сталим;

- дія імпульсів тиску на модель пласта призводить до збільшення у відібраних пробах частки нафти і збільшення часу відбору проби.

Збільшення у пробі частки нафти і часу відбору проби можна пояснити, якщо розглянути фізичну картину взаємодії фронту хвилі, створену механічним імпульсом тиску з нафтоводяним контактом у капілярі змінного перерізу.

При проходженні фронту хвилі (рис. 3), що супроводжується надлишковим тиском, радіус кривизни границі “нафта-вода” збільшується. Лапласовський тиск збільшується відповідно до P_1 , і під час дії фронту хвилі P_2 визначається рівняннями [7]

$$P_1 = \frac{2\sigma_{1,2}}{R_1} ; \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{2\sigma_{1,2}}{R_2} ; \quad (2)$$

де: R_1 – радіус кривизни границі “нафта-вода” до дії фронту хвилі, R_2 – радіус кривизни під час дії фронту хвилі, $\sigma_{1,2}$ – значення поверхневого натягу на границі розділу фаз. У випадку збільшення радіуса кривизни під час дії фронту хвилі лапласовський тиск падає, що створює умови для підвищення швидкості фільтрації у застійній зоні нафти.

У свою чергу, збільшення часу відбору проби пояснюється тим, що із збільшенням у пробі частки нафти значення середньої в'язкості проби зростає.

Експериментальні дослідження з відмивання залишкової нафти із пласта проводились у такій послідовності:

1. На експериментальній установці перекидали кран між ємністю із нафтою 8 і моделлю пласта, запобігаючи доступу нафти у модель; кран для подавання пластової води 9 відкритий.

2. Проводили вимірювання часу фільтрації 5 см^3 флюїду до моменту, поки у пробах буде відсутня нафта (1,5..2 години).

3. Включали генератор імпульсів і продовжували вимірювання поки у пробі не з'являлась нафта, після чого проводили ще 10..15 замірів і будували залежність часу наповнення проби (5 см^3 суміші) та вмісту в ній води і нафти від об'єму прокачування води (рисунок 4).

Аналізуючи зображені на рисунку 4 графіки можна зробити такі висновки:

- довідмивання нафти з поверхні твердого тіла у поровому середовищі під дією імпульсу тиску відбувається за рахунок різниці

- на границі “порода-рідина” виникають градієнти тиску. Вказані градієнти зменшують зчеплення нафти і води з породою, що призводить до відмивання залишкової нафти.

У першому і другому циклі експериментальних досліджень використовувався генератор імпульсів тиску з частотою повторення імпульсів 1 Гц і тривалістю переднього фронту 0,025 мс.

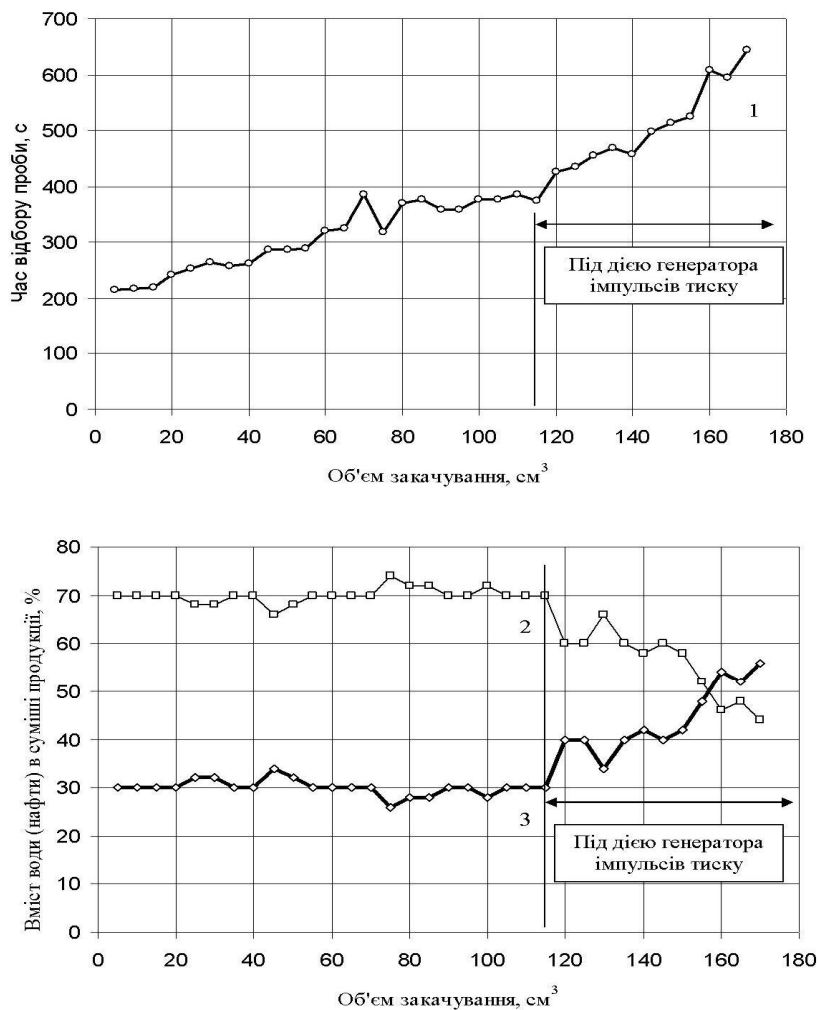


Рисунок 2 – Вплив імпульсів тиску на час наповнення проби суміші (1) та вмісту в ній води (2) і нафти (3)

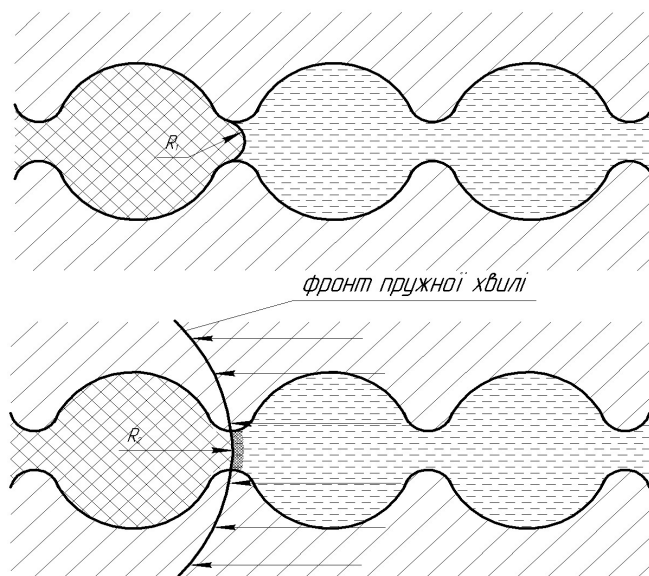


Рисунок 3 – Фізична картина взаємодії фронту пружної хвилі і границі “нафта-вода” у капілярі

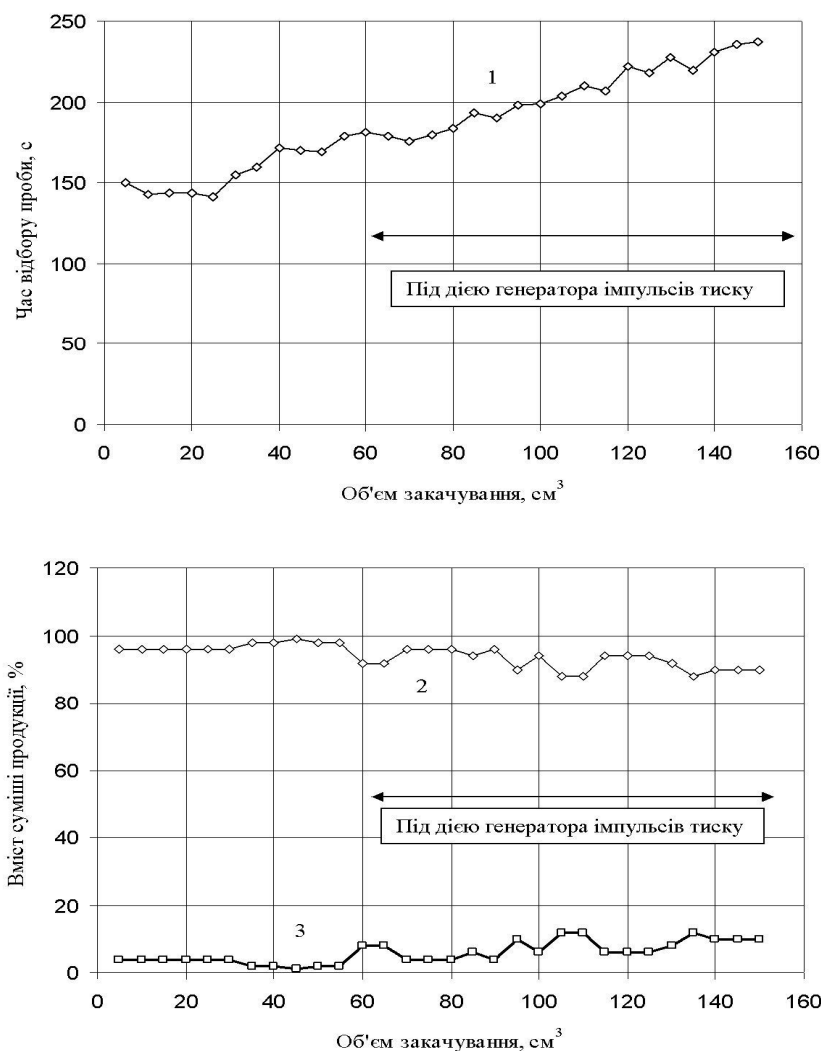


Рисунок 4 – Вплив імпульсів тиску на час наповнення проби суміші (1) та вмісту в ній води (2) і нафти (3) під час відмивання залишкової нафти

Амплітуда імпульсів тиску залежала від амплітуди електричних імпульсів, які подавались на п'єзоелектричний випромінювач від електричного генератора.

Вибір вказаних параметрів імпульсів тиску обумовлений необхідністю отримання інтенсивності пружних коливань у моделі пласта на рівні $0,1 \text{ Вт/см}^2$. Як показано у [8], це мінімальна інтенсивність за якої ще відбуваються зміни у пористому середовищі під дією пружних коливань.

Імпульс тиску із тривалістю переднього фронту $0,025 \text{ мс}$ створює у пласті пружні коливання частотою 40 кГц . Повне затухання таких коливань у пористому середовищі відбувається на незначних відстанях від генератора коливань [9].

Отримати інтенсивність пружних коливань на рівні $0,1 \text{ Вт/см}^2$ у застійних зонах нафти віддалених на сотні метрів від генератора на вказаних частотах нереально.

Згідно [10] зміна параметрів фільтрації відбувається також у разі використання пружних коливань сейсмічного діапазону частот

$0,1\text{--}10 \text{ Гц}$, затухання яких у пористому середовищі пласта незначне.

У той же час проведення досліджень на моделях пласта з впливу пружних коливань сейсмічного діапазону частот на процеси фільтрації пов'язано із значними технічними труднощами.

Тому в ході проведення представлених вище досліджень використовувались пружні коливання, створювані періодичними імпульсами тиску з частотою повторення 1 Гц і частотою заповнення імпульсів 40 кГц . Як показано у [11], зміни фільтрації відбуваються у широкому діапазоні частот, що дає можливість використовувати для досліджень у лабораторних умовах пружні коливання більш високих частот для визначення інтенсивностей, за яких відбуваються ці зміни.

Внаслідок проведених досліджень було оцінено якісний і кількісний вплив пружних коливань на фільтрацію нафтоводяних сумішей в обводненому пласті із сформованими застійними зонами нафти. Результати аналізу свідчать, що імпульсно-хвильова дія на нафтоводяну суміш у разі її фільтрації у поровому сере-

довищі призводить до зменшення капілярного опору для нафти у системі “нафта-вода”, а інтенсивності коливань, за яких відбувалися зміни параметрів фільтрації у моделі пласта, знаходились у діапазоні 0,01 – 0,12 Вт/см². Розходження результатів експериментів із результатами, представленими у [8], можна пояснити впливом масштабного фактора. Результати досліджень будуть використані в процесі розроблення нових технологій і обладнання для підвищення нафтовилучення із пластів.

Література

1 Бойко В.С. Розробка та експлуатація нафтових родовищ: Підручник. – 3-є доповнене видання. – К.: «Реал-Принт», 2004. – 695с.

2 Гадиев С.М. Использование вибрации в добыче нефти. – М.: Недра, 1977. – 154 с.

3 Гадиев С.М. Использование гидравлических золотниковых вибраторов для обработки скважин // Нефтяное хозяйство. – 1972. – №2. – С. 42-45.

4 Валиуллин А.В., Максутов Р.А., Доброскок Б.Е. и др. Некоторые особенности технологии виброобработки продуктивного пласта // РНТС. Сер. Нефтепромысловое дело. – 1973. – №11. – С. 13-16.

5 Галлямов М.Н., Ахметшин Э.А. Мавлютов М.Р. и др. Исследование воздействия виброударных волн на призабойную зону эксплуатационных и нагнетательных скважин // Нефтяное хозяйство. – 1970. – №8. – С. 46-49.

6 Аметов И.М., Байдуков Ю.Н., Рузин Л.М., Спиридонов Ю.А. Добыча тяжелых и высоковязких нефтей. – М.: Недра, 1985. – 205 с.

7 Яковлев В.Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика. – М.: Просвещение, 1976. – 215 с.

8 Кузнецов О.Л., Єфімова С.А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1983. – 172 с.

9 Дроздов А.Н., Ламбин Д.Н., Молчанов А.Г. и др. Техника для вибросейсмохимического воздействия на призабойную зону // Территория нефтегаз. – 2007. – №2 – С. 44-45.

10 Потапов Г.А., Правдихин В.М. Оценка эффективности воздействия мощного низкочастотного акустического излучения на призабойную зону // Нефтяное хозяйство. – 2000. – №9. – С. 82-83.

11 Дыбленко В.П., Камалов Р.Н. и др. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия. – М.: Недра, 2000. – 41 с.

УДК 622.275.53.054.22

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ВИСОТИ ПІЩАНОЇ ПРОБКИ У ФІЛЬТРОВІЙ ЗОНІ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СВЕРДЛОВИНИ

Б.В.Копей, О.О.Кузьмін

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166,
e-mail: kopeyb@nuing.edu.ua*

Для обеспечения полного выноса песка из фильтровой зоны скважины следует обеспечить определенную скорость движения жидкости на поверхность, что не всегда удается, так как скорость вынесения частиц определяет дебит скважины. За предлагаемыми формулами можно рассчитать высоту песчаной пробки, при которой эффективность работы скважины не изменится, что позволит своевременно принимать правильные и обоснованные решения при проведении инженерных расчетов режима эксплуатации скважины.

Під час експлуатації нафтових і газових пластів, складених сипкими пісками або слабкоцементованими пісковиками, у свердловину разом з нафтою і газом може поступати велика кількість піску.

Однією з найважливіших причин, що спричиняє зменшення дебіту свердловини, а також зменшення міжремонтного періоду через зношування вузлів свердловинного насосного устаткування, є винесення разом з продукцією свердловини піску та механічних домішок.

For providing of complete bearing-out of sand from the filter area of oilwell it is needed to provide the certain rate of movement of liquid on a surface, that is not always succeeded, in fact speed of taking away of particles determines the debit of oilwell. After the offered formulas it is possible to expect the height of sandy plug which efficiency of work of oilwell will not change at, that will give possibility in good time to adopt correct decisions at conducting of engineering calculations in relation to the mode of exploitation of oilwell.

Для прийняття вірних інженерних та технологічних рішень важливо правильно оцінити існуючий стан привибійної зони, а особливо зони фільтрації свердловини.

Для цього необхідно узагальнити існуючі теорії руху газорідної суміші у фільтровій зоні, через призму руху піску в межах фільтра (перфорованої труби) свердловини.

Для винесення піску із вибою на поверхню необхідно створити достатньо високі швидкості руху рідини в стовбурі свердловини [1]. Припу-