

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 550.34+622.831

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/05>**Денисюк І.І.**

Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України

Лемешко В.А.

Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України

Поляковська Т.С.

Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ФЛЮЇДУ В ПОРИСТОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПЛАСТА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ХВИЛЬОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВУГЛЕВОДНІВ

Приведені результати досліджень стосовно визначення полів швидкостей фільтрації флюїду (в'язкої рідини) в порах у разі дії на них акустичних хвиль. Під час розв'язання задачі використані диференційні рівняння, що описують ламінарний рух в'язкої рідини в циліндричному поровому каналі. На підставі отриманого розв'язку розроблена комп'ютерна програма чисельних розрахунків та проведено комп'ютерне моделювання динамічних процесів у порових каналах пласта. Встановлено, що у разі акустичної дії на пласт швидкість руху в'язкої рідини в порових каналах пласта досягає найбільших значень у певному діапазоні частот залежно від розмірів пор. Отримані результати мають практичне значення для розробки перспективних технологій інтенсифікації видобутку вуглеводнів дією акустичних хвиль на пласт.

Ключові слова: фільтрація, швидкість, порове середовище, акустичні хвилі, математичне та комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. У процесі розробки нафтових родовищ фільтраційні характеристики порід-колекторів суттєво погіршуються. На поверхні порових каналів фільтрації пласта відбувається низка процесів. У результаті утворюються штучні малопроникні перешкоди. Вони зменшують потенційну можливість гідродинамічних каналів фільтрації. Істотно знижується продуктивність свердловин і ступінь освоєння надр. Для поліпшення зв'язку продуктивного пласта зі свердловиною застосовують низку відомих методів інтенсифікації, проте вони не завжди ефективні. Найчастіше не враховуються зміни, що проходять у продуктивних пластах у процесі видобування. Застосування того чи іншого методу інтенсифікації не досить обґрунтовується. Деякі методи мають інші недоліки: потреба в громіздкому устаткуванні (гідророзрив), значні енергетичні витрати (теплові обробки), висока вартість реагентів (кислотні обробки та використання поверхнево активних речовин). Одним із альтернативних, екологічно безпечних і мало-

затратних методів підвищення нафтовилучення є хвильова обробка пластів [1–11]. Значна частина досліджень у цьому напрямі стосується впливу пружних коливань на зміну фільтраційних характеристик порового пласта [1; 5; 6; 8; 9; 11]. Для прогнозування результатів акустичної дії необхідно враховувати колекторські властивості порід пласта (пористість, проникність), властивості флюїду (в'язкість), параметри акустичної дії (потужність випромінювача, частотний діапазон хвильової обробки).

Вибір частотного діапазону проводиться без урахування розподілу та розмірів порових каналів. Аналіз приведених літературних джерел також показує, що дослідження швидкості руху флюїду перебуває поза увагою багатьох авторів публікацій. Саме ця величина значною мірою визначає швидкість просування флюїдів до вибою свердловини. Швидкість руху флюїду є одним із основних параметрів під час розрахунку дебіту свердловин і коефіцієнта вилучення нафти із родовищ. У зв'язку із цим дослідження полів швидкостей руху в'язкої

рідини в пористих середовищах пласта є актуальним завданням у плані використання отриманих результатів досліджень для розробки ефективних імпульсно-хвильових та комбінованих методів інтенсифікації видобутку вуглеводнів. Автори багатьох публікацій [1; 2; 6; 11] вказують на складність механізмів взаємодії акустичних хвиль з поровим середовищем пласта. Вони наголошують на необхідності проведення подальших теоретичних та експериментальних досліджень. Отримані результати стимулюватимуть створення нових хвильових технологій інтенсифікації видобутку вуглеводнів.

Постановка завдання. У цій роботі приведені теоретичні та комп'ютерні дослідження руху пульсуючої рідини (флюїду) в поровому середовищі нафтоносного пласта, який виникає під дією перепаду тиску, що змінюється за гармонічним законом.

Розглядаємо задачу визначення швидкості v під час руху в'язкої рідини в поровому каналі під дією перепаду тиску $\frac{\Delta p}{l} \cos \omega t$. У цьому разі із рівнянь Нав'є-Стокса [12, с. 362] отримане диференціальне рівняння [10, с. 166]:

$$\frac{\partial v}{\partial t} - v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right) = \frac{\Delta p}{\rho l} \cos \omega t; \quad 0 \leq r \leq a, \quad t > 0, \quad (1)$$

де v – швидкість руху в'язкої рідини; v , ρ – кінематична в'язкість і густина рідини; a – радіус пори; r – змінний радіус порового каналу; $\frac{\Delta p}{l} \cos \omega t$ – перепад тиску, що змінюється за гармонічним законом. Проінтегруємо рівняння (1) за нульових початкових $v(t=0) = 0$ і нульових граничних умов $v = 0$ при $r = a$, $t > 0$.

Виклад основного матеріалу досліджень. Застосовуючи до рівняння (1) зображення за Лапласом, отримаємо рівняння в операторному вигляді:

$$\frac{d^2 v_L}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dv_L}{dr} - \frac{s}{v} v_L = \left(-\frac{\Delta p}{\rho l} \right) \frac{s}{v(s^2 + \omega^2)}, \quad (2)$$

де v_L – зображення функції v за Лапласом; s – комплексний параметр. Загальний розв'язок неоднорідного рівняння (2) $v_L(r, s)$:

$$v_L(r, s) = F \frac{\dot{I}_0 \left(ai \sqrt{\frac{s}{v}} \right) - \dot{I}_0 \left(ri \sqrt{\frac{s}{v}} \right)}{(s^2 + \omega^2) \dot{I}_0 \left(ai \sqrt{\frac{s}{v}} \right)}, \quad (3)$$

де $F = \frac{\Delta p}{\rho l}$; $\dot{I}_0 \left(ai \sqrt{\frac{s}{v}} \right)$; $\dot{I}_0 \left(ri \sqrt{\frac{s}{v}} \right)$ – функції Бесселя першого роду нульового порядку уявного аргументу, $i = \sqrt{-1}$.

Використовуючи теорему обернення та теорію лишків, розв'язок $v_L(r, s)$ переводили в клас оригіналів. У результаті отримаємо розв'язок рівняння (1) у вигляді залежності:

$$v(r, t) = \frac{F}{\omega} \left[\frac{\text{ber} \left(r \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) \text{bei} \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) - \text{ber} \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) \text{bei} \left(r \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right)}{\text{ber}^2 \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) + \text{bei}^2 \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right)} \cos \omega t + \left(1 - \frac{\text{ber} \left(r \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) \text{ber} \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) + \text{bei} \left(r \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) \text{bei} \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right)}{\text{ber}^2 \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right) + \text{bei}^2 \left(a \sqrt{\frac{\omega}{v}} \right)} \right) \sin \omega t - F \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{2a^2 v \alpha_n}{a^2 \omega^2 + \alpha_n^2 v^2} \right) \frac{\alpha_n \left(\frac{r}{a} \right)}{\alpha_n} e^{-\frac{\alpha_n^2}{a^2} t}, \quad (4)$$

де $\text{ber}(x)$, $\text{bei}(x)$ – функції Кельвіна; α_n – корені функції Бесселя I_0 ; I_1 – функція Бесселя першого роду першого порядку.

Для отримання розв'язку (4) із виразу (3) були використані такі співвідношення для функцій Бесселя комплексного аргументу [13, с. 200]:

$$I_0(x i \sqrt{i}) = \text{ber}(x) + i \text{bei}(x), \quad I_0(x \sqrt{i}) = \text{ber}(x) - i \text{bei}(x).$$

Дослідимо розв'язок (4) у граничних випадках. При $\omega \rightarrow 0$ і $t \rightarrow \infty$ із (4) отримаємо

$$v(r) = \frac{Fa^2}{4v} \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right). \quad (5)$$

Розв'язок (5) являє так звану параболу Пуазейля [12, с. 382].

При $t \rightarrow \infty$ із формули (4) маємо стаціонарний розв'язок без останнього члена із сумою. Знайдемо суму функціонального ряду, що входить у розв'язок (4) (при $r = 0$):

$$S = \frac{2a^2}{v} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\alpha_n}{b^2 + \alpha_n^4} \right) \frac{\exp \left(-\frac{v \alpha_n^2}{a^2} t \right)}{I_1(\alpha_n)}, \quad (6)$$

де $b^2 = \frac{a^4 \omega^2}{v^2}$ – безрозмірна величина.

Знакозмінний ряд (6) за ознаками Лейбніца – збіжний. Суму ряду (6) визначали чисельно (з точністю $1 \cdot 10^{-7}$) за заданих параметрів a , ω , v залежно від часу t . Результати розрахунків сум рядів (6) представлені на рис. 1.

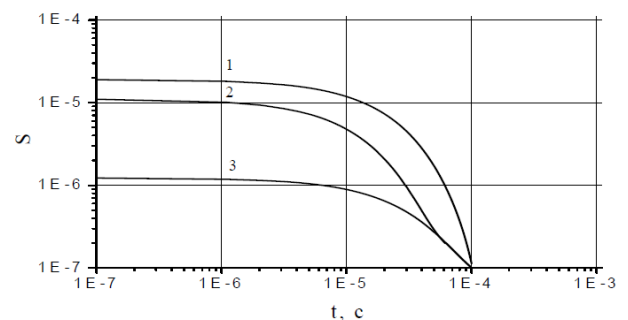


Рис. 1. Значення сум рядів S , обчислених за формулою (6) залежно від часу t за різних значень частоти f ($a = 1 \cdot 10^{-5}$ м; $v = 1 \cdot 10^{-6}$ м²/с): 1- $f = 0$; 2- $f = 10$ кГц; 3- $f = 23$ кГц

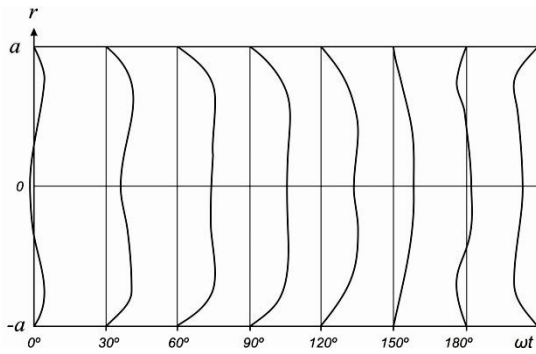


Рис. 2. Епюри поля швидкості фільтрації рідини по перерізу порового каналу пласта при: $a=2,5 \cdot 10^{-4}$ м; $f=200$ Гц; $\nu=1,565 \cdot 10^{-6}$ м²/с

Із рис. 1 видно, що при $t = 1 \cdot 10^{-4}$ с суми рядів (криві 1–3) дорівнюють нулю. Таким чином, вплив суми (6) на загальний розв’язок (4) $t \geq 1 \cdot 10^{-4}$ с відсутній. Враховуючи це, комп’ютерне моделювання полів швидкостей фільтрації рідини проводилося на основі залежності (4) без останнього члена (6).

Для проведення чисельних розрахунків швидкостей $v(r, t)$ стаціонарний розв’язок із (4) приведено до більш простого вигляду:

$$\frac{v(r, t)}{(F/\bar{E})} = \left(1 - \frac{k_1 + k_2}{k^2}\right) \sin \omega t + \left(\frac{k_3 - k_4}{k^2}\right) \cos \omega t, \quad (7)$$

де

$$\begin{aligned} k_1 &= \text{ber}\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) \text{bei}\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right); & k_2 &= \text{ber}\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) \text{ber}\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right); \\ k_3 &= \text{bei}\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) \text{ber}\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right); & k_4 &= \text{ber}\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) \text{bei}\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right); \\ k^2 &= \text{ber}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) + \text{bei}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Вираз (7) представимо через одну тригонометричну функцію:

$$\frac{v(r, t)}{(F/\omega)} = K(r) \sin(\omega t + \theta), \quad (9)$$

де

$$\begin{aligned} K(r) &= \sqrt{\frac{k^2 + k_r^2 - 2(k_1 + k_2)}{k^2}}; \\ \sin \theta(r) &= \frac{k_3 - k_4}{\sqrt{k^2 + k_r^2 - 2(k_1 + k_2)}}; \\ k_r^2 &= \text{bei}^2\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) + \text{ber}^2\left(r\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right). \end{aligned} \quad (10)$$

На основі залежностей (9), (10) з урахуванням позначень (8) розроблена комп’ютерна програма «Пора». Програма «Пора» призначена для обчислення швидкостей фільтрації флюїду в порах залежно від параметрів a, ω, ν . Програма скла-

дається з трьох частин: уведення початкових даних, лічильна частина та виведення результатів розрахунку. Лічильна частина складається з алгоритмів, які використовують функції Кельвіна $\text{ber } x, \text{bei } x$. Значення цих функцій визначали степеневими рядами з точністю до сьомого знаку.

За результатами чисельних розрахунків встановлено, що під час акустичної обробки пласта в порах виникають пульсуючі рухи рідини. Епюри швидкостей руху змінюються в часі (рис. 2). При цьому спостерігаються області стиснення та розрідження, на відміну від паузейлівської течії рідини (при $\omega = 0$). Із приведених епюр видно, що за хвильової дії в перерізі порового каналу виникають обернені пульсуючі течії. Спостерігаються також підвищені швидкості в пристінних областях пори порівняно з областю поблизу осі. Це сприяє збільшенню проникності за рахунок руйнування кольматанта на стінках пор. Динамічні режими течії в’язкої рідини в пласті суттєво залежать від параметра $\beta = a\sqrt{\omega/\nu}$.

Чисельними розрахунками встановлено залежність хвильової дії від радіуса пори та кінематичної в’язкості. На частотах f_m коефіцієнт $K(r)$ (10) досягає максимального значення. Для визначення частоти хвильової дії f_m отримана формула:

$$f_m = \frac{14,44\nu}{2\pi a^2}. \quad (11)$$

Зауважимо, що формула (11) за певних умов зводиться до формули Біо [14, с. 1258]:

$$f_m = \frac{k_n \nu}{2\pi k_{np}}, \quad (12)$$

де k_n – коефіцієнт пористості, k_{np} – коефіцієнт проникності порід пласта.

Справді, прийнявши до уваги співвідношення [15, с. 125]:

$$a = \sqrt{\frac{8k_{np}\phi}{k_n}}, \quad (13)$$

де ϕ – структурний коефіцієнт, що характеризує відмінні особливості будови порового простору реальних колекторів. Значення ϕ можна оцінити шляхом виміру електроопору порід. Для пористих середовищ за експериментальними даними [15, с. 127] коефіцієнт ϕ змінюється від 1,7 до 2,6. При $\phi = 1,805$ із (13) отримаємо:

$$a = \sqrt{\frac{14,44k_{np}}{k_n}}. \quad (14)$$

Підставивши (14) у вираз (11) отримаємо формулу Біо (12).

Для оцінки режимів хвильової дії на поровий пласт визначимо інтегральну характеристику фільтраційних процесів – об’єм відфільтрованої

рідини порою радіуса a у разі хвильової дії на неї. Згідно з [12, с. 382] ця величина визначається за формулою:

$$Q_{\omega} = \pi a^2 \bar{v}, \quad (15)$$

де \bar{v} – середня швидкість фільтрації в'язкої рідини в поровому каналі.

Середня швидкість фільтрації в'язкої рідини в поровому каналі визначається залежністю [12, с. 382]:

$$\bar{v} = 0,5v_m, \quad (16)$$

де v_m – максимальна швидкість фільтрації рідини в циліндричній порі.

Беручи до уваги, що максимальна швидкість фільтрації досягається на осі порового каналу, із залежності (9) при $r = 0$ отримаємо:

$$v_m = \frac{F}{\omega} K_0(\omega), \quad (17)$$

де

$$K_0(\omega) = \frac{\left(1 + \text{ber}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) + \text{bei}^2\left(\sqrt{a\frac{\omega}{\nu}}\right) - 2\text{ber}\left(a\frac{\omega}{\nu}\right)\right)^{1/2}}{\text{ber}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right) + \text{bei}^2\left(a\sqrt{\frac{\omega}{\nu}}\right)} \quad (18)$$

Враховуючи формули (16), (17), із виразу (15) знаходимо:

$$Q_{\omega} = \frac{\pi a^2}{2\omega} F K_0(\omega). \quad (19)$$

Із використанням співвідношень (19) та (18) на рис. 3 приведені дані розрахунків нормованих об'ємів відфільтрованої рідини Q_{ω} / Q_0 від частоти хвильової дії при $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ для порових каналів різних радіусів (Q_0 – об'єм відфільтрованої рідини порою за частоти $\omega = 0$).

Таким чином, за результатами чисельних розрахунків нормованих об'ємів відфільтрованої

рідини порою у разі застосування хвильової дії на пласт можна досягнути підвищення дебіту свердловин у межах 10–40% порівняно з дією перепаду тиску за частоти $\omega = 0$. Зауважимо, що за результатами промислових випробувань віброхвильової технології на родовищах Західного Сибіру досягнуто підвищення дебіту нафти в середньому на 8,5% (Самотлорське родовище), 10% (Правдинське родовище) і на 15% (Салимське родовище) [16, с. 25]. Більш значного підвищення дебіту свердловин можна досягнути із застосуванням комбінованої дії кількох методів, наприклад, імпульсно-хвильової та хімічної обробок (поверхнево-активні речовини, кислотні розчини, технологічні розчини) [17, с. 75; 18, с. 41]. Важливою особливістю комбінованих методів є те, що імпульсно-хвильова та хімічна обробки не тільки доповнюють одна одну, але і суттєво підсилюють позитивні сторони кожної технології.

Висновки. На основі загальних рівнянь Нав'є-Стокса отримане модельне диференціальне рівняння руху в'язкої рідини в поровому каналі пласта. За нульових початкових і граничних умов визначено загальний нестационарний розв'язок для швидкості фільтрації рідини в порі у разі хвильової дії.

У граничних випадках при $(\omega \rightarrow 0)$ та при $t \rightarrow \infty$ із загального розв'язку отриманий стаціонарний розв'язок Пуазейля, що характеризується епюрою розподілу швидкості по перерізу порового каналу у вигляді параболи.

На підставі отриманого розв'язку розроблена комп'ютерна програма «Пора» для обчислення швидкостей фільтрації флюїду в порах від пара-

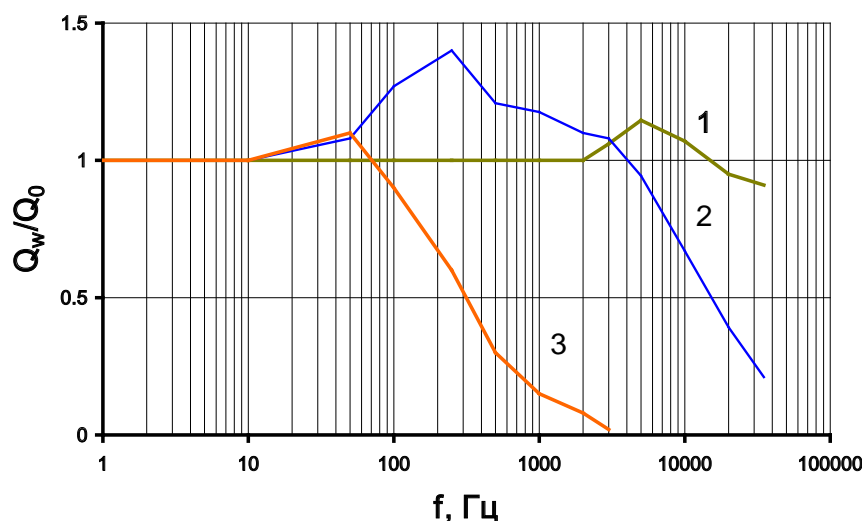


Рис. 3. Залежність нормованих об'ємів відфільтрованої рідини порою від частоти акустичної дії для різних радіусів порових каналів
 a : 1 – $a = 1 \cdot 10^{-6}$ м; 2 – $a = 1 \cdot 10^{-5}$ м; 3 – $a = 1 \cdot 10^{-4}$ м

метрів a , ω , ν . Із використанням цієї програми проведено комп'ютерне моделювання динамічних процесів у порових каналах пласта.

Встановлено, що поле швидкостей руху в'язкої рідини залежить від радіуса пори та частоти хвильової дії. Домінантна частота гармонічної дії залежить від розміру порового каналу у разі заданої кінематичної в'язкості рідини.

Встановлено, що пульсуючий рух в'язкої рідини в порових каналах супроводжується хвилями стискування-розрідження. Вони створюють динамічну дію на порові канали та ініціюють знакозмінні фільтраційні потоки. Із аналізу епію динаміки поля швидкостей по перерізу порового каналу випливає, що за гармонічної дії в порі виникають обернені пульсуючі течії. Спостеріга-

ється також підвищення швидкості в пристінних областях порового каналу порівняно з областю поблизу осі каналу.

За результатами проведених чисельних розрахунків нормованих об'ємів відфільтрованого флюїду поровим каналом пласта у разі хвильової обробки його та аналізу літературних джерел рекомендовано застосування комбінованої дії кількох методів, наприклад, хвильової та хімічної обробок.

Отримані результати аналітичних досліджень і результати комп'ютерного моделювання мають практичне значення для розробки перспективних технологій інтенсифікації вуглеводнів як дією акустичних хвиль на пласт, так і комбінованою дією із застосуванням хвильових і хімічних методів.

Список літератури:

1. Beresnev I.A., Johnson P.A. Elastic wave stimulation of oil production: A review of methods and result. *Geophysics*. 1994. V. 59 (6). P. 1000–1017.
2. Горбачев Ю.И. Акустическое воздействие и повышение рентабельности разработки нефтяных месторождений. *Каротажник*. 1999. Вып. 60. С. 55–67.
3. Ellingsen O. EOR by electro-acoustic reservoir simulation: A new approach. *World oil*. 2002. V. 223. No 11. P. 29–33.
4. Poesio P., Ooms G. An investigation of the influence of acoustic waves on the liquid flow through a porous material. *Journal of Acoustical Society of America*. 2002. V. 111(5). P. 2019–2025.
5. Кучернюк А.В. Комплексні технології ударно-хвильової дії на продуктивні горизонти як інструмент підвищення ефективності експлуатації нафтових родовищ. *Нафтова і газова промисловість*. 2003. № 5. С. 23–27.
6. Войтенко В.С., Иовец В.Н., Киреев А.М., Семенов Ю.В. Волновая обработка коллекторов нефти и газа. Минск : Юниак, 2005. 253 с.
7. Бажалук Я.М. Удосконалення технічних засобів імпульсно-хвильової дії на нафтоносні пласти. *Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ*. 2010. № 1 (34). С. 10–13.
8. Гутак О.І. Експериментальні дослідження впливу пружних коливань на зміну фільтрації нафтоводяної суміші. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2011. № 3 (29). С. 53–56.
9. Нагорний В.П., Денисюк І.І., Юшицина Я.О. Підвищення нафтогазовіддачі пластів шляхом акустичної дії. *Геоінформатика*. 2012. № 4. С. 19–21.
10. Нагорний В.П., Денисюк І.І. Математичне моделювання поля швидкостей в'язкої рідини у фільтраційних каналах нафтоносного пласта під дією гармонічних хвиль. *Вісник ХНТУ*. 2017. № 3 (62). Т. 2. С. 166–170.
11. Венгрович Д.Б., Горovenko А.П. Програмно-експериментальний комплекс для дослідження фільтрації флюїду пористим середовищем у полі акустичних хвиль. *Вісник ХНТУ*. 2018. № 3(66). Том 2. С. 191–195.
12. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа*. Москва : Наука, 1978. 736 с.
13. *Справочник по специальным функциям /под ред. М. Абрамовиц, И. Стиган*. Москва : Наука, 1979. 830 с.
14. Biot M.A. Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media. *JASA*. 1962. V. 34. No 9. P. 1254–1264.
15. Ермилов О.М., Ремизов В.В., Ширковский Л.И., Чугунов Л.С. *Физика пласта, добыча и подземное хранение газа*. Москва : Наука, 1996. 541 с.
16. Мохов М.А., Сахаров В.А., Хабибуллин Х.Х. Виброволновое и виброрейсмическое воздействие на нефтяные пласты. *Нефтепромысловое дело*. 2004. № 4. С. 24–28.
17. Сизоненко О.Н., Ляпис Д.Н., Буряк В.Н., Банько В.Н. Влияние электровзрыва на изменение проницаемости кернов пород-коллекторов в процессе фильтрации. *Теория, эксперимент, практика электроразрядных технологий*. 1993. Вып. 1. С. 72–75.
18. Михалюк А.В., Мухин Е.А., Глущенко В.Н., Бузин В.А. *Взрыво-химические методы в горном деле и строительстве*. Киев, 1994. 44 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ФЛЮИДА В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ПЛАСТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Изложены результаты исследований по определению полей скоростей фильтрации флюида (вязкой жидкости) в порах при обработке их акустическими волнами. При решении задачи использованы дифференциальные уравнения, описывающие ламинарное движение вязкой жидкости в цилиндрическом поровом канале. На основе полученного решения разработана компьютерная программа численных расчётов и проведено компьютерное моделирование динамических процессов в поровых каналах пласта. Установлено, что при акустическом действии на пласт скорость движения вязкой жидкости в поровых каналах пласта достигает наибольших значений в определённом диапазоне частот, зависящем от размеров пор. Полученные результаты имеют практическое значение для разработки перспективных технологий интенсификации добычи углеводородов действием акустических волн на пласт.

Ключевые слова: *фильтрация, скорость, поровая среда, акустические волны, математическое и компьютерное моделирование.*

COMPUTER MODELING OF FLUID FILTRATION IN SLAB'S POROUS MEDIUM FOR CREATING WAVE TECHNOLOGIES OF INTENSIFICATION HYDROCARBON EXTRACTION

The research results on determination the fields of filtration speed of fluid (viscous liquid) in pores while processing them with acoustic waves are stated. For solution the problem differential equations describing laminar motion of viscous liquid in the cylindrical pore channel were used. Based on obtained solution, computer program of numerical calculations was designed and computer modeling of dynamic processes in slab's pore channels was conducted. It was established that during the acoustic impact on the slab motion velocity of viscous liquid in slab's pore channels gets the highest values in the certain frequency range depending on pores' sizes. Obtained results have practical significance for the development of advanced technologies for intensification of hydrocarbon extraction using the impact of acoustic waves on the slab.

Key words: *filtration, velocity, pore medium, acoustic waves, mathematical and computer modeling.*