

© В.Я. Грудз¹, І.Ф. Дудич¹

¹ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПУЛЬСАЦІЙ У ПРОМИВАЛЬНІЙ РІДИНІ

© V. Grudz¹, I. Dudych¹

¹ Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

MATHEMATICAL MODELING OF PULSATIONS IN THE DRILLING FLUID

Мета. Покращення ефективності очищення свердловин від вибуреної породи під час застосування пульсуючої течії промивальної рідини шляхом дослідження впливу концентрації шламу та віддалі від джерела імпульсів на параметри її коливання.

Методика дослідження. На основі проведеного аналізу особливостей процесу промивання свердловин, можливості застосування нерівномірної течії бурового розчину, створеної за рахунок пульсації тиску рідини на вибої свердловини проведено математичне моделювання пульсацій в двофазному середовищі течії промивальної рідини із вибуреною породою. Для побудови математичної моделі коливальних вібрацій поставлено початкову та крайові умови для розв'язку однорідного хвильового рівняння третього порядку. Розв'язок рівняння реалізується за допомогою метода Фур'є. За результатами проведених аналітичних розрахунків складено програму у середовищі «JavaScript» для дослідження впливу концентрації шламу та віддалі від джерела імпульсів на параметри коливання.

Результати дослідження. З використанням розробленої програми досліджено залежність зміни власного віброзміщення двофазного середовища від часу при змінній концентрації шламу від 0 до 13 % у промивальній рідині, та змінній віддалі від джерела імпульсів від 1 до 1000 м. Встановлено, що віброзміщення в часі являє собою синусоїдну криву із певним періодом. Встановлено, що частота пульсацій з віддаллю від джерела імпульсів зменшується в гіперболічній залежності внаслідок затухання в двофазному середовищі. Встановлено, що поширення пульсацій ефективно здійснюється на віддаль до 300 м від джерела імпульсів. Досліджено вплив концентрації шламу в промивальній рідині на частоту пульсації.

Наукова новизна. Створено математичну модель процесу виносу частинок гірської породи по кільцевому простору свердловини пульсуючим потоком промивальної рідини.

Практичне значення. Розроблено програмне забезпечення, для оцінки впливу концентрації шламу та віддалі від джерела імпульсів на параметри коливання, що дозволить оцінити та покращити процес очищення свердловин пульсуючим потоком промивальної рідини.

Ключові слова: свердловина, математичне моделювання, промивальна рідина, гірська порода, пульсації, віброзміщення, вибій, концентрація шламу.

Вступ. На сьогоднішній день питання енергетичної незалежності України за рахунок нарощування ресурсного потенціалу вуглеводнів і видобутку нафти та газу є критично необхідним. Значна частина нафтогазових родовищ України є виснаженими і знаходяться на завершальній стадії їх розробки [1]. Процес видобутку вуглеводнів стає дедалі складнішим і потребує сучасних технологій для

покращення ефективності буріння свердловин. Управління процесами, що відбуваються при бурінні є складною проблемою внаслідок впливу багатьох факторів. До таких процесів можна віднести процес промивання свердловин. Зазвичай, внаслідок відсутності початкової інформації, наявності великої кількості випадкових, постійних і змінних факторів, детальний математичний опис і вивчення цього процесу не завжди є можливим. Теоретичні основи, пов'язані з проблемами промивання, розглянуті в недостатній мірі. На даний момент немає конкретних відповідей на питання чи рівномірний рух висхідного потоку промивальної рідини є найбільш ефективним у всіх умовах, чи забезпечує він ефективне очищення вибою і транспортування шламу по стовбуру свердловини.

В нафтогазовій галузі розповсюдженим є застосування імпульсних технологій. Їх застосовують для збільшення видобутку вуглеводнів [2–4], покращення очистки труб від твердих частинок [5], покращення передачі даних від телеметричних систем MWD під час геофізичних досліджень свердловин на зовнішню поверхню [6] і в процесі буріння свердловин.

Під час застосування імпульсної технології буріння можуть бути змінені три основні режимні параметри (витрата промивальної рідини, частота обертання бурового інструменту, осьове навантаження на породоруйнівний інструмент) [7].

Нестаціонарна подача промивальної рідини є об'єктом багатьох досліджень, що показують покращення техніко-економічних показників технологічного процесу буріння свердловин: покращується ефективність очистки свердловини від шламу [8, 9]; покращується механічна швидкість буріння [10–12].

Зазвичай, створення пульсацій промивальної рідини відбувається за рахунок спеціального обладнання (пульсаторів), що встановлюється над долотом, для отримання пульсуючої течії безпосередньо на вибої свердловини. Ці пристрої добре себе зарекомендували в практиці буріння свердловин [13–15].

Незважаючи на результати існуючих досліджень, покращення ефективності промивання свердловин потребує подальшого вивчення, в тому числі із застосуванням математичного моделювання.

Методика дослідження. Метою дослідження є покращення ефективності очищення свердловин від вибуреної породи під час застосування пульсуючої течії промивальної рідини шляхом дослідження впливу концентрації шламу та віддалі від джерела імпульсів на параметри її коливання

Завданнями дослідження є:

аналіз особливостей застосування пульсацій тиску під час промивання свердловин;

розроблення програмного забезпечення для оцінки впливу концентрації шламу і віддалі від джерела імпульсів на параметри коливання промивальної рідини;

дослідження впливу факторів на віброзміщення та частоту пульсацій двофазного середовища промивальної рідини із вибуреною породою.

Виклад основного матеріалу. На основі принципу незалежності рухів розроблена математична модель коливальних вібрацій в двофазному середовищі течії промивальної рідини із вибуреною породою вздовж осі стовбура свердловини. Схему для побудови математичної моделі зображено на рис. 1.

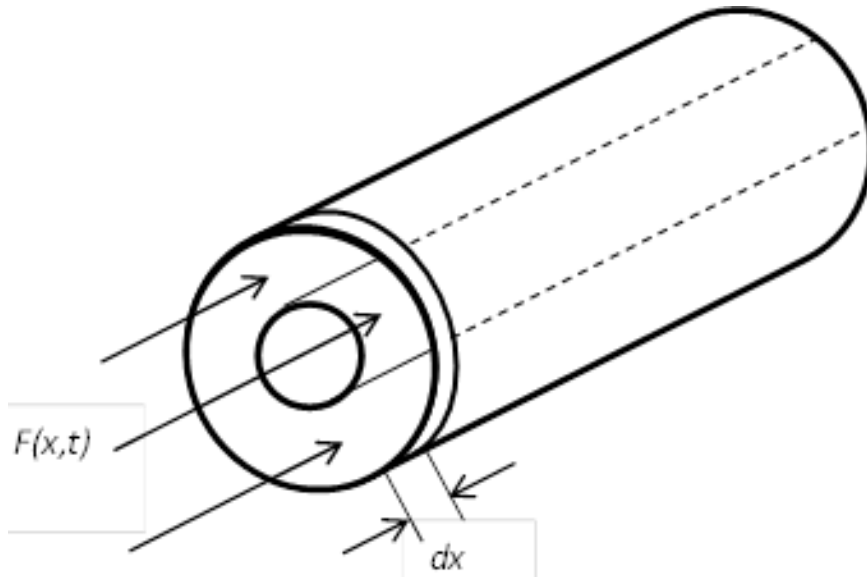


Рис. 1. Схема для побудови математичної моделі коливальних вібрації в двофазному середовищі

У кільцевому просторі виділимо моношар товщиною dx , який пов'язаний із силою, що збуджує коливання $F(x, t)$. Згідно з законом Гука деформація моношару під дією сили $F(x, t)$:

$$F(x, t) = ES\varepsilon + \eta S \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1)$$

де E – модуль пружності середовища; ε – відносна деформація; η – динамічна в'язкість гетерогенної системи; S – площа контакту:

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} u. \quad (2)$$

Якщо переміщення моношару складає $u(x, t)$, то з (1) маємо:

$$F(x, t) = \frac{du}{dx} \cdot ES + \eta S \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}. \quad (3)$$

Зміна сили на ділянці dx :

$$F(x + dx, t) - F(x, t) = ES \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dx + \eta S \cdot \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t}. \quad (4)$$

Маса моношару $\delta M = \rho S dx$ і його прискорення $a = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ дають зміну сили:

$$\rho S dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = ES \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta S \cdot \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t}. \quad (5)$$

Розділивши на масу моношару і враховуючи, що швидкість звуку в середовищі $c^2 = \frac{E}{\rho}$, а кінетична в'язкість $\nu = \frac{\eta}{\rho}$, отримаємо:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \nu \cdot \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t}. \quad (6)$$

Рівняння (6) є однорідним хвильовим рівнянням і реалізується методом Фур'є.

Для цієї мети необхідно поставити крайову задачу, тобто задати початкові і граничні умови. Використаємо принцип незалежності рухів. Вважаємо, що течія середовища вздовж осі стовбура свердловини і коливальні вібрації є незалежними. Тоді, сумарна швидкість довільної точки середовища у складному русі:

$$\bar{v} = \bar{g} + \bar{\omega}, \quad (7)$$

де \bar{g} – вектор швидкості середовища вздовж осі; $\bar{\omega}$, – вектор віброшвидкості.

Початкова умова для реалізації (5) має вигляд:

$$u(x, 0) = \frac{\omega_L - \omega_0}{2L} \cdot x^2. \quad (8)$$

На початку лінійної ділянки віброшвидкість внаслідок роботи пульсатора стала:

$$\omega(0, t) = \omega_0. \quad (9)$$

В кільцевому перерізі за рахунок втрат енергії віброшвидкість зменшується, але залишається сталою, тобто:

$$\omega(L, t) = \omega_L. \quad (10)$$

Тоді крайова задача для (6) матиме вигляд:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=0} = \omega_0; \quad \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=L} = \omega_L. \quad (11)$$

Введемо нову функцію $\phi(x, t)$ яка задовольняє рівняння (6) і для якої крайова задача (11) буде однорідною. Вона пов'язана з функцією $u(x, t)$ (віброзміщенням) співвідношенням:

$$\phi(x, t) = u(x, t) + \gamma x + \gamma_1 x^2, \quad (12)$$

де γ, γ_1 – сталі коефіцієнти, які підберемо такими, щоб крайові умови для ϕ були однорідними.

Для функції (12) маємо рівняння:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \nu \cdot \frac{\partial^3 \phi}{\partial x^2 \partial t}. \quad (13)$$

Однорідність граничних умов дає:

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=0} + \gamma = 0; \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=L} = \left. \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|_{x=L} + \gamma + 2\gamma_1 \cdot L = 0. \quad (14)$$

Звідси:
$$\gamma = -\omega_0; \gamma_1 = \frac{\omega_0 - \omega_L}{L}. \quad (15)$$

Початкова умова:

$$\phi(x, 0) = u(x, 0) + \gamma x + \gamma_1 x^2 = -\omega_0 x. \quad (16)$$

Розв'язки (13), які задовольняють однорідним крайовим умовам, шукаємо методом відокремлення змінних:

$$\phi(x, t) = X(x)T(t). \quad (17)$$

Тоді:
$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = XT''; \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = X''T; \frac{\partial^3 \phi}{\partial x^2 \partial t} = X''T', \quad (18)$$

де
$$X'' = \frac{d^2 X}{dx^2}; T'' = \frac{d^2 T}{dt^2}; T' = \frac{dT}{dt}.$$

Рівняння (13) матиме вигляд:

$$T''X = c^2 X''T + \nu X''T'. \quad (19)$$

Звідси:
$$T''X = X''(c^2 T + \nu T').$$

Або:
$$\frac{T''}{c^2 T + \nu T'} = \frac{X''}{X}. \quad (20)$$

Оскільки ліва частина (20) є функцією тільки T , а права – тільки X , то отримаємо:

$$\frac{X''}{X} = -\lambda^2; \frac{T''}{c^2 T + \nu T'} = -\lambda^2. \quad (21)$$

Або:
$$\begin{cases} X'' + \lambda^2 X = 0 \\ T'' + \nu \lambda^2 T' + c^2 \lambda^2 T = 0 \end{cases} \quad (22)$$

Перше рівняння системи (22) є лінійним диференціальним рівнянням другого порядку. Для його розв'язку складаємо характеристичне рівняння і знаходимо його корені:

$$k^2 + \lambda^2 = 0; k_{1,2} = \pm i\lambda. \quad (23)$$

Комплексно-спряжені корені дають розв'язок:

$$X(x) = A \sin \lambda x + B \cos \lambda x, \quad (24)$$

де A, B – сталі коефіцієнти.

$$\frac{\partial X}{\partial x} = A\lambda \cos \lambda x - B\lambda \sin \lambda x. \quad (25)$$

Гранична умова $X'(0) = 0$ дає $A = 0$.

З другої граничної умови $X'(L) = 0$ маємо:

$$B\lambda \sin \lambda L = 0. \quad (26)$$

Звідси $\lambda_n = \frac{\pi n}{L}$.

Отже розв'язки першого рівняння системи (18) будуть:

$$X_n(x) = B_n \cos \frac{\pi n x}{L}, \quad (27)$$

де $n = 1, 2, 3 \dots$

Для другого рівняння системи (22) характеристичне рівняння:

$$k^2 + \nu \lambda_n^2 k + c^2 \lambda_n^2 = 0. \quad (28)$$

Його розв'язки:

$$k_{1,2} = -\frac{\nu \lambda_n^2}{2} \pm \sqrt{\frac{\nu^2 \lambda_n^4}{4} - c^2 \lambda_n^2} = -\frac{\nu \lambda_n^2}{2} \pm \lambda_n \sqrt{\frac{\nu^2 \lambda_n^2}{4} - c^2}, \quad (29)$$

де c – швидкість розповсюдження звуку в гетерогенному середовищі.

Для двофазного середовища швидкість звуку пропонується визначити за формулою Вуда:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{\alpha_1}{\rho_1 c_1^2} + \frac{\alpha_2}{\rho_2 c_2^2} \right)}}, \quad (30)$$

де α_1, α_2 – молярні концентрації компонентів; ρ_1, ρ_2 – густини рідкої і твердої фази; c_1, c_2 – швидкості звуку у рідкій і твердій фазі; $\rho = \alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2$.

Розв'язки другого рівняння системи (22) при знайдених коренях характеристичного рівняння мають вигляд:

$$T_n(t) = e^{-\frac{\lambda^2 \nu}{2} t} \left(C_n \sin \lambda_n \sqrt{c^2 - \frac{\lambda_n^2 \nu^2}{4}} \cdot t + D_n \cos \lambda_n \sqrt{c^2 - \frac{\lambda_n^2 \nu^2}{4}} \cdot t \right), \quad (31)$$

де C_n, D_n – сталі інтегрування.

Отже:
$$T_n(t) = e^{-\frac{\pi^2 n^2 \nu}{2L^2} t} \left(C_n \sin \frac{\pi n}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{4L^2}} \cdot t + D_n \cos \frac{\pi n}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{4L^2}} \cdot t \right), \quad (32)$$

Тепер функції $\phi(x, t)$, що є розв'язками рівняння (2) і задовольняють крайовим умовам (10) мають вигляд:

$$\phi_n(x, t) = a_n e^{-\frac{\pi^2 n^2 \nu}{2L^2} t} \left(\sin \frac{\pi n t}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{4L^2}} + \cos \frac{\pi n t}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{4L^2}} \right) \cdot \cos \frac{\pi n x}{2L}, \quad (33)$$

де a_n – стала інтегрування, що знаходиться з початкової умови:

$$a_n = \frac{2}{L} \int_0^L \phi(x, 0) \cos \frac{\pi n x}{L} dx = \frac{2L}{\pi^2 n^2} \omega_0 [1 - (-1)^n]. \quad (34)$$

Тоді:

$$\phi_n(x, t) = \frac{2\omega_0 L}{n^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n^2} \cdot e^{-\frac{n^2 \pi^2 \nu t}{2L^2}} \cdot \left(\sin \frac{\pi n t}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{L^2}} + \right. \quad (35)$$

$$\left. + \cos \frac{\pi n t}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{L^2}} \right) \cdot \cos \frac{\pi n x}{2L},$$

Тепер віброзміщення:

$$u(x, t) = \omega_0 x - \frac{\omega_0 - \omega_L}{L} x^2 + \frac{2\omega_0 L}{n^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n^2} \cdot e^{-\frac{n^2 \pi^2 \nu t}{2L^2}} \cdot \left(\sin \frac{\pi n t}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{L^2}} + \cos \frac{\pi n t}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{L^2}} \right) \cdot \cos \frac{\pi n x}{2L}. \quad (36)$$

Сумарне переміщення елементів дисперсної системи за проміжком часу Δt може бути знайдено за принципом незалежності рухів (7):

$$\bar{y}(x, t) = \bar{x}(x, t) + \bar{u}(x, t). \quad (37)$$

При стаціонарному русі потоку переміщення $x(x, t)$ визначається величиною середньої осьової швидкості в потоці $\omega(x, t)$ і спрямована вздовж осі свердловини:

$$x(x, t) = \omega(x, t) \cdot t. \quad (38)$$

Віброзміщення $u(x, t)$ визначається з (38) на кожен момент часу і може мати невизначений напрям.

Віброшвидкість визначається шляхом диференціювання (38) по часу і має вигляд:

$$\omega(x, t) = \frac{2\omega_0}{\pi^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{n^2} \cdot \cos \frac{\pi n x}{L} e^{-\alpha t} \cdot [\beta \cos \beta t - \alpha \sin \beta t] - (\beta \sin \beta t + \alpha \cos \beta t), \quad (39)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{n^2 \pi^2 \nu}{2L^2}; \beta = \frac{\pi n}{2L} \sqrt{c^2 - \frac{n^2 \pi^2 \nu^2}{4L^2}}.$$

Якщо існує мінімальна віброшвидкість $[\omega]$, яка визначена експериментально з умови утримання в зваженому стані твердої фази, то, очевидно, що нормальна робота системи буде у випадку, коли віброшвидкість в будь якій точці колони буде не меншою за $[\omega]$, тобто $\omega(x,t) \geq [\omega]$.

За результатами проведених аналітичних розрахунку складено програму у середовищі «JavaScript». Програмні можливості дозволяють оцінити вплив концентрації шламу та віддалі від джерела імпульсів на параметри пульсацій промивальної рідини.

На рис. 2 зображено вигляд діалогового вікна розробленої програми.

Рис. 2. Діалогове вікно програми розрахунку пульсацій в свердловині

На рис. 3 зображено графічну залежність зміни власного віброзміщення двофазного середовища від часу при концентрації шламу в промивальній рідині 10% і віддалі від джерела імпульсів – 100 м.

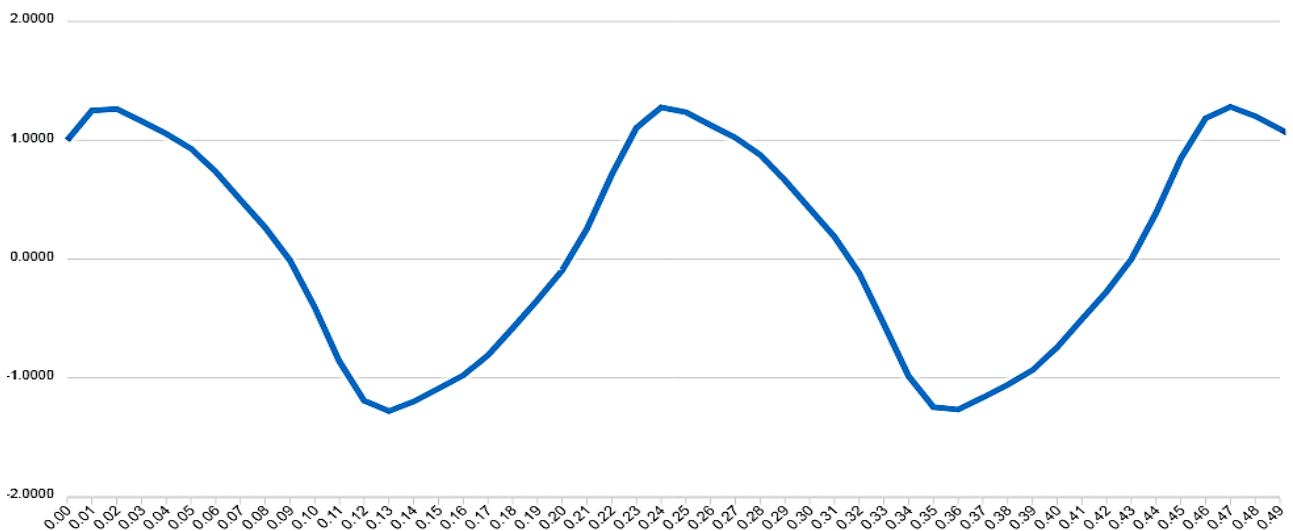


Рис. 3. Залежність зміни власного віброзміщення двофазного середовища від часу

Згідно графіка впливає, що віброзміщення в часі характеризується синусоїдною кривою із певним періодом.

За допомогою розробленої програми отримано залежності частоти пульсацій від концентрації шламу в промивальній рідині (рис. 4, а) та віддалі від джерела імпульсів (рис. 4, б).

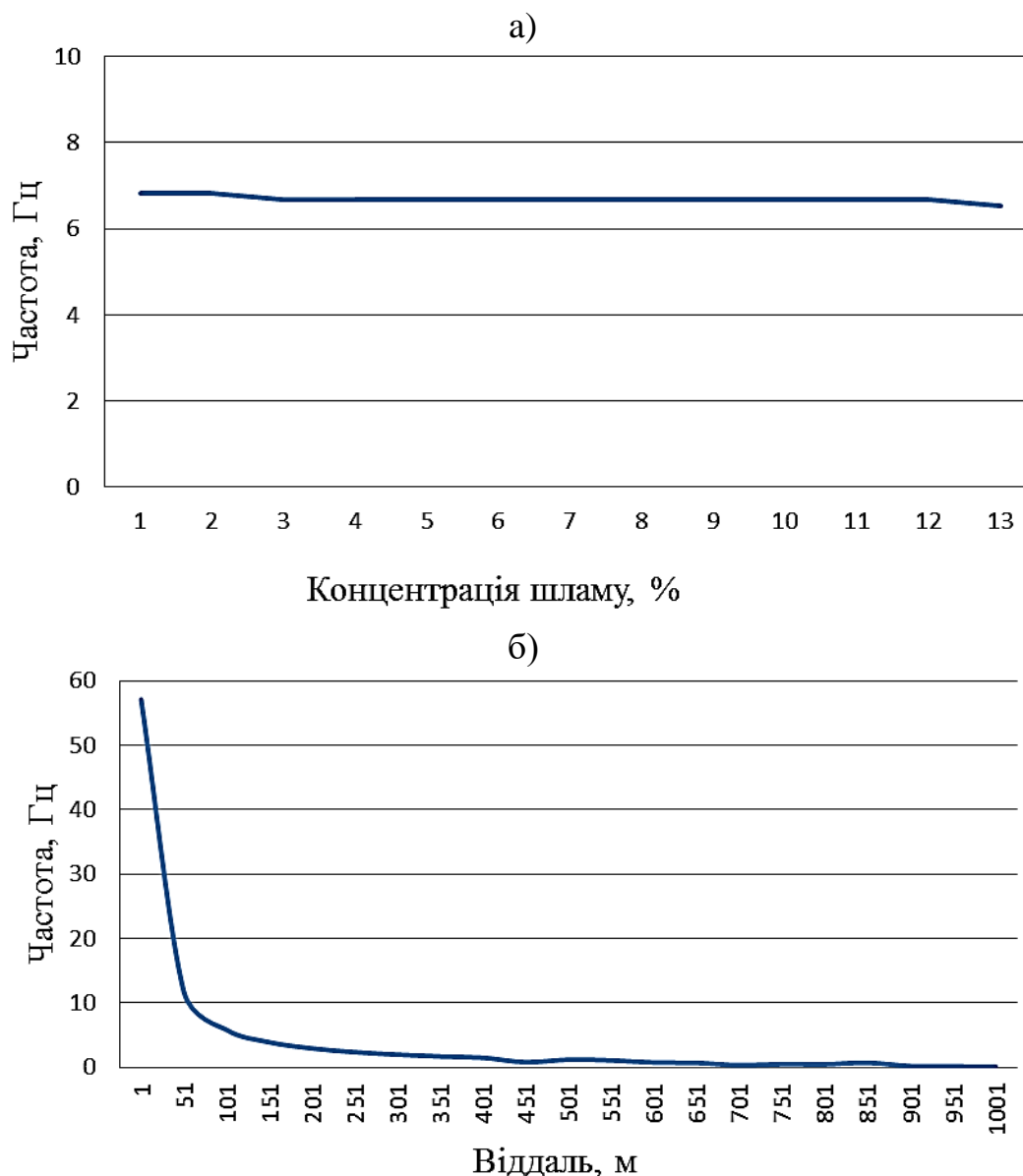


Рис. 4. Вплив концентрації шламу (а) та віддалі від джерела імпульсів (б) на частоту пульсацій

Залежність впливу концентрації шламу в промивальній рідині на частоту пульсацій побудована на віддалі 100м від джерела імпульсів. Зі збільшенням віддалі від джерела імпульсів частота пульсацій зменшується в гіперболічній залежності внаслідок затухання в двофазному середовищі промивальної рідини із вибуреною породою.

Висновки. Ефективність процесу промивання свердловин залежить від якості очищення їх стовбура від шламу. Створення пульсацій тиску

промивальної рідини на вибої свердловини є одним із способів покращення якості очищення свердловин від вибуреної породи. Результати виконаних досліджень згідно складеної програми у середовищі «JavaScript» свідчать, що концентрація шламу та віддаль від джерела імпульсів здійснюють вагомий вплив на параметри коливання. Збільшення концентрації шламу внаслідок неякісного очищення свердловин, зменшує частоту пульсацій і призводить до їх затухання. Створення перепаду тиску на вибої свердловини 20 МПа утворює пульсації рідини, що ефективно поширюються на віддаль 200-300 м від джерела імпульсів, після чого відбувається їх затухання.

Перелік посилань

1. Карпенко, О., Михайлов, В., & Карпенко І. (2015). До прогнозу освоєння вуглеводневих ресурсів східної частини ДДЗ. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*, 1(68), 49-54.
2. Гутак, О. І. (2013). Сучасний стан технологій та технічних засобів в області імпульсно-хвильових методів дії на продуктивні пласти. *Нафтогазова енергетика*, 2(20), 19-29.
3. Тарко, Я. Б. (2001). Аналіз гідродинамічних методів впливу на привибійну зону пласта. *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ*, (38), 128-133.
4. Чернов, Б. О., & Западнюк, М. М. (2012). Оцінка техніко-економічних показників сучасних методів підвищення проникності привибійної зони пласта та розробка технічних засобів інтенсифікації свердловин гідроакустичним методом. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 1(42), 46–56.
5. Зайончковський, Г. Ф., Власов, А. С., Радченко, В. Ю., & Тарасенко, Т. В. (2010). Очищення внутрішньої поверхні трубопроводу від забруднень. *Наукоємні технології*, 1(5), 32–35.
6. Андрущенко, В., Курганський, В., Тишаєв, І., & Бугрій, В. (2010). Нові технології в промисловій геофізиці. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*, (48), 35–39.
7. Kozhevnikov, A. (2014). Impulse technologies of borehole drilling – technologies of XXI century. *Progressive technologies of coal, coalbed methane, and ores mining*, (1), 175-181.
8. Bizanti, M. S. (1990). Jet pulsing may allow better hole cleaning. *Oil Gas J*, 88(2), 67–68.
9. Zhao, H., Shi, H., Huang, Z., Chen, Z., Gu, Z., & Gao, F. (2022). Mechanism of Cuttings Removing at the Bottom Hole by Pulsed Jet. *Energies*, 15(9), 3329.
<https://doi.org/10.3390/en15093329>.
10. Возний, В. Р., Фем'як, Я. М., & Яремійчук Р. С. (2009). Руйнування гірських порід при бурінні свердловин з використанням кавітаційно-пульсаційних технологій. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 2(31), 5-9.
11. Fu, J., Li, G., Shi, H., Niu, J., & Huang, Z. (2012). A Novel Tool To Improve the Rate of Penetration--Hydraulic-Pulsed Cavitating-Jet Generator. *SPE Drilling & Completion*, 27(03), 355-362.
<https://doi.org/10.2118/162726-PA>.
12. Li, G., Shi, H., Niu, J., Huang, Z., Tian, S., & Song, X. (2010). Hydraulic Pulsed Cavitating Jet Assisted Deep Drilling: An Approach To Improve Rate Of Penetration. *International Oil and Gas Conference and Exhibition in China*. Society of Petroleum Engineers.
<https://doi.org/10.2118/130829-MS>
13. Cui, L., Zhang, F., Wang, H., Ge, Y., Zhuo, L., & Li, H. (2012). Development and application of adjustable frequency pulse jet generating tool to improve rate of penetration in deep wells. *IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
<https://doi.org/10.2118/155799-ms>

14. Shi, H., Li, G., Wang, X., & Shen, Z. (2010). Improving the rate of penetration by hydraulic pulsating-cavitating water jet under-balance pressure drilling. *Petroleum Exploration and Development*, 37(1), 111–115.
15. Яремійчук, Р.С., Фем'як, Я.С., Возний, В.І., Лотовський, І.В., Іткін, О.Ф., Гольденберг, А.М., & Дьомін, Ю. М. (2009). *Інструмент для буріння свердловин* (Патент України № UA85247).

ABSTRACT

Purpose. To improve the efficiency of cleaning wells from drilled rock by using a pulsating flow of drilling fluid. to study the effect of cuttings concentration and distance from the pulse source on the parameters of its oscillations.

The methods. Based on the analysis of the peculiarities of the well flushing process, the possibility of using an uneven flow of drilling mud created by fluid pressure fluctuations at the bottom of the well mathematical modeling of fluctuations in the two-phase environment of the flow of drilling fluid with drilled rock was carried out. In order to construct a mathematical model of oscillatory vibrations, the initial and boundary conditions for solving the homogeneous wave equation of the third order are set. The solution of this equation is realized using the Fourier method. Based on the results of the analytical calculations, a program in the JavaScript environment was developed to study the effect of cuttings concentration and distance from the pulse source on the vibration parameters.

Findings. Using the developed program, the dependence of the change in the intrinsic vibration displacement of a two-phase medium on time was investigated when the cuttings concentration varies from 0 to 13 % in the drilling fluid and the distance from the pulse source varies from 1 to 1000 m. It was found that the vibration displacement in time is a sinusoidal curve with a certain period. It was found that the pulsation frequency decreases in hyperbolic dependence with distance from the pulse source due to attenuation in a two-phase medium. It was found that pulsations propagate effectively at a distance of up to 300 m from the pulse source. The effect of the cuttings concentration in the drilling fluid on the pulsation frequency is investigated.

The originality. A mathematical model of the process of rock particles removal through the annular space of the well by a pulsating flow of drilling fluid is created.

Practical implementation. Software has been developed to assess the effect of cuttings concentration and distance from the pulse source on the oscillation parameters, which will allow to evaluate and improve the process of well cleaning with a pulsating flow of drilling fluid.

Keywords: *well, mathematical modeling, drilling fluid, rock, pulsations, vibration displacement, bottom hole, cuttings concentration.*