

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЛИВАЛЬНИХ РУХІВ СІТКИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ВІБРОСИТА

М.М. Лях, Н.В. Федоляк, В.М. Вакалюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 727101,
e-mail: no@nimg.edu.ua

Метою дослідження впливу коливальних рухів сітки на ефективність роботи вібросита є пошук шляхів високоякісного очищення промивального розчину від вибуреної породи при достатній продуктивності (пропускній здатності) ситового полотна. Проведено аналіз конструкцій фігур Лиссажу та вибрано одну з фігур для дослідження. Для обчислення об'єму в'язкої рідини, що протікає через чарунку сита певної форми, використано формулу Пуазеля. Отримані залежності частоти вертикальних коливань від ефективного розміру чарунки вібросита при різних значеннях амплітуди, а також залежність мінімальної тривалості роботи вібросита, що необхідна для відділення очищеної промивальної рідини від твердої фази. За результатами досліджень можна рекомендувати необхідні геометричні параметри сіткового полотна та амплітуди і частоти вертикальних і горизонтальних коливань сітки для різних параметрів промивальної рідини.

Ключові слова: очищення промивальних рідин, очищення бурових розчинів, вібросита, видалення твердої фази, видалення вибуреної породи, режим роботи вібросит, параметри ситополотна вібросит.

Целью исследования влияния колебательных движений сетки на эффективность работы вибросита является поиск путей высококачественной очистки промывочного раствора от выбуренной породы при достаточной производительности (пропускной способности) ситового полотна. Проведен анализ конструкций фигур Лиссажу и выбрана одна из фигур для исследования. Для вычисления объема вязкой жидкости, протекающей через ячейку сита определенной формы, использована формула Пуазеля. Получены зависимости частоты вертикальных колебаний от эффективного размера ячейки вибросита при различных значениях амплитуды, а также зависимость минимальной продолжительности работы вибросита, необходимая для отделения очищенной промывочной жидкости от твердой фазы. По результатам исследований можно рекомендовать необходимые геометрические параметры ситового полотна, а также амплитуды и частоты вертикальных и горизонтальных колебаний сетки для различных параметров промывочной жидкости.

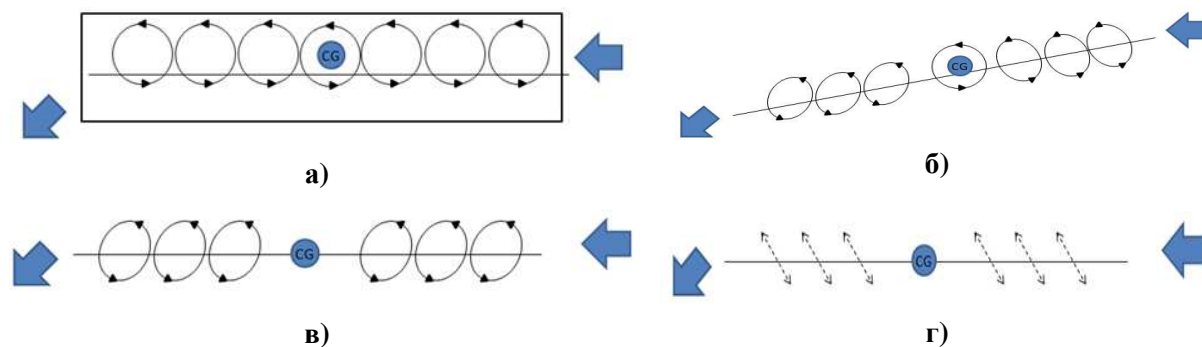
Ключевые слова: очистка промывочных жидкостей, очистка буровых растворов, вибросита, удаление твердой фазы, удаление выбуренной породы, режим работы вибросит, параметры ситополотна вибросит.

The objective of the study of the screen vibrations influence on the shale shaker operation efficiency is to find the ways of high-quality drilling mud treatment from the drill cuttings at sufficient productivity (flow capacity) of the screen plate. The analysis of Lissajous figure designs was conducted and one of the figures was selected for the study. To calculate the viscous liquid volume that flows through the screen mesh of some form, the Poiseuille's formula was used. The dependencies of vertical vibrations frequency on the effective shale shaker mesh size at different amplitudes, as well as the dependence of the minimum duration of the shale shaker operation that is necessary to separate the treated drilling mud from the solid phase, were obtained. Based on the study results, we can recommend the required geometrical parameters of the screen plate, as well as the amplitude and frequency of vertical and horizontal vibrations of the screen for various drilling mud parameters.

Key words: drilling mud treatment, shale shaker, solid phase removal, removal of drill cuttings, shale shaker operation mode, parameters of shale shaker screen plate

Вступ. Обладнання для очищення бурового розчину призначено для підтримання якості бурового розчину в межах параметрів, заданих технологічною документацією на спорудження свердловини. В процесі буріння свердловини промивальна рідина насичується частинками вибуреної породи, які змінюють її властивості. Частинки вибуреної породи, що поступають в промивальну рідину, шкідливо впливають на його основні технологічні властивості та на техніко-економічні показники буріння. Зміна реологічних параметрів рідини веде до погіршення якості спорудження свердловини, збільшення часу буріння та кількості використовуваних доліт. Регулювання параметрів промивального розчину здійснюється обладнанням для очищення: віброситами, сепараторами, гідроциклонами, центрифугами. При виборі даного

обладнання для уникнення додаткових витрат засобів і часу враховують конкретні геолого-технічні умови свердловини, що споруджується. Відповідно, кількість промивальної рідини, що виходить з свердловини, не повинна перевищувати пропускну здатність вібросит, що використовуються для його очищення від вибуреної породи. Пропускна здатність вібросита залежить від типу промивального розчину, який очищується, розмірів чарунок сітки та геометричних параметрів ситополотна, режиму руху віброрами, кута її нахилу та інших параметрів. Отже, вибір режимів роботи вібросита для конкретних умов спорудження свердловини залежатиме від багатьох факторів, які часто не беруть до уваги при виборі обладнання через відсутність систематизованих фахових рекомендацій з їх практичного застосування.



а – колова, б – незбалансовано-еліптична, в – збалансовано-еліптична, г – лінійна

Рисунок 1 – Види траєкторій руху віброрами існуючих вібросит

Аналіз сучасних закордонних та вітчизняних досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення проблеми. На даний час немає чітко визначеної методики вибору режимів роботи вібросит насосно-циркуляційних систем бурових установок, де б враховувались геометричні параметри ситових полотен, а також стан і параметри промивального розчину та вибуреної породи, що міститься в ньому. Тому є доцільним проводити пошуки шляхів для створення вище названої методики. Спочатку доцільно проаналізувати роботу існуючих моделей вібросит.

Так, для різних типів промивальних розчинів рекомендовано використовувати вібросита з різними траєкторіями руху віброрами (рис. 1). На теперішній час відомо три основних види траєкторії, яку описує кожна точка віброрами при русі: лінійна, колова та еліптична [1].

Зазвичай вібросита з коловою траєкторією руху віброрами (рис. 1, а) мають один вібратор, який розміщено в центрі мас. При цьому отримують рівномірні гармонійні коливання (колові) в усіх точках віброрами. Вони розвивають мінімальні гравітаційні сили, тому мають найбільшу транспортуючу (пропускну) та найнижчу осушувальну здатність. Відповідно, їх використовують для видалення шламу з промивального розчину при проходженні глинистих порід верхніх інтервалів, іноді їх використовують в якості попереднього очищувального пристрою при відділенні від промивального розчину крупних глинистих порід.

Вібросита з еліптичною траєкторією руху віброрами конструктивно можуть бути виконані трьох модифікацій:

1) незбалансовано-еліптичні коливання вібросита (рис. 1, б) – центр вібрації піднято над рамою та противаги на вібраторі використовуються для створення еліптичного руху, що змінюється за інтенсивністю та формою по довжині віброрами;

2) збалансовано-еліптичні коливання вібросита (рис. 1, в) можна отримати встановленням вібраторів по боках від віброрами, причому вони повинні обертатись в різних напрямках та бути нахиленими в двох площинах. Відомий також інший спосіб отримання таких коливань - запатентований компанією M-I SWACO [5]

(вібросито Mongoose PT), при якому використовуються три вібродвигуни. При цьому два вібратори задіяні, коли потрібно отримати лінійний тип коливань, а третій включається в роботу тоді, коли потрібно отримати збалансовано-еліптичний тип коливань віброрами;

3) вібросита, для яких характерний прогресивно-еліптичний тип коливань віброрами є найновішими з відомих засобів віброочищення. Інформації про засоби створення даного типу коливань та характер руху віброрами в доступних джерелах інформації немає, тому детально їх не розглядатимемо.

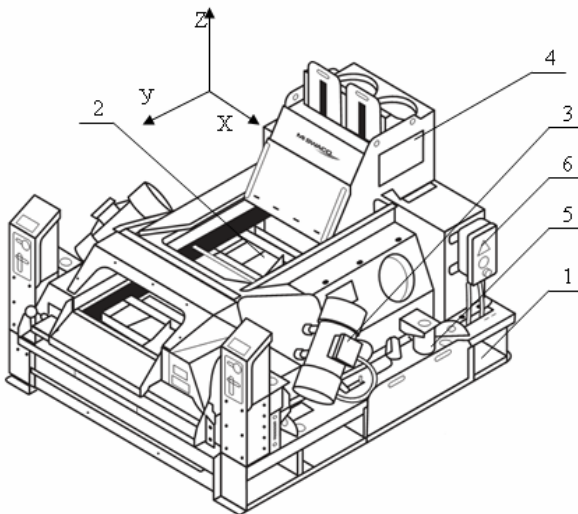
Вібросита з еліптичним рухом віброрами розвивають високі гравітаційні зусилля, проте володіють меншою транспортною здатністю. Їх рекомендують використовувати при роботі з обважненими буровими розчинами та в якості осушувальних сит для пульпи гідроциклонів.

Вібросито з лінійною траєкторією руху віброрами (рис. 1, г) комплектується двома вібраторами, які обертаються в протилежних напрямках на верху віброрами, при цьому вісь між двома вібродвигунами повинна проходити через центр ваги для отримання рівномірних гармонійних коливань у всіх точках віброрами (або два вібратори встановлюються по боках від віброрами та нахилені в одній площині) для створення сили, направленої вгору чи вниз у момент, коли противаги знаходяться у вертикальному положенні. Лінійні вібросита створюють більше за значенням гравітаційне зусилля та більшу транспортуючу здатність порівняно з віброситами з коловим рухом, проте нижчу, ніж розвивають вібросита, для яких характерний еліптичний рух віброрами.

Тип коливань, який використовується на віброситі, впливає на якість просіювання, швидкість транспортування (виносу) вибуреної породи, швидкість зносу (руйнування) ситового полотна та степінь деградації вибуреної породи на ситополотні (степінь «розбивання» шламу об сито внаслідок дії на нього переважання, створюваного гравітаційними силами). Дослідження бурової компанії АМОСО [2] свідчать про наявність як позитивного, так і негативного ефекту від застосування найпоширеніших типів коливань (лінійних і збалансовано-еліптичних). Вважають, що при лінійному типі коливань

пропускна здатність сита по промивальному розчину (просочування) та по шламу (швидкості виносу) – високі. При цьому збалансовано-еліптичні коливання дозволяють краще осушувати шлам, менше впливають на його розбивання на ситополотні та призводять до збільшення строку служби сітки (за деякими оцінками на 10-15%).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналізуючи типи руху віброрами вібросит, можна стверджувати, що всі відомі рухи віброрами надаватимуть частинкам вибуреної породи прискорення в площині YZ вздовж осі Y (рис. 2), тобто шлам транспортуватиметься вздовж ситополотна, незначно переміщуючись в горизонтальному напрямку (по осі X). Це призведе до того, що пляма контакту ситополотна з промивальною рідиною, що містить вибурену породу, буде меншою, ніж дозволяє площа самого сита (близько $2/3$ від неї). Внаслідок такого нерівномірного розподілення промивальної рідини на ситовому полотні спостерігається зношення сіток в місцях їх інтенсивного контакту, проте по боках сито майже не зношується.



1 – основа, 2 – сито, 3 – вібродвигун,
4 – завантажувальний бункер,
5 – амортизатор, 6 – пульт керування

Рисунок 2 – Вібросито зі збалансовано-еліптичним рухом віброрами та з осями координат

Надання ситовому полотну додаткових горизонтальних рухів дало б змогу краще розподілити промивальну рідину, що містить шлам, на ситовому полотні та досягти кращого розділення фракцій на меншій площі їх просіювання. Наявність горизонтальних рухів у роботі вібросита дасть змогу зменшити довжину ситополотна, скоротити час транспортування шламу та збільшити його продуктивність.

Постановка задачі та вибір методів дослідження. Відомо, що всі типи коливань можуть бути приведені до простих коливань – гармонічних. Теорема Фур'є твердить, що всі періодичні чи коливальні рухи з періодом T можна

виразити через складання простих з періодом $T, 1/2T, 1/3T, \dots$, причому скласти тільки одним способом (з визначеними амплітудами та фазами). Тобто будь-який коливальний рух з періодом T може бути розкладений на прості гармонічні, причому період основного коливання становить T .

Геометрично траєкторії руху точки, що здійснює одночасно два гармонічні коливальні рухи в двох взаємоперпендикулярних напрямках – це замкнені фігури Ліссажу (рисунок 3).

Вигляд фігури Ліссажу залежить від співвідношень між періодами, фазами та амплітудами обох коливань та дає змогу визначити ці співвідношення. Види траєкторій руху віброрами (і, відповідно, ситових полотен) існуючих вібросит, що наведені на рисунку 1, повністю відповідають всім фігурам зі співвідношеннями між періодами частот коливань 1:1. Тому дані траєкторії руху в даній статті не будуть досліджуватись. Основну увагу в процесі дослідження буде звернено на траєкторію руху ситового полотна згідно з фігурою Ліссажу при відношеннях частот коливань 1:2 та зсуві фаз, рівному $\pi/2$. Всі інші приклади фігур будуть розглядатись у подальших дослідженнях.

Основний матеріал дослідження. Отож, можемо вважати, що коливання вібросита у вертикальному і горизонтальному напрямках є близькими до гармонічних. Нехай у вертикальному напрямку коливання відбуваються згідно з рівнянням $y = A \cdot \cos \omega_1 \cdot t$, а у горизонтальному – $x = B \cdot \cos \omega_2 \cdot t + \varphi$. В такому випадку, якщо

зробити припущення, що $\omega_2 = 2 \cdot \omega_1$ і $\varphi = \frac{\pi}{2}$, то кожна точка ситового полотна вібросита буде описувати в просторі фігуру Ліссажу, зображену на рисунку 4.

Розрахуємо найбільш ефективне значення частоти вертикальних коливань вібросита $\omega_1 \cdot t$ залежно від параметрів промивальної рідини.

В просторі між твердими частинками, які дотикаються поверхні сітки вібросита, знаходиться промивальна рідина, яка стікає по каналах чарунк під дією прискорення при русі сітки вниз. Вважаючи ці канали циліндричними, радіус яких співпадає з ефективним радіусом чарунки сітки, скористаємось формулою Пуазеля для обчислення об'єму в'язкої рідини, що проходить за певний час t через циліндричний канал довжиною l і радіусом r :

$$V = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p \cdot t}{8 \cdot \eta \cdot l}, \quad (1)$$

де η – коефіцієнт динамічної в'язкості промивальної рідини,

Δp – різниця тисків на кінцях каналу. Ця різниця рівна гідростатичному тиску стовпа рідини, що рухається з прискоренням відносно сітки вібросита, і може бути наближено обчислена за формулою:

$$\Delta p = \rho \cdot \bar{a} \cdot l, \quad (2)$$

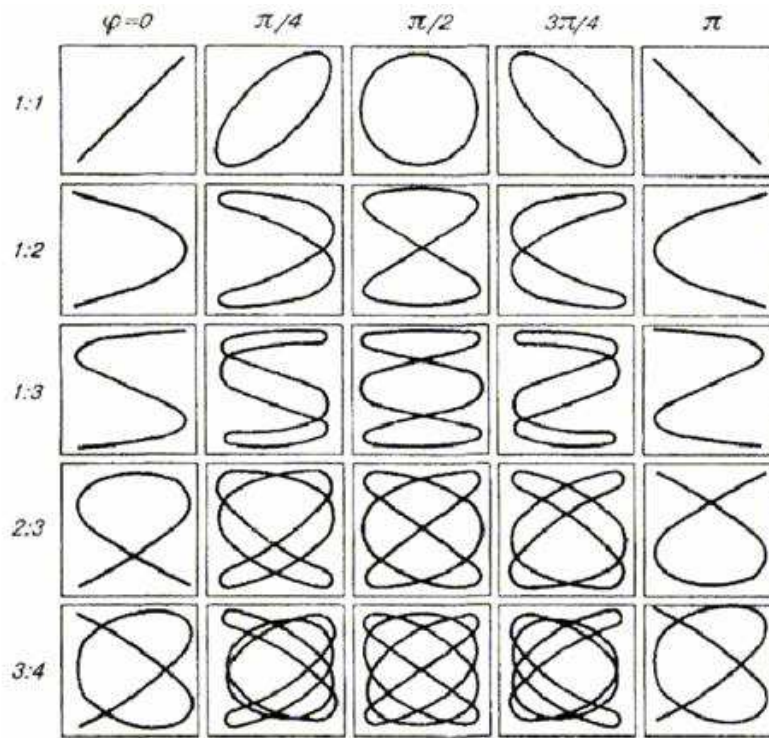


Рисунок 3 – Приклади різних фігур Ліссажу при різних відношеннях кратних частот коливань та різних зсувів фаз між ними

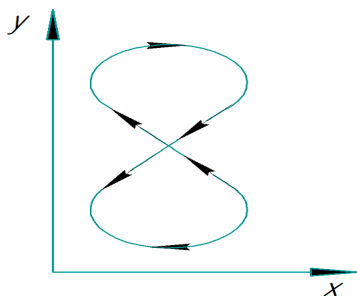


Рисунок 4 – Фігура Ліссажу

де ρ - густина промивальної рідини;

\bar{a} - середнє прискорення, яке зазнає стовп рідини в каналі відносно сітки вібросята при його русі вниз відносно рівноважного положення тривалістю, рівною $1/4$ періоду вертикальних коливань.

Середнє прискорення можна визначити наближено рівним:

$$\bar{a} = \frac{a_m}{2}, \quad (3)$$

де a_m - максимальне прискорення вертикального руху сітки вібросята в найвищому і найнижчому положеннях, яке рівне:

$$a_m = \omega_1^2 \cdot A, \quad (4)$$

Час витікання промивальної рідини через чарунку сітки вібросята в середньому приймемо рівним чверті періоду вертикальних коливань вібросята $t = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2 \cdot \omega_1}$.

Враховуючи вищесказане, на основі формул (1)-(4) визначається маса промивальної рідини, що витікає через чарунку сітки за час одного вертикального коливання вібросята:

$$m = \rho \cdot V = \frac{\pi^2 \cdot \rho^2 \cdot \omega_1 \cdot A}{32 \cdot \eta}. \quad (5)$$

Значення частоти вертикальних коливань буде ефективним за умови, коли в найнижчій точці вертикальних коливань сита відбувається відрив краплі, що витікла з чарунки сітки. В цей момент сила інерції $F_i = m \cdot a_m$ і сила тяжіння $m \cdot g$ зрівноважують силу поверхневого натягу $F_H = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma$ (рис. 5), тобто

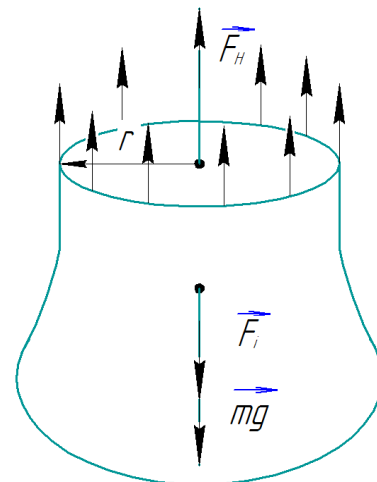


Рисунок 5 – Розрахункова схема дії сил в момент відриву краплі промивального розчину, який пройшов крізь чарунку сітки

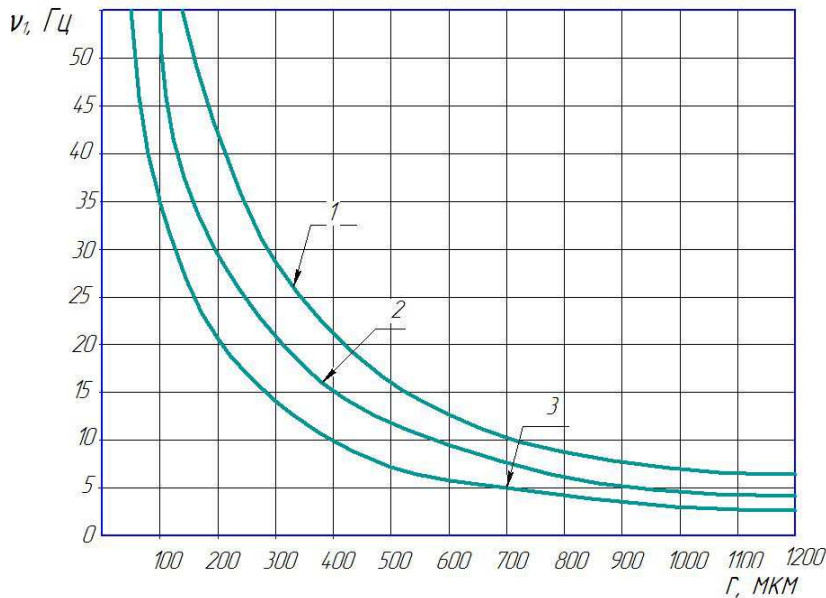


Рисунок 6 – Залежність частоти вертикальних коливань v_1 від ефективного радіуса чарунки сітки вібросита r при різних значеннях амплітуди ($A=0,01$ м – крива 1, $A=0,02$ м – крива 2, $A=0,04$ м – крива 3) і параметрах промивальної рідини $\rho = 1300$ кг/м³, $\eta = 0.02$

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma = m \cdot (a_m + g), \quad (6)$$

де σ - коефіцієнт поверхневого натягу промивної рідини;

$g = 9,8$ м/с² – прискорення вільного падіння.

Підставивши в рівняння (6) формули (4) і (5), буде отримане кубічне рівняння відносно ω_1 :

$$\omega_1^3 + \frac{g}{A} \cdot \omega_1 - \frac{64 \cdot \eta \cdot \sigma}{\pi \cdot \rho^2 \cdot A^2 \cdot r^3} = 0. \quad (7)$$

Згідно формули Кардано розв'язок цього рівняння має вигляд:

$$\omega_1 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \eta \cdot \sigma}{\pi \cdot \rho^2 \cdot A^2 \cdot r^3} + \sqrt{\left(\frac{32 \cdot \eta \cdot \sigma}{\pi \cdot \rho^2 \cdot A^2 \cdot r^3}\right)^2 + \frac{g^3}{27 \cdot A^3}}} + \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \eta \cdot \sigma}{\pi \cdot \rho^2 \cdot A^2 \cdot r^3} - \sqrt{\frac{32 \cdot \eta \cdot \sigma}{\pi \cdot \rho^2 \cdot A^2 \cdot r^3} + \frac{g^3}{27 \cdot A^3}}}. \quad (8)$$

Формула (8) дає можливість дослідити залежність найбільш ефективного забезпечення частоти вертикальних коливань $v_1 = \omega_1 / 2\pi$ від ефективного радіуса чарунки r сітки вібросита при різних значеннях амплітуди вертикальних коливань. Ця залежність представлена на рисунку 6.

Як видно з рисунка 6, залежність раціональної частоти вертикальних коливань вібросита від ефективного радіуса чарунки сітки близька до обернено-пропорційної. Із зниженням ефективного радіуса чарунки сітки раціональне значення частоти різко зростає, а збільшення амплітуди вертикальних коливань дає змогу зменшити раціональне значення частоти вертикальних коливань для заданого ефективного радіуса чарунки сітки. Таким чином, представлена залежність дозволяє підібрати найбільш раціона-

льні значення частоти v_1 і амплітуди A вертикальних коливань вібросита, при яких продуктивність буде максимальною: $A = 0,01$ м⁻¹.

Для оцінки мінімальної тривалості роботи вібросита в заданому режимі, яка необхідна для повного витікання промивальної рідини з шару суміші промивальної рідини і твердих частинок товщиною h , необхідно, щоб об'єм промивальної рідини, який знаходиться в каналі висотою h і ефективним радіусом r і рівний $V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot h$ витік через чарунку сітки. Для цього віброситу необхідно здійснити $N = V_1 / V$ (де V визначається за формулою (5)) коливань. Тоді мінімальна тривалість роботи вібросита буде рівна

$$T = \frac{N}{V_1} = \frac{16 \cdot h \cdot \eta}{\pi^2 \cdot r^2 \cdot v_1^2 \cdot A \cdot \rho}, \quad (9)$$

В формулі (9) необхідно враховувати залежність частоти вертикальних коливань вібросита v_1 від ефективного радіуса чарунок сітки r згідно виразу (8). Залежність мінімальної тривалості роботи вібросита t від радіуса чарунок сітки r при різних значеннях амплітуди вертикальних коливань вібросита A представлено на рисунку 7. Як видно з рисунка, у всьому інтервалі значень r , який відповідає всьому спектру розмірів твердих частинок у промивальному розчині мінімальна тривалість роботи вібросита повільно зростає з ростом r і тим більша, чим більша амплітуда вертикальних коливань A .

Кут нахилу сітки вібросита до горизонту експериментально можна підібрати так, щоб промивальний розчин під дією складової сили тяжіння на площину сітки сповзав по сітці, рухаючись рівномірно. Тоді коефіцієнт тертя між промивальним розчином і сіткою буде рівний тангенсу кута нахилу площини сітки до горизонту:

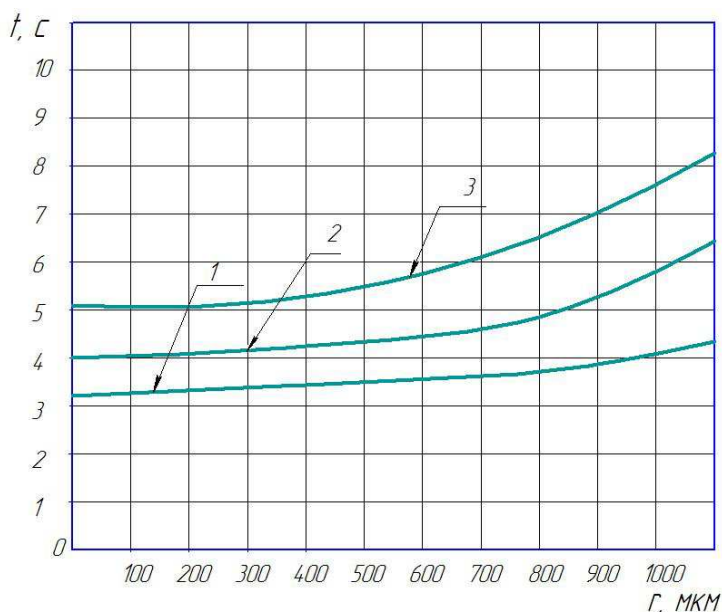


Рисунок 7 – Залежність мінімальної тривалості роботи вібростата t , що необхідна для витікання промивальної рідини від твердої фази через сітку, від радіуса чарунки сітки вібростата r для різних значень амплітуди вертикальних коливань ($A=0,01$ м – крива 1, $A=0,02$ м – крива 2, $A=0,04$ м – крива 3)

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha . \quad (10)$$

До тих пір, поки промивальна рідина насичена вибуреною породою, тертя буде внутрішнім – між шарами рідини – і коефіцієнт μ буде тим більший, чим більша швидкість ковзання промивальної рідини по сітці вібростата. Це, з одного боку, призводить до того, що рух промивальної рідини буде рівномірним в достатньо великому діапазоні значень кута нахилу площини сітки до горизонту і з швидкостями тим більшими, чим більший цей кут, а, з іншого боку, накладає обмеження на довжину сітки вібростата, оскільки, як тільки промивальна рідина витече з суміші, тертя стане переважно сухим і коефіцієнт μ значно зростає, що може призвести до зупинки руху промивальної рідини і нагромадження вибуреної породи на сітці. Довжину сітки сита можна розрахувати, помноживши швидкість сповзання промивального розчину, що містить вибурену породу, по сітці під час витікання з неї рідкої фази.

В даному випадку вага промивального розчину, що містить вибурену породу, у верхній точці вертикальних коливань може бути близькою, але не рівною нульовому значенню. Це накладає умову $a_m \leq g$. А в кожній точці коливань відцентрова сила, що виникає в результаті горизонтальних коливань, повинна перевищувати силу тертя між промивальним розчином, що містить вибурену породу, і сіткою вібростата. Це призводить до умови $(g + A \cdot \omega_1^2) \cdot \sin \alpha < B \cdot \omega_2^2$. Враховуючи те, що $\omega_2 = 2 \cdot \omega_1$ та $a_m = \omega_1^2 \cdot A$, буде отримано умови, які накладаються на амплітуди вертикальних і горизонтальних коливань:

$$A \leq \frac{g}{\omega_1^2} ; B \geq \frac{g \cdot \sin \alpha}{\omega_1^2} . \quad (10)$$

Висновки. На основі отриманих результатів можна відмітити, що наявність горизонтальних коливань дозволяє значно підсилити інтенсивність очищення промивальної рідини від твердої фракції з двох причин: струшування розчину при кожному горизонтальному коливанні, особливо в найнижчій точці вертикальних коливань сітки вібростата; збільшення шляху, який проходить елементарний об'єм промивального розчину, що містить вибурену породу, по сітці вібростата. Крім цього, отримаємо можливість визначення необхідних геометричних параметрів сіткового полотна вібростата, а також амплітуду і частоту вертикальних та горизонтальних коливань сітки для різноманітних параметрів промивальних розчинів вибуреної породи. Для отримання додаткової інформації доцільно у майбутньому дослідити і порівняти отримані результати для траєкторій руху стосовно інших фігур Ліссажу. Це дасть змогу прискорити розроблення рекомендацій та методики вибору необхідних параметрів і режимів роботи вібростатів.

Література

- 1 Басарыгин Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учеб. для вузов / Ю.М. Басарыгин, А.И. Булатов, Ю.М. Проселков. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001.
- 2 Recommended Practice on Drilling Fluids Processing Systems Evaluation. API RP13C, 4rd Edition, 2004.

3 Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981. – 509 с.

4 Мислюк М.А. Буріння свердловин. У 5 т. Том 2: Промивання свердловин. Відробка доліт. / М. А. Мислюк, І. Й. Рибчич, Р.С. Яремійчук. – К. : Інтерпрес ЛТД, 2000. – 608 с.

5 <http://www.slb.com>.

6 Вибрации в технике. Справочник в 6 т./ Т.2. Колебания нелинейных механических систем / Под ред. И.И. Блехмана. – М.: Машиностроение, 1979. – 351 с.

7 Вибрации в технике. Справочник в 6 т./ Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.

8 Инструкция по технологии очистки буровых растворов виброситом ВС-1. РД 39-2-443-80 / И.Н. Бартко, Ю.М. Проселков, И.Н. Резниченко. – Краснодар: ВНИИКРнефть, 1980. – 28 с.

9 Добик А.А., Кичкарь И.Ю., Мищенко А.В. Математическая модель движения рамы вибросита // Импортозамещающие технические средства и материалы: Сб. научн. тр. ОАО НПО “Бурение“. – 2003. – Вып. 9. – С. 104–112.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
02.12.15*

*Рекомендована до друку
професором **Копеєм Б.В.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук **Тарабарінович П.В.**
(НДПІ ПАТ «Укрнафта»,
м. Івано-Франківськ)*