УДК 622.24.053:66.067.5

Войта М.О., здобувач, 185А-23-5, АСП
Науковий керівник: Пащенко О.А, к.т.н., доцент кафедри НГІБ
(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА ФАКТОРИ ЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ ОЧИЩЕННЯ БУРОВОГО РОЗЧИНУ

Бурові вібросита є ключовим елементом систем очищення бурового розчину в процесі буріння нафтових і газових свердловин. Ці пристрої призначені для механічного відділення твердої фази (вибуреного шламу) від рідкої фази (бурового розчину), що забезпечує повторне використання розчину, знижує витрати на його приготування та мінімізує екологічні ризики. Принцип роботи базується на вібраційному русі сітчастих поверхонь, які пропускають рідину, утримуючи частинки шламу більші за розмір осередків сітки. Історично вібросита еволюціонували від простих механічних сит до високотехнологічних систем з багатошаровими сітками та автоматизованим керуванням [1].

Вібросито складається з корпусу, вібраційного механізму, сітчастих касет і системи збору очищеного розчину. Вібрація створюється ексцентриковими валами або лінійними електродвигунами, що генерують коливальні рухи в горизонтальній або еліптичній площині. Частота вібрації типово коливається в діапазоні 1000–3000 об/хв, а амплітуда – 3–6 мм. Буровий розчин подається на верхню частину сітки під кутом, що сприяє стратифікації: дрібні частинки проходять крізь осередки, тоді як більші скочуються до краю і скидаються [2].

Ефективність сепарації описується рівнянням масового балансу:

$$m_{\text{вх}} = m_{\text{р}} + m_{\text{ш}}, \quad (1)$$

де $m_{\text{вх}}$– маса вхідного потоку, $m_{\text{р}}$– маса очищеного розчину, $m_{\text{ш}}$– маса відокремленого шламу. Коефіцієнт сепарації ηвизначається як:

$$\eta = \frac{m_{\text{ш}}}{m_{\text{ш}} + m_{\text{тв}}} \times 100\%, \quad (2)$$

де $m_{\text{тв}}$– маса твердих частинок, що залишилися в розчині. Експериментальні дані показують, що при розмірі осередків сітки 100–200 мкм ηдосягає 85–95% для частинок >150 мкм.

Сучасні бурові вібросита, такі як моделі Derrick HyperPool або M-I SWACO Mongoose, мають модульну конструкцію з 3–5 касетами сіток. Сітки виготовляються з нержавіючої сталі або композитних матеріалів, з осередками від 50 до 500 мкм. Багатошарова структура (наприклад, 2–3 шари) підвищує пропускну здатність і стійкість до зносу. Вібраційний механізм часто включає два контробертові двигуни для створення лінійної траєкторії, що зменшує "сліпі зони" на сітці [3].

Гідравлічна система забезпечує рівномірний розподіл потоку, а пневматичні або гідравлічні натягувачі сіток підтримують оптимальне натягнення (до 6–8 кН/м). Корпус виготовлений з корозійностійких сплавів для роботи в агресивних середовищах з pH 7–12 і температурою до 80°C [4].

Ефективність вібросит залежить від реологічних властивостей бурового розчину: в'язкості μ, щільності ρ та вмісту твердих частинок. Згідно з моделлю Стокса, швидкість осідання частинок v пропорційна:

$$v = \frac{d^2(\rho_p - \rho_f)g}{18\mu} \quad (3)$$

де d – діаметр частинки, ρ_p і ρ_f – щільності частинки та флюїду, g – прискорення вільного падіння. Висока в'язкість (>50 сП) знижує сепарацію дрібних частинок.

Інші фактори: кут нахилу сітки (5–10°), інтенсивність вібрації (прискорення до 7g) та швидкість подачі розчину (до 50 л/с на касету). Дослідження API RP 13C демонструють, що при перевищенні оптимальної навантаження на 20% ефективність падає на 15–25% через утворення "мулу" [5].

У процесі буріння вібросита інтегруються в циркуляційну систему після шламових насосів. Вони видаляють 70–90% вибуреного шламу об'ємом до 100 м³/год. У горизонтальному бурінні (ERD) застосовують каскадні системи з послідовними віброситами та центрифугами для тонкого очищення [6]. Екологічний аспект: зменшення об'єму відходів на 30–50%, що відповідає нормам ISO 14001.

Польові тести показали, що використання пірамідальних сіток підвищує пропускну здатність на 40% порівняно з плоскими.

Останні інновації включають інтелектуальні системи моніторингу з сенсорами вібрації та AI-алгоритмами для автоматичного регулювання параметрів. Компанія NOV пропонує вібросита з ультразвуковим очищенням сіток, що запобігає закупорці. Перспективи: інтеграція з нанофільтрами для видалення частинок <10 мкм та використання біорозкладних розчинів.

Експерименти з CFD-моделюванням (ANSYS Fluent) прогнозують оптимізацію траєкторії вібрації для підвищення η до 98%.

Бурові вібросита залишаються невід'ємною частиною технології буріння, забезпечуючи ефективне очищення розчину та економію ресурсів. Подальший прогрес у матеріалах і автоматизації дозволить адаптувати їх до складних геологічних умов, таких як глибоководне буріння.

Список використаних джерел:

1. Wang, P. Q., Bai, Y., Peng, G., & Qian, Z. W. (2012). Drilling Fluid Development and Performance Evaluation of Deep and Ultra-Deep High-Density Saturated Brine. Advanced Materials Research, 524–527, 1382–1388. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.524-527.1382

2. Cartellieri, A., Schapotschnikow, P., Weinzierl, W., Denninger, J., & Adams, A. (2023). Acquiring Accurate Real-Time Formation Fluid Properties to Provide In-Situ Fluid Analysis While Drilling. In SPE Offshore Europe Conference & Exhibition. SPE Offshore Europe Conference & Exhibition. SPE. https://doi.org/10.2118/215520-ms

3. Holt, C., & Ruel, F. (2022). Using AI Cuttings Load Classification to Assess Hole Cleaning and Wellbore Stability. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE. https://doi.org/10.2118/210369-ms

4. Holt, C., & Ruel, F. (2022). Using AI Cuttings Load Classification to Assess Hole Cleaning and Wellbore Stability. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE. https://doi.org/10.2118/210369-ms

5. Svendsen, K. E., Kristiansen, T. G., Martin, J., Askø, A., Bjørlo, J., Khosravanian, R., Holt, C., & Ruel, F. (2025). Automated Computer Vision System for Real-Time Detection of Drilled Cuttings and Cavings. In SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition. SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition. SPE. https://doi.org/10.2118/223785-ms

6. Qiu, H., Feng, Y., Liu, C., Li, X., Fan, S., Li, S., & Sun, T. (2022). Investigation of in-phase vibration control technology for large multi-shaker test facility. Vibroengineering Procedia, 42, 33–38. https://doi.org/10.21595/vp.2022.22486