

7. U.S. Energy Information Administration. (2018). *Hydraulic Fracturing Cost Breakdown Report*. EIA.

8. American Petroleum Institute. (2019). *API RP 100-1. Hydraulic Fracturing Operations – Well Construction and Integrity Guidelines*. API Publishing Services.

УДК 622.243.8

ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРУ ВІДМОВ МАСЛОНАПОВНЕНИХ ТА ВІДКРИТИХ ОПОР ГВИНТОВИХ ВИБІЙНИХ ДВИГУНІВ (ГВД)

Б.І. Назаренко, аспірант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Гвинтові вибійні двигуни (ГВД) є ключовим інструментом похило-спрямованого та горизонтального буріння. Їхня ефективність і надійність критично залежать від вузла опор, який сприймає осьові та радіальні навантаження. Зростання складності профілів свердловин та жорсткості режимів буріння вимагає глибокого розуміння відмінностей у надійності між традиційними відкритими (промивними) та сучасними маслонаповненими (герметизованими) опорами [1]. Метою роботи є порівняльний аналіз домінуючих механізмів відмов та оцінка потенціалу застосування маслонаповнених конструкцій в умовах високих механічних та термічних навантажень українських родовищ.

У конструкції відкритої опори елементи підшипників змащуються та охолоджуються безпосередньо промивною рідиною. При експлуатації ГВД такого типу, ключовим фактором що визначає їхній ресурс, стає безпосередня взаємодія трибоспрямижень з буровим розчином. Специфіка роботи таких підшипників у глибоких свердловинах (зокрема в умовах Дніпровсько-Донецької западини) полягає в тому, що вони повинні сприймати екстремальні осьові навантаження в діапазоні 150–200 кН.

При такій силі в точках контакту тіл кочення виникають контактні напруження за Герцом, що сягають 2000–2500 МПа. У чистому середовищі метал здатний витримувати такі навантаження тривалий час, однак наявність твердої фази у промивній рідині кардинально змінює фізику процесу.

Механізм руйнування описується через різке зростання коефіцієнта інтенсивності зношування k у рівнянні Арчарда. Якщо для чистої рідини цей показник становить близько 10^{-6} , то при насиченні розчину кварцовим піском або шламом до рівня 1–3% (типовий показник при недостатньому очищенні), коефіцієнт k зростає на два порядки — до $5 \cdot 10^{-4}$ і вище.[1]

Абразивні частинки, потрапляючи в зону надвисокого тиску, не просто дряпають поверхню — вони викликають втомне викришування та мікрорізання загартованого шару металу. Процес посилюється гідродинамічним впливом: при витратах промивальної рідини 30–60 л/с швидкість потоку в зазорах підшипника становить 20–40 м/с, що створює ефект піскоструминної ерозії, особливо на сепараторах та бігових доріжках.

Таким чином, розрахункова швидкість зносу відкритої опори стає лінійно залежною від концентрації абразиву: збільшення вмісту піску в розчині на кожні 0.5% призводить до скорочення залишкового ресурсу опори приблизно на 20–25 годин. Саме ця кореляція пояснює низьке середнє напрацювання на відмову (МТТФ) відкритих систем на рівні 100–120 годин у складних геологічних умовах, адже навіть короткочасне погіршення роботи системи очистки бурового розчину призводить до незворотних змін у геометрії підшипника.

Маслонаповнені (герметизовані) опори

У маслонаповнених опорах підшипниковий вузол повністю ізолюваний від промивної рідини за допомогою герметичних ущільнювальних елементів. Робоча область підшипника

заповнена спеціальним термостійким мастилом, яке створює стабільну мастильну плівку та знижує коефіцієнт тертя приблизно до

$$\mu \approx 0.02 - 0.04$$

що в декілька разів менше, ніж у відкритих системах, що контактують із буровим розчином. Завдяки відсутності абразивних частинок у робочій зоні істотно знижується ризик мікрорізання, викришування поверхневого шару та прискореного втрати геометрії тіл кочення.

Основною причиною виходу з ладу маслonaповнених опор залишається руйнування системи герметизації. Пошкодження манжет або лабіринтових ущільнень призводить до витоку мастила та миттєвого проникнення бурового розчину в підшипник. Зміна в'язкості робочого середовища на порядок, а також поява твердих частинок різко збільшує локальні контактні напруження (до 2000–2500 МПа), що запускає прискорене втомне руйнування.

Другим критичним фактором є термічне старіння мастила. Мастильні матеріали, що застосовуються в опорах, зберігають стабільність до температур 140–180°C. Після перевищення цього діапазону спостерігається падіння в'язкості на 40–60%, втрата несучої здатності та формування ділянок сухого тертя. У таких умовах руйнування контактних поверхонь може відбутися упродовж кількох годин, навіть при номінальних навантаженнях.[2]

Відтак, маслonaповнені опори забезпечують суттєво довший ресурс у порівнянні з відкритими системами завдяки відсутності прямого контакту з абразивним та хімічно активним буровим розчином. Проте їх надійність визначається, перш за все, довговічністю ущільнень і термостійкістю мастила. Поєднання підвищених температур, високих обертів та механічних коливань створює умови, у яких навіть часткове руйнування системи герметизації призводить до швидкого виходу опори з ладу. Таким чином, підвищення ефективності герметизації та покращення термостабільності мастил залишаються ключовими напрямками вдосконалення конструкції опор у високонавантажених гвинтових вибійних двигунах.

Література:

1. Zhao, X., Zhang, Y., & Gao, S. (2024). Evaluation and analysis of abrasive wear resistance of hybrid roller bearings under lubricant contamination. *Wear*, 558–559, 205570. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205570>

2. Pateriya, A., Mittal, N. D., & Pradhan, M. K. (2021). Investigations of wear in journal bearings due to lubricant contamination. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 12(9).

УДК 528.482.4:004.925

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД НА ОСНОВІ ДАНИХ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Нестеренко С.В., PhD, доцент

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
ab.Nesterenko_SV@nuppu.edu.ua

Актуальність визначення деформацій інженерних споруд, зокрема вертикальних, зумовлена необхідністю забезпечення їхньої конструктивної стійкості та безпечної експлуатації. Навіть незначні вертикальні зміщення можуть спричинити деформацію несучих елементів і, як наслідок, призвести до часткової або повної втрати експлуатаційної придатності споруди. Систематичний контроль зміщень дає змогу своєчасно виявляти потенційно небезпечні процеси на ранніх етапах, запобігати аваріям та мінімізувати витрати на ремонт.

Вертикальні деформації інженерних споруд визначаються на основі даних геодезичного моніторингу. Вибір технології спостережень залежить від умов їх проведення