

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра буріння та геології
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 184 Гірництво

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
Харченко М.О.

«___» _____ 2023 року

Завідувач кафедри буріння та геології
Винников Ю.Л.

«___» _____ 2023 року

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Особливості роторно-керованих систем буріння в різних гірничо-геологічних умовах з обґрунтуванням технології закінчення свердловини

Пояснювальна записка

Керівник

д.т.н., проф., завідувач кафедри
буріння та геології

Винников Ю.Л.

посада, наук. ступінь, ПІБ.

Виконавець роботи

Бажан Микола Володимирович

студент група 601МГР

студент, ПІБ

підпис, дата

підпис, дата

Консультант за 1 розділом

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 2 розділом

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 3 розділом

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Дата захисту _____

Полтава, 2023

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| АНОТАЦІЯ | 8 |
| ВСТУП..... | 9 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОХИЛО-СКЕРОВАНОГО БУРІННЯ..... | 12 |
| 1.1. Новітні підходи похило-скерованого буріння..... | 12 |
| 1.2. Телеметричні системи при похило-скерованому бурінні..... | 15 |
| 1.3. Вибійні двигунів при похило-скерованому бірінні..... | 18 |
| 1.4. Аналіз практики застосування вибійних двигунів | 22 |
| 1.5. Роторні керовані системи (RSS-системи)..... | 28 |
| 1.6. Висновки до розділу 1. Мета та задачі досліджень..... | 30 |
| РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНО- КЕРОВАНИХ СИСТЕМ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ЗАКІНЧЕННІ СВЕРДЛОВИНИ | 32 |
| 2.2. Досвід буріння з використанням роторно-керованих систем | 34 |
| 2.3. Аналіз найпопулярніших моделей роторно-керованих систем | 37 |
| 2.4. Сучасні досягнення інтеграції інтелектуальних систем в управління роторно-керованою системою | 43 |
| 2.5. Переваги та недоліки застосування роторно-керованих систем при похило-скерованому бурінні | 46 |
| 2.6. Висновки до розділу 2 | 49 |
| РОЗДІЛ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВИБІЙНОГО ДВИГУНА І РОТОРНО КЕРОВАНИМИ СИСТЕМАМИ RSS..... | 66 |
| 3.1. Порівняльний аналіз застосування ГВД та роторно-керованих систем .. | 66 |

| | |
|---|----|
| 3.2. Економічне порівняння застосування ГВД та роторно-керованих систем . | 69 |
| Розглянуто похило-скеровану свердловину з траєкторією типу S і цільовою глибиною 4750 м. | 69 |
| 3.3. Висновки до розділу 3 | 69 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 70 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 71 |

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі на тему «Особливості роторно-керованих систем буріння в різних гірничо-геологічних умовах з обґрунтуванням технології закінчення свердловин» в першому розділі проведено аналіз новітніх методів похило-скерованого буріння. Розглянуто яке технічне обладнання використовується для реалізація якісного проведення похило-спрямованих свердловин: ГВД, телесистеми та RSS. У другому розділі розглянуто досвід похило-скерованого буріння за допомогою RSS систем. Також проаналізовано їх найсучасніші моделі та визначено переваги та недоліки . У третьому розділі виконано порівняльний аналіз RSS систем та ГВД.

ANOTATION

In this qualification work on the topic "Features of rotary drilling systems in various mining and geological conditions with justification of well completion technology", the first section analyzes the latest methods of directional drilling. The technical equipment used to realize high-quality directional drilling is considered: GVD, tele-systems and RSS. The second section discusses the experience of directional drilling with RSS systems. It also analyzes their most modern models and identifies advantages and disadvantages. In the third section, a comparative analysis of RSS systems and DTH is performed.

ВСТУП

Актуальність теми. Досить значна кількість нафтогазових покладів розміщено у важкодоступних місцях. Рельєф місцевості, техногенні перешкоди, природоохоронні вимоги до відведення земельних ділянок вимагають використання сучасних методів буріння на поклади, недосяжні вертикальними свердловинами. Одним з таких методів є похило-скероване буріння, що дозволяє досягти запроєктованої точки входу в продуктивний пласт із віддаленого майданчика, на якому можна змонтувати буровий верстат, пробурити свердловину, обв'язати і ввести її в експлуатацію. Також розкриття покладів похило-скерованим та горизонтальним стовбуром дає змогу по-перше наростити вилучення вуглеводнів завдяки збільшенню контакту «свердловина–продуктивний пласт», по-друге ефективно розробляти нетрадиційні колектори, видобувати нафту з високоцільних пластів. Тому на сьогодні один з найбільш актуальних сервісів, що користується великим попитом в області буріння нафтових і газових свердловин – це похило-скероване буріння, буріння бічних стовбурів та свердловин з горизонтальним закінченням. Але реалізація похило-скерованого буріння є доволі складним технологічним завданням, яке ставить перед буровим обладнанням нові завдання. Такі як полегшення ковзання, зміна кута стовбура свердловини, покращення очищення стовбура свердловини, зниження ризиків диференціального залипання, прихвату, подолання опору під час горизонтального буріння тощо.

Більшість нафтосервісних компаній України виконують похило-скероване буріння за рахунок вибійних двигунів з використанням сучасних телесистем. Однак при застосуванні цієї технології буріння виникає ряд недоліків, таких як неможливість досягти рівномірного вигину стовбура, низька швидкість проходки, ризик прихватів тощо. Сучасним технологічним рішенням є роторно-керовані системи, що представляють собою нове покоління свердловинних систем, що використовуються при направленому бурінні.

Тому визначення особливостей застосування роторно-керованих систем буріння в різних гірничо-геологічних умовах з обґрунтуванням технології закінчення свердловин на родовища України є актуальною задачею в розвитку буріння.

Мета досліджень. Удосконалення технології похило-скерованого буріння роторно-керованими системами в різних гірничо-геологічних умовах з обґрунтуванням технології закінчення свердловин.

Задачі досліджень:

- оцінити доцільність застосування роторно-керованих систем при похило-скерованому буріння;
- проаналізувати досвід застосування роторно-керованих систем при похило-скерованому бурінні;
- розглянути сучасні роторно-керовані систем, їх класифікацію та модифікацію;
- розглянути найсучасніші моделі які застосовують штучний інтелект;
- визначити переваги та недоліки застосування роторно-керованих систем;
- виконати аналізу практичного застосування роторно-керованих систем для спорудження нафтових і газових свердловин у порівнянні з гвинтовими вибійними двигунами.

Об'єктом дослідження є технології похило-скерованого буріння роторно-керованими системами в різних гірничо-геологічних умовах з обґрунтуванням технології закінчення свердловин

Предмет дослідження – детальний аналіз та вивчення технічних характеристик та функціональності роторно-керованих систем, методів їх застосування у різних гірничо-геологічних умовах, а також стратегії та технічні підходи до закінчення свердловин, використовуючи ці системи.

Методи дослідження: методи підземної гідрогазодинаміки; аналіз інформаційних джерел; синтез; абстрагування; узагальнення; пояснення; класифікація; моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

- економічно підтверджено та обґрунтовано доцільність застосування роторно-керованих систем при горизонтальному закінченні.

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані автором у процесі досліджень результати можуть бути використані для впровадження ефективніших та економічно вигідних технік буріння з використанням роторно-керованих систем, які можуть привести до зниження загальних витрат на освоєння родовищ.

Структура і обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Вона викладена на 63 сторінках, у тому числі 18 рисунків, 3 таблиці, 5 сторінок списку використаних джерел (43 найменувань).

Перший розділ присвячений вивченню новітніх методів похило-скерованого буріння. Розглянуто яке технічне обладнання використовується для реалізація якісного проведення похило-спрямованих свердловин: ГВД, телесистеми та RSS.

У другому розділі розглянуто досвід похило-скерованого буріння за допомогою RSS систем. Також проаналізовано їх найсучасніші моделі та визначено переваги та недоліки .

У третьому розділі виконано порівняльний аналіз RSS систем та ГВД.

Загальні висновки відображають головні результати, що отримано в роботі.

Магістерська робота виконана у Навчально-науковому інституті нафти і газу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» в 2023 році під керівництвом д.т.н., проф., зав. кафедри буріння та геології Винников Юрій Леонідович.

Автор висловлює щире подяку науковому керівнику д.т.н., проф., зав. кафедри буріння та геології Винникову Юрію Леонідовичу за допомогу при виконанні магістерської роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволили вирішити важливу задачу по обґрунтуванню раціонального застосування роторно керованих систем.

Роторно-керовані системи широко застосовують у світовій практиці похило-скерованого буріння свердловин з горизонтальним закінченням. Дані системи показують високу швидкості буріння, відмінну точність розміщенні стовбура свердловини запроектованим даним, відсутність застрягань, ковзання, якісне очищення стовбура горизонтальних свердловин великої протяжності в порівнянні з ГВД.

Роторні керовані системи доцільно застосовувати: при проведенні свердловини у тісних або вузьких пластах, де потрібне точне управління напрямком; при бурінні ERD свердловини, похило-скерованих інтервалів стовбура свердловини та свердловин з горизонтальним закінченням великої протяжності, де ковзне буріння спричиняє високу еквіваленту щільність циркуляції та проблеми зі стабільністю стовбура.

Але незважаючи на переваги використання роторно-керованих систем RSS в Україні все ще широко застосовують ГВД при похило-скерованому та горизонтальному бурінні.

При виборі технології роторно-керованих систем необхідно враховувати їх високу вартість, обмежений вибір розмірів і типів доліт, потребу застосування бурових установок з великою потужності, щоб забезпечити роботу поворотного керованого механізму.

В роботі проведено аналіз продуктивності роторно керованої системи та ГВД на основі наступних параметрів: швидкість проходки, загальна вартість буріння, якість свердловини. Даний аналіз показав, що при застосуванні RSS швидкість проходки збільшується в 4 рази, загальні витрати на використання RSS є меншими за ГВД. Це дає можливість заощадити близько 14 млн. грн. Якість стовбура свердловини краща, зменшується ймовірність ускладнень при закінченні свердловини горизонтальним стовбуром.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Advanced data-driven model for drilling bit position and direction determination during well deepening / Koryabkin V, Semenikhin A, Baybolov T, Gruzdev A, Simonov Y, Chebuniaev I, et al.// In: Proceedings of the SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition; 2019 Oct 29-31; Bali, Indonesia. Richardson: OnePetro; 2019
2. A Novel Automated Model for Evaluation of the Efficiency of Hole Cleaning Conditions during Drilling Operations / Mohammed Al-Rubaii, Mohammed Al-Shargabi, Dhafer Al-Shehri// Appl. Sci. 2023, 13. <https://doi.org/10.3390/app13116464>
3. Automation of directional drilling system with remote supervisory control allows mile-a-day wells to be achieved in Appalachian Basin. article is based on a presentation at IADC World Drilling 2018, in Copenhagen, Denmark. <https://drillingcontractor.org/automation-of-directional-drilling-system-with-remote-supervisory-control-allows-mile-a-day-wells-to-be-achieved-in-appalachian-basin-48345>
4. Banna AL, Taher A, Kaiser MS, Rahman Cho GH. Application of Artificial Intelligence in Predicting Earthquakes: State-of-the-Art and Future Challenges. 2021
5. Biswas, K., Vasant, P.M., Vintaned, J.A.G. et al. A Review of Metaheuristic Algorithms for Optimizing 3D Well-Path Designs. Arch Computat Methods Eng 28, 1775–1793 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09441-1>
6. Bryant T. An operational comparison of push-the-bit rotary tearable tools APS Technology, Inc. – 2019 https://www.aps-tech.com/site/assets/files/1/aps_rss-white-paper.pdf
7. Drilling Engineering. Towards Achieving Total Sustainability Sustainable Oil and Gas Development Series. – 2021, Pages 317-382
8. Hitting the Bullseye: The Evolution of RSS and LWD Technology in Horizontal Wells / Julio Loreto, Brad Zukiwsky, Aly Bassiouny, Onochie Michael

Okorie // Topics Journal of Petroleum Technology – 2022. <https://jpt.spe.org/hitting-the-bullseye-the-evolution-of-rss-and-lwd-technology-in-horizontal-wells>

9. Hazbeh O, Aghdam SK, Ghorbani H, et al. Comparison of accuracy and computational performance between the machine learning algorithms for rate of penetration in directional drilling well. Petroleum Research. 2021;6(3):271-282

10. Hohl, A. et al. (2017) ‘Characterization and mitigation of mud motor vibrations’, SPE/IADC Drilling Conference, Proceedings, 2017-March(March), pp. 1594–1611. doi: 10.2118/184711-ms.

11. Hossein Yavari, Jafar Qajar, Bernt Sigve Aadnoy, Rasool Khosravian Selection of Optimal Well Trajectory Using Multi-Objective Genetic Algorithm and TOPSIS Method. – Topsis Arabian Journal for Science and Engineering. – 2023 <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08149-1>

12. Ismakov, R.A., Zakirov, N.N., Al’-Sukhili, M.Kh., Toropov, E.S. (2015). Issledovanie raboty pary “elastomer – metall” silovoy seksii vintovogo zaboynogo dvigatelya. Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya, (2-3), 1-8

13. Li Gang Zhang, G.R. Liu, Wei Li, Shi Bin Li Analysis and optimization of control algorithms for RSSTSP for horizontal well drilling. – Journal of Petroleum Exploration and Production Technology (2018) <https://doi.org/10.1007/s13202-018-0464-1>

14. Ovchinnikov, V.P., Dvoynikov, M.V., Bud’ko, A.V., & Prolubshchikov, S.V. (2007). K voprosu prodleniya sroka sluzhby vintovykh zaboynykh dvigateley. Burenie i Neft’, (10), 24-26.

15. Prospects for the Use of Technology of Rotary Steerable Systems for the Directional Drilling / Anton Epikhin, Vitaly Zhironkin, Michal Cehlar // E3S Web of Conferences International Innovative Mining Symposium №174. – (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401022>

16. The Guidance Systems Used in Directional Drilling. <https://utilitiesone.com/the-guidance-systems-used-in-directional-drilling>

17. Sharma D, Kumar NA. Review on machine learning algorithms, tasks and applications. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology. 2017;
18. Yang H. Oil and Gas Wells - Recent Advances in Drilling and Completion Technologies. Application of Artificial Intelligence in Drilling and Completion / Yang H., Guanyi Shang, Xiaorong Li, Yongcun Feng// – DOI:10.5772/intechopen.112298
19. Warren, T., 2019. Technology gains momentum: Rotary-steerable technology Part 1. [Online] Available at: <http://images.pennwellnet.com/ogj/images/ogj2/9651jwa02.gif>
20. Білецький В. Моделювання силової секції гвинтових вибійних двигунів / В. Білецький, С. Ландар, Ю. Міщук // Mining of Mineral Deposits, 11(3), 15-22. – 2017. – <https://doi.org/10.15407/mining11.03.015>
21. Буріння свердловин: навч. посіб. [Електронний ресурс] / Є.А. Коровяка, В.Л. Хоменко, Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, В.О. Расцветаєв ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Електрон. текст. дані. – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 294 с. – Режим доступу : <http://nmu.org.ua>
22. Васько І.С. Буріння скерованих свердловин / І.С. Васько, І.І.Чудик, І.І. Витвицький, А.І. Васько// Навчальний посібник – Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 387 с.
23. Долик Р.М. Вибір неорієнтованих компоновок низу бурильної колони для буріння свердловин роторним способом : дис. канд. техн. наук : спец. 05.15.10 «Буріння свердловин» – ІФНТУНГ МОН України, Івано-Франківськ, 2018. – 187 с.
24. Коровяка Є.А. Прогресивні технології спорудження свердловин: монографія [Електронний ресурс] / Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатів ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Електрон. текст. дані. – Дніпро: НТУ «ДП», 2020. – 166 с.

25. Коцкулич Я.С. Розробка та впровадження комплексу технічних засобів і технологій буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин (для умов нафтогазових родовищ України) / Дисертація. – 2013.

26. Коцкулич Я.С. Застосування роторно-керованих систем при спорудженні похило-скерованих свердловин / Я.С. Коцкулич, В.Г. Вітрик, А.М. Лівинський // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения. - 2016. - Вып. 19. - С. 55-61. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pimi_2016_19_13

27. Кунцяк Я.В. Розробка та впровадження комплексу технічних засобів і технологій буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин (для умов нафтогазових родовищ України) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.15.10 «Буріння свердловин». – Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, Івано-Франківськ, 2013 <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/4628>

28. Лівинський А.М. Удосконалення технології буріння скерованих свердловин суміщеним способом : автореферат дис. канд. техн. наук : спец. 05.15.10 «Буріння свердловин» – – Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу МОН України, Івано-Франківськ, 2019 – 20 с.

29. Матвійків Т.М. Інформаційні технології усунення ударів та вібрацій в похилоскерованому бурінні : дис. канд. техн. наук : спец. 05.13.06 «Інформаційні технології» – Національний університет «Львівська політехніка» МОН України, Львів, 2016 – 155 с.

30. Мислюк М. А. Буріння свердловин. Т.3. Вертикальне та скероване буріння. /М. А. Мислюк, І. Й. Рибчин,Р. С. Яремчук. – К.: «Інтерпрес ЛТД», 2004. – 294 с.

31. Орловський В.М. Нафтогазовилучення з вантажодоступних і виснажених пластів / В.М. Орловський, В.С. Білецький, В.І. Сіренко// Харків: Харківський національний технічний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, НТУ «Харківський політехнічний інститут», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, видавництво «Новий світ – 2000», 2023. – 312 с.

32. Офіційний сайт компанії «APS-TECH» <https://www.aps-tech.com/systems/suresteer-drilling-systems/suresteer-rss-rotary-steerable-system/>
33. Офіційний сайт компанії «Baker Hughes»: <https://www.bakerhughes.com>
34. Офіційний сайт компанії «DENIMEX» <http://www.denimex.us/>
35. Офіційний сайт компанії «Gyrodax»: <http://www.gyrodax.com>
36. Офіційний сайт компанії «Halliburton»: <http://www.halliburton.com>
37. Офіційний сайт компанії «Schlumberger»: <https://www.slb.com>
38. Офіційний сайт компанії «Tianhe Oil Group» <https://www.tianheoil.com/>
39. Офіційний сайт компанії «Weatherford»: <https://www.weatherford.com>
40. Офіційний сайт компанії «Wenzel Downhole Tools» <https://wenzeltools.com/>
41. Промивальні рідини в бурінні : підручник/ ЄА. Коровяка, Ю.Л. Винников, А.О. Ігнатов, О.В. Матяш, В.О. Расцветаєв // М-во освіти і науки України, Нац.тех.ун-т «Дніпровська політехніка». – 4-те вид., доп. – Дніпро : Журфонд, 2023. – 420 с.
42. Стефурак Р. І., Яремійчук Р. С. Історичні нариси буріння нафтових і газових свердловин – від проекту до практики (погляд з минулого в майбутнє) // Мінер. ресурси України. – 2021. – № 3. – С. 24–27
43. Фем'як Я.М. Використання роторних керованих систем при бурінні похилих і горизонтальних ділянок свердловин / Я.М. Фем'як, О.В. Герасімов // Modern directions of theoretical and applied researches – 2015