

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 магістр  
Спеціальність 184 Гірництво

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант освітньої програми  
**Харченко М.О.**  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

Завідувач кафедри буріння та геології  
**Винников Ю.Л.**  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему Ефективність використання полегшених тампонажних розчинів при кріпленні свердловин

Керівник  
д.т.н., проф., завідувач  
кафедри буріння та геології  
Винников Ю.Л.  
посада, наук. ступінь, ПІБ

підпис, дата,

Виконавець роботи

Бичко Артем Вячеславович  
студент, ПІБ  
група 2-мГР

підпис, дата

Консультант за 1 розділом  
Матяш О.В.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 2 розділом  
Харченко М.О.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 3 розділом  
Харченко М.О.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Дата захисту \_\_\_\_\_  
Полтава, 2024

**Національний університет  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»**

*Навчально-науковий інститут:* Нафти і газу  
*Кафедра:* Буріння та геології  
*Освітньо-кваліфікаційний рівень:* Магістр  
*Спеціальність:* 184 Гірництво

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Гарант освітньої програми**  
**Харченко М.О.**  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**Завідувач кафедри буріння та геології**  
**Винников Ю.Л.**  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бичко Артем Вячеславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Ефективність використання полегшених тампонажних розчинів при кріпленні свердловин

Керівник проекту (роботи) д.т.н., проф., завідувач кафедри буріння та геології Винниково Ю.Л.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навч. закладу від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

1. Науково-технічна література, періодичні видання, патенти на винаходи тощо.

2. Проекти на влаштування свердловин (за необхідності).

3. Геологічні звіти за профілем роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Аналіз сучасних проблем цементування і кріплення свердловин.

2. Дослідити властивості полегшених тампонажних розчинів.

3. Впровадити результати дослідження в практику буріння свердловин на нафту і газ.

4. Загальні висновки по роботі

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація із основними результатами кваліфікаційної роботи

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Матяш О.В., доцент		
2	Харченко М.О., доцент		
3	Харченко М.О., доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/П	Етапи підготовки	Термін виконання
1	Інформаційно-оглядова частина	11.10-24.10
2	Експериментальна частина	25.10-14.11
3	Теоретична частина	15.11-5.12
4	Впровадження результатів досліджень	6.11-12.12
5	Оформлення та узгодження роботи	13.12-17.12
6	Попередні захисти робіт	13.12-17.12
7	Захист магістерської роботи	20.12-24.12

Студент

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ім'я користувача:  
Олександр Матяш

ID перевірки:  
1016069711

Дата перевірки:  
18.01.2024 10:18:34 EET

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
18.01.2024 10:20:41 EET

ID користувача:  
100013332

Назва документа: Бичко\_184М\_23

Кількість сторінок: 81 Кількість слів: 16590 Кількість символів: 122728 Розмір файлу: 1.95 MB ID файлу: 1015775872

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

## 33.1% Схожість

Найбільша схожість: 9.57% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1009734855)

20.6% Джерела з Інтернету

586

Сторінка 83

15.7% Джерела з Бібліотеки

65

Сторінка 86

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

1038

Підозріле форматування

3  
сторінки

## ЗМІСТ

### ВСТУП

### РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Фактори, що визначають герметичність кріплення обсадних колон

1.2 Огляд технічних засобів і прийомів для підвищення якості кріплення свердловин

1.3. Традиційні системи полегшених тампонажних розчинів на основі портландцементу

1.4. Повітрєвтягуючі добавки і їх застосування

1.5. Обґрунтування для використання тампонажного розчину з хорошими фільтруючими властивостями

1.6. Висновки до розділу 1

### РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ. ОБЛАДНАННЯ

2.1. Методика визначення розтічності розчину

2.2. Методика визначення густини розчину

2.3. Методика визначення часу загустіння розчину

2.4. Методика визначення водовідділення розчину

2.5. Методика визначення водовіддачі розчину

2.6. Методика визначення міцності при вигині зразків цементного каменю

### РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результат дослідження полегшених тампонажних розчинів з використанням бентоніту

3.2. Результат дослідження полегшених тампонажних розчинів з використанням мікросфер

3.3. Вивчення впливу добавок полісахаридів на властивості полегшених тампонажних розчинів.

### РОЗДІЛ 4 ПОЛІМЕРНІ СТАБІЛІЗУЮЧІ ДОБАВОКИ ТА ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЦЕМЕНТНОГО РОЗЧИНУ І КАМЕНЮ.

4.1 Вплив полімерних стабілізуючих добавок на властивості тампонажного розчину

4.2 Вплив реагентів структуроутворювачів на седиментаційну стійкість тампонажного розчину.

4.3 Седиментація сталого тампонажного складу.

Висновки до розділу 4

**ВИСНОВОК**

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

## ВСТУП

**Актуальність теми досліджень.** Тампонажний портландцемент і розчини на його основі вже більше ста років застосовуються для кріплення нафтових і газових свердловин. Цементний розчин заповнює за колонний і міжколонний простір, твердне і перетворюється в практично непроникний камінь. Від цієї важливої операції залежить ефективність і надійність свердловини при її експлуатації.

В останні роки збільшуються об'єми буріння свердловин в нових регіонах з дуже ускладненими геологічними умовами, високими вибійними температурами і слабозв'язаними гірськими породами з АНПТ (аномально - низькими пластовими тисками). При цементуванні в цих регіонах може відбуватися поглинання тампонажного розчину, що викликає його недопідйом до гирла свердловин. Вирішенням цієї проблеми є застосування полегшеного тампонажного розчину з необхідною і стабільною густиною, відповідно до конкретних умов.

Однак, застосування полегшених тампонажних розчинів, приготованих на основі традиційних полегшених наповнювачів, не завжди дає рішення необхідної задачі згідно високоякісному кріпленню, так як при підвищеному тиску в свердловині відбувається руйнування полегшених добавок, густина розчину сильно збільшується, і він стає непрокачуваним. Унаслідок цього, використання тампонажних матеріалів із застосуванням повітревтягуючих добавок, в тому числі порожніх мікросфер дозволяє вирішити проблему з будівництва довговічних і ефективних свердловин.

Однією з проблем, що виникають при цементуванні пластів з аномально низькими пластовими тисками, є забруднення пластів фільтратом тампонажного розчину, це викликає негативний вплив на продуктивні властивості цих пластів, особливо при забрудненні інтервалу продуктивного пласта відбувається зниження дебіту свердловин в процесі їх експлуатації. Тому крім того придбання хороших показників по густині, однорідності,

розтічності, і міцності тампонажні розчини повинні володіти кращими фільтраційними властивостями з метою збереження продуктивного пласта від забрудження.

**Мета роботи.** Основною метою магістерської роботи є дослідження основних властивостей тампонажних розчинів з підвищеною міцністю, зниженою густиною і водовіддачею, ефективних для цементування нафтових і газових свердловин.

**Основні завдання.** Для вирішення поставлених цілей роботи необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести огляд вітчизняної і зарубіжної літератури з розробок і досліджень сучасних полегшених тампонажних розчинів, в тому числі полегшені тампонажні розчини із застосуванням повітретягуючих добавок, для аналізу їх властивостей, характеристик і різних рецептур.

2. Вдосконалити рецептури полегшених тампонажних розчинів, що відповідають стандарту ДСТУ Б В.2.7-88-99 «Портландцемент тампонажний. Технічні умови».

3. Провести дослідження властивостей полегшених тампонажних розчинів з використанням повітретягуючих добавок.

**Об'єкт дослідження** - полегшені тампонажні розчини.

**Предмет дослідження** - сучасні повітретягуючі добавки - мікросфери.

**Методи і засоби дослідження.** При написанні даної роботи були застосовані такі методи наукового дослідження, як вивчення наукової літератури, аналітичні та експериментальні методи.

**Наукова новизна роботи** полягає у дослідженні тампонажних матеріалів із застосуванням повітретягуючих добавок, в тому числі порожніх мікросфер які дозволяють вирішити проблему з будівництва довговічних і ефективних свердловин.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (53). Робота

виконана на 80 сторінках, у тому числі 60 сторінка основного тексту, 17 рисунків, 9 сторінок списку використаних джерел.

Робота виконана на кафедрі «Буріння та геології» Національний університет «Полтавська політехніка ім. Ю.Кондратюка».

## ВИСНОВОК

В роботі викладені результати теоретичних досліджень полегшених тампонажних розчинів з використанням повітрівтягуючих добавок, саме із застосуванням мікросфер. У процесі проведення роботи були приведені підбір рецептури полегшених тампонажних розчинів на основі алюмосилікатних і перлітових мікросфер з цільовою густиною, дослідження їх властивостей і властивостей цементних каменів, одержуваних з них, також проводили вивчення впливу добавки, що знижують фільтрацію, на властивості розроблених полегшених тампонажних цементів. Основні висновки і практичні результати дослідження полягають у наступному:

- при цементуванні в зонах, що характеризуються ускладненими умовами, що мають аномально низькі пластові тиски, для попереджень поглинання і ускладнення в процесі цементування доцільно застосовувати легкі і полегшені тампонажні розчини;

- в даний час з найбільш відомих полегшених добавок, найефективнішими є порожнисті мікросфери. Використання порожнистих мікросфер дозволяє отримати полегшені тампонажні розчини, що володіють більш низькою густиною і меншою водонеобхідністю в порівнянні з традиційними полегшеними добавками;

- полегшені тампонажні розчини з порожніми мікросферами мають підвищену міцність і тріщиностійкість каменю, що дає можливість виключити повторні ізоляційні роботи після перфорації колони. Камінь, що формується, також володіє міцним зчепленням з обсадною трубою і гірськими породами, це забезпечує надійну герметичність затрубного простору;

- при додаванні гідроксилетилцелюлози, фільтраційні властивості полегшених тампонажних розчинів поліпшуються, його седиментаційна стійкість підвищується, причому міцнісні характеристики цементу залишаються високими. Тоді полегшені тампонажні розчини на основі порожнистих мікросфер з добавкою гідроксилетилцелюлози володіють

зниженою водовіддачею, підвищеною міцністю і тріщиностійкістю, їх ефективно використовують при цементуванні свердловин в усіх умовах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Воєвідко І. В. Розробка теоретичних основ і технічних засобів для підвищення точності проведення спрямованих свердловин: дис. д.т. н.: 05.15.10. Івано-Франківськ, 2007. 363 с.
2. Деякі напрямки удосконалення технологій спорудження свердловин на сланцевий газ / М. А. Мислюк та ін. Нафтогазова галузь України. 2013. №1. С. 40-45.
3. Коцкулич Я. С. Лівінський А. М. Відновлення свердловин шляхом забурювання бокових стовбурів – перспективний напрям збільшення обсягів видобутку вуглеводнів Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения. 2015. Вып. 18. С. 43-48.
4. Відновлення свердловин шляхом забурювання нових стовбурів/ Коцкулич Я. С., Лівінський А. М., Лазаренко О. Г., Кирчей О. І. Молодий вчений. 2016. № 12.1 (40). С. 45-49.
5. Коцкулич Я. С. Вітрик В. Г., Лівінський А. М. Застосування роторнокерованих систем (RSS) під час спорудження похило-скерованих свердловин. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения . 2016. Вып. 19. С. 49-54.
6. Кунцяк Я. В., Кунцяк Р. Я., Лев О. М. Визначення оцінки впливу сил опору на величину осьового навантаження на долото в похилоспрямованій свердловині. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2008. №4. С. 40-44.
7. Комплекс техніко-технологічних рішень для якісного закінчування горизонтальних свердловин / Лазаренко О.Г. і ін. Буріння. 2012. №1 (9). С. 55-57.
8. Лазаренко О. Г., Лівінський А. М. Досвід буріння горизонтальних свердловин на Гнідинцівському родовищі Породоразрушающий и

металлообробляючий інструмент - техніка і технологія його виготовлення і застосування. 2014. Вип. 17. С. 47-52.

9. Лазаренко О. Г., Лівінський А. М. Горизонтальне буріння свердловин. Нафтогазова освіта та наука. Стан та перспективи: Міжнародна науково-технічна конференція, 10-12 грудня 2014 р., Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2014.

10. Мельник М. П., Мельник М. М., Яремійчук Я. С. Досвід буріння св. 152 Яблунівського ГКР з горизонтальним закінченням ствола. Нафтова і газова промисловість. 2005. № 1. С. 34-35.

11. Мислюк М. А., Долик Р. М. Вибір стабілізованих компоновок низу бурильної колони для буріння свердловин. Нафтогазова галузь України. 2016. №1. С. 26-34.

12. Мислюк М. А., Долик Р. М. Вибір технологічних рішень для буріння стабілізованих ділянок свердловин. GeoDrillingll «Буріння і розкриття пластів - 2017»: матеріали конференції. 12 лютого 2017 р. Полтава, 2017. С. 43-47.

13. Мислюк М. А., Долик Р. М. Принципи вибору компоновок низу бурильної колони для буріння похилих ділянок. Нафтогазова галузь 137 України. 2014. №5. С. 7-15.

14. Мислюк М. А., Рибчич І. Й., Яремійчук Р. С. Буріння свердловин: у 5 т. Київ : Інтерпрес ЛТД, 2004. Т. 3 : 294 с.

15. Компоновка низу бурильної колони: пат. 113814 Україна.: МПК: E21B 7/04. u201609468 ; заявл. 12.09.16 ; опубл. 10.02.2017, Бюл. №3.

16. Мислюк М. А., Василюк Ю. М., Рибчич І. Й. До оцінювання динамічних процесів в бурильній колоні. Нафтова і газова промисловість. 2000. №6. С. 16 - 18.

17. Офіційний сайт компанії «Schlumberger»: <http://www.slb.com>.

18. Офіційний сайт компанії «Weatherford» [https:// www.weatherford.com](https://www.weatherford.com).

19. Офіційний сайт компанії «Halliburton»: <http://www.halliburton.com>

20. Розрахунок стабілізованих компоновок низу бурильної колони / М. А. Мислюк та ін. Нафтова і газова промисловість. 1996. №1. С. 17-19.

21. Р., Чудик І. І., Гриців В. В., Рачкевич Р. В., Козлов А. А. Моделювання компоновки низу бурильної колони з опорно–центруючими елементами (ОЦЕ) в похило-скерованому стовбурі свердловини. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 143 2008. № 2(27). С. 51–55.

22. Advanced Drilling and Well Technology / Aadnoy B. S., Cooper I., Miska S. Z., Mitchell R. F. and Payne M. L. Richardson, Texas: Society of Petroleum Engineers, 2009.

23. Bernt S., Petur P. Analytical models for design of wellpath and BHA. Paper IADC/SPE 77220 was prepared for presentation at the IADC/SPE Asia Pacific drilling technology held in Jakarta, Indonesia, 9-11 September 2002.

24. Chen D. C. K. Developing and field implementation of a state-of-the-art BHA program. Paper SPE 107238 was prepared for presentation at the 2007 SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Buenos Aires, Argentina, 15-18 April 2007.

25. Chen D. C. K. Integrated BHA Modeling Delivers Optimal BHA Design. Paper SPE/IADC 106935 was prepared for presentation at the SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition held in Cairo, 22-24 October 2007.

26. Chen D. C. K., Wu M. Maximizing Drilling Performance with State-of-the-Art BHA Program. SPE/IADC Paper 104502 was prepared for presentation at the 2007 SPE/IADC Drilling Conference held in Amsterdam, The Netherlands, 22 February 2007.

27. Chen W., Shen Y., Harmer R., Rawlins S., Dong Y., Chen R. Defining Design and Optimization Method: Dynamic Simulation Model Produces Integrated BHA Solutions for Efficient Wellbore Delivery. Paper SPE/IADC 173008 was prepared for presentation at the SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in London, United Kingdom, 17- 19 March 2015.

28. Dolyk R. Principles of making technological decisions for drilling inclined well sections. East meets West: 7th edition of International Student Petroleum Congress & Career Expo, Krakow, 20-22 April 2016. Krakow, 2016. P. 55. 144

29. Dolyk R. Selection of non-steerable bottom hole assemblies for rotary well drilling. International Fuel Congress : Congress book, IvanoFrankivsk, 10-12 December 2015. Ivano-Frankivsk, 2015. P. 26.

30. Evangelatosorn I. G., Payne M. L. Advanced BHA-ROP Modeling Including Neural Network Analysis of Drilling Performance Data. Paper IADC/SPE 178852 was prepared for presentation at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition held in Fort Worth, Texas, USA, 1-3 March 2016.

31. Harmer R., Suryadi H., Tao Y., Qian W., Mokhti M. Managing BHA Integrity with BHA Design Based on Bending Moment and Stress Analysis. Paper IADC/SPE 180530 was prepared for presentation at the IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference held in Singapore, 22-24 August 2016.

32. Hohl A., Tergeist M., Oueslati H., Jain J. R., Herbig C., Ostermeyer G., Reckmann H. Derivation and experimental validation of an analytical criterion for the identification of self-excited modes in drilling systems, Journal of Sound and Vibration, vol 342, pp 290-302.

33. Lenamond C., Marques L., Anderson M., Mota S. Performance Gains for Rotary Steerable Through Specialized Bit Design. Paper AADE-05- NTCE-46 was prepared for presentation at the AADE 2005 National Technical Conference and Exhibition, held at the Wyndam Greenspoint in Houston, Texas, April 5-7, 2005.

34. Okoronkwo A., Carigali P., Ibrahim T. Through Engineered BHA and Drilling Parameters: A Case Study from the Niger Delta. Paper IADC/SPE 170497 was prepared for presentation at the IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference held in Bangkok, Thailand, 25-27 August 2014.

35. Schmalhorst B., Neubert M. Dynamic Modeling Software. Paper AADE03-NTCE-53 was prepared for presentation at the AADE 2003 National Technology

Conference “Practical Solutions for Drilling Challenges”, held 145 at the Radisson Astrodome Houston, Texas, April 1-3, 2003 in Houston, Texas.

36. William G. Lesso, Jr., Iain M. Rezmer-Cooper,, Minh Chau (Schlumberger) "Continuous Direction and Inclination Measurements Revolutionize Real-Time Directional Drilling Decision-Making", SPE/IADS-67752.

37. Adamson K., Birch G., Gao E. and Hand S. High-Pressure, High-Temperature well construction // Oilfield Review, 1998, v. 10, №2, p. 36-49.

38. Al-Ajmi A.M., Zimmerman R.W. Stability analysis of vertical boreholes using the Mogi-Coulomb failure criterion // Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 2006, v. 43, № 8, p. 1200-1211.

39. Alkamil E.H.K., Abbood H.R., Flori R.E., Eckert A. Wellbore stability evaluation for Mishrif formation / SPE 183668 // SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference, 6-9 March, Manama, Bahrain, 2017 -15 p. (<https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-183668-MS>)

40. Allahverdi A., Najafi Kani E., Soltani S. An experimental investigation on improving the medium and late-age compressive strengths of class G oil well cement // Journal of Petroleum Science and Technology, 2013, v.3, №1, p. 1-7.

41. Asadi M.S., Khaksar A., Ring M.J., Yin Yin K. Comprehensive geomechanical modeling and wellbore stability analysis for infill drilling of high-angled wells in a mature oil field / SPE 182220// SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, 25-27 October, Perth, Australia, 2016 -14 p. (<https://doi.org/10.2118/182220-MS>)

42. Balthar V.K.C.B.L.M., Filho R.D.T., Fairbairn E.M.R., de Miranda C.R. Durability of Lightweight Slurries for Oilwell Cementing // Key Engineering Materials, 2016, v. 711, p. 203-210.

43. Barree R.D., Miskimins J.L. Consideration of Breakdown Conditions of Directional Wells / ARMA-2016-044 // 50th U.S. Rock Mechanics and Geomechanics Symposium, 26-29 June, Texas, USA, 2016 -18 p.

44. Biezen E., van der Werff N., Ravi K. Experimental and numerical study of drilling fluid removal from a horizontal wellbore / SPE 62887 // SPE annual technical conference and exhibition, 1-4 October, Dallas, Texas, USA, 2000 -14 p. (<https://doi.org/10.2118/62887-MS>)

45. Bradely W.B. Failure of inclined boreholes // J. Energy Resour. Technol. Trans. ASME, 1979, v. 101, №4, p. 232-239.

46. Chen G., Ewy R.T. Thermoporoelectric effect on wellbore stability // SPE Journal, 2005, v. 10, №2, p. 121-129.

47. DeBruin G., Skeates C., Greenaway R., Harrison D., Parris M., James S., Muller F., Ray S., Riding M., Temple L., Wutherich K. High-pressure, high-temperature technologies // Oilfield Review, 2008, v. 20, № 3, p. 46-60.

48. Feng Y., Podnos E., Gray K.E. Well integrity analysis: 3D numerical modeling of cement interface debonding / ARMA-2016-246 // 50th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 26-29 June, Texas, USA, 2016 - 11 p.

49. Fennis S.A.A.M. Design of ecological concrete by particle packing optimization. Netherlands: Gildeprint, 2011. 256 p.

50. Fennis S.A.A.M., Walraven J.C. Using particle packing technology for sustainable concrete mixture design // HERON, 2012, v. 57, № 2, p. 73-101.

51. Ghassem Alaskari M.K., Nickdel Teymoori R. Effects of salinity, PH and temperature on CMC polymer and XC polymer performance // IJE Transactions B: Applications, 2007, v. 20, № 3, p. 283-290.

52. Gibson S.A. Novel solution to cement strength retrogression / SPE 138852 // SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, 1-3 March, Amsterdam, The Netherlands, 2011 -7 p. (<https://doi.org/10.2118/138852-MS>)

53. Global \$10.3 Billion Directional Drilling Services Market 2017 - Forecast to 2021 with Baker Hughes, Halliburton, Schlumberger, Weatherford International & National Oil well Varco Dominating - Research and Markets

54. Haider M.G., Sanjayan J., Ranjith P.G. Modeling of a well-bore composite cylinder system for cement sheath stress analysis in geological sequestration of CO<sub>2</sub> /

ARMA-2012-369 // 46th U.S. Rock Mechanics Symposium, 24-27 June Chicago, USA, 2012 -12 p.

55. He S., Wang W., Tang M., Hu B., Xue W. Effects of fluid seepage on wellbore stability of horizontal wells drilled underbalanced // J. Nat. Gas Sci. Eng., 2014, v. 21, p. 338-347.

56. John B. Application of desirability function for optimizing the performance characteristics of carbonitrided bushes // International Journal of Industrial Engineering Computations, 2013, № 4, p. 305-314.

57. Kanfar M.F., Chen Z., Rahman, S.S. Effect of material anisotropy on time-dependent wellbore stability // Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 2015, v. 78, p. 36-45.

58. Kurashige M. A thermoelastic theory of fluid-filled porous materials // Int. J. Solids Struct., 1989, v. 25, №9, p. 1039-1052.

59. Lee H., Ong S.H., Azeemuddin M., Goodman H. A wellbore stability model for formations with anisotropic rock strengths // J. Pet. Sci. Eng., 2012, v. 97, p. 109-119.

60. Li W., Chen M., Jin Y., Yang S., Zhang Y., Chen Y., Tan P. The application of cement sheath failure criterion in determining the wellbore internal pressure window / ARMA-2016-627 // 50th U.S. rock mechanics/geomechanics symposium, 26-29 June, Texas, USA, 2016 - 7 p.

61. McTigue D.F. Flow to a heated borehole in porous, thermoelastic rock: analysis // Water Resour. Res., 1990, v. 26, № 8, p. 1763-1774.

62. Miranda C.R., Filho R.D.T., Fairbairn E.M.R., Thaumaturgo C., Vargas A.A., Oliveira G. New design of high-performance cement systems for zonal isolation: influence on porosity, rheological parameters, and chemical and mechanical resistance / SPE 139307// SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 1-3 December, Lima, Peru, 2010 -12 p. (<https://doi.org/10.2118/139307-MS>)

63. Pokhriyal J., Gaudlip T., Suter W.R. Use of concrete technology for high-density cement systems in south Texas / SPE 67259 // SPE Production and

Operations Symposium, 24-27 March, Oklahoma, USA, 2001 -9 p.  
(<https://doi.org/10.2118/67259-MS>)

64. Salehi R., Mirzaei Paiaman A. A novel cement slurry design applicable to horizontal well conditions // *Petroleum & Coal*, 2009, v. 51, №4, p. 270-276.

65. Sarap G.D., Sivanandan M., Patil S.P., Deshpande A. The Use of high-performance spacers for zonal isolation in high-temperature high-pressure wells / SPE 124275 // *Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition*, 26-28 October, Manama, Bahrain, 2009 -7 p. (<https://doi.org/10.2118/124275-MS>)

66. Souza P.P., Soares R.A., Anjos M.A., Freitas J.O., Martinelli A.E., Melo D.F. Cement slurries of oil wells under high temperature and pressure: the effects of the use of ceramic waste and silica flour // *Brazilian journal of petroleum and gas*, 2012, v. 6, № 3, p. 105-113.

67. Tabatabaee Moradi S.Sh., Nikolaev N.I. Considerations of well cementing materials in high-pressure, high-temperature conditions // *IJE Transactions C: Aspects*, 2016, v. 29, № 9, p. 1214-1218.

68. Tabatabaee Moradi S.Sh., Nikolaev N.I. Free fluid control of oil well cements using factorial design // *Journal of Engineering Research*, 2017, v. 5, № 1, p. 186-197.

69. Tabatabaee Moradi S.Sh., Nikolaev N.I. Mud removal efficiency of weighted cement spacer system // *International Journal of Petroleum and Geoscience Engineering*, 2014, v. 2, № 3, p. 208-215.

70. Tabatabaee Moradi S.Sh., Nikolaev N.I. Performance of polymer based spacers for cementing operations in high-pressure, high-temperature conditions // *International Journal of Material Science Innovations (IJMSI)*, 2015, v. 3, № 2, p. 48 - 54.

71. Tabatabaee Moradi S.Sh., Nikolaev N.I. Sedimentation stability of oil well cements in directional wells // *IJE Transactions A: Basics*, 2017, v. 30, № 7, p. 1105-1109.

72. Tabatabaee Moradi S.Sh., Nikolaev N.I., Chudinova I.V. Geomechanical Analysis of Wellbore Stability in High-Pressure, High-Temperature Formations // 79th EAGE Conference & Exhibition 2017 - Student Programme, 12-15 June, Paris, France, 2017 -3 p.

73. Trung P.N., Duc N.T., Quy N.M. Geomechanical stability analysis for selecting wellbore trajectory and predicting sand production // Socar Proceedings, 2010, №4, p. 24-29.

74. Vralstad T., Todorovic J., Saasen A., Godoy R. Long-term integrity of well cements at downhole conditions / SPE 180058 // SPE Bergen One Day Seminar, 20 April, Bergen, Norway, 2016 - 10 p.

75. Wang Y., Dusseault M.B. A coupled conductive-convective thermo-poroelastic solution and implications for wellbore stability // J. Pet. Sci. Eng., 2003, v. 38, p. 187-198.

76. Wong V., Chan K.W., Kwan A.K.H. Applying theories of particle packing and rheology to concrete for sustainable development // Organization, technology and management in construction, 2013, v. 5, №2, p. 844-851.

77. Yuan J., Yu Y., Liu S., Xu M., Li L., Shen J. Technical difficulties in the cementing of horizontal shale gas wells in Weiyuan block and the countermeasures // Natural Gas Industry, 2016, v. 3, №3, p. 260-268.

78. Zhang J., Yu M., Al-Bazali T.M., Ong S., Chenevert M.E., Sharma M.M., Clark, D.E. Maintaining the stability of deviated and horizontal wells: effects of mechanical, chemical, and thermal phenomena on well designs / SPE 100202 // SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition, 5-7 December, Beijing, China. 2006 -12 p. (<https://doi.org/10.2118/100202-MS>)