

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 **Принципи розрахунку бурильної колони на основі промислових даних**

**Керівник**  
**к.т.н., доц., доцент**  
**кафедри буріння та геології**  
**Харченко М.О.**  
посада, наук. ступінь, ПІБ

підпис, дата,

**Виконавець роботи**

**Кондак Владислав Сергійович**  
студент, ПІБ  
група **601-ГР**

підпис, дата

**Консультант за 1 розділом**  
**Харченко М.О.**

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**

Кондак Владислав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Принципи розрахунку бурильної колони на основі промислових даних

Керівник проекту (роботи) к.т.н., доц., доцент кафедри буріння та геології Харченко М.О.

(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 компоновок низу бурильних колон (аналіз породоруйнівого та іншого обладнання; специфіка буріння в умовах ДДЗ).

2. Принципи компоновок низу бурильних колон для поглиблення свердловин в умовах ДДЗ.

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	Підпис, дата
--------	------------------------------	--------------

	консультанта	завдання видав	завдання прийняв
1	Гошовський С.В., проф.		
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

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	5
ANOTATION .....	5
АБРІВІАТУРИ .....	6
ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ ТА ФАКТИЧНОЇ ФІКСАЦІЇ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА КОМПОНОВКУ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ.....	10
1.1. Аналіз методів і засобів для вимірювання та реєстрації ударно- вібраційних навантажень на бурильну колону .....	10
1.2. Класифікація ударно-вібраційних навантажень та наслідки їхнього впливу на бурильну колону.....	17
1.3. Способи зниження рівня ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону.....	23
1.4. Висновки за розділом 1. Мета та задачі досліджень .....	29
2. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА РІВЕНЬ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУРИЛЬНУ КОЛОНУ .....	31
2.1. Обґрунтування даних для аналізу ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону.....	31
2.2. Аналіз впливу різних факторів на рівень скручуючих ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону .....	32
2.3. Висновки до розділу 2 .....	38
3. ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КНБК ДЛЯ РЕАЛЬНИХ УМОВ БУРІННЯ.....	39
3.1. Обґрунтування компоновки низу бурильної колони для різних типів буріння вертикальних і похило-скерованих свердловин .....	39
3.2. Впровадження результатів дослідження для оптимальної компоновки низу бурильних колон для безаварійного поглиблення свердловини в умовах Яблунівського ГКР.....	43
3.3. Висновки до розділу 3 .....	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	58

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 184 Гірництво освітньо-професійної програми «Буріння нафтових і газових свердловин» на тему «Принципи розрахунку бурильної колони на основі промислових даних». Її присвячено сучасним варіантам компоновки низу бурильних колон, що застосовуються під різні цілі, розгляд методів моделювання навантажень на бурильну колону.

В першому розділі розглянуто типи ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону, наслідки впливу кожного типу, методи та техніка для реєстрації ударно-вібраційних навантажень та історія їх розвитку.

В другому розділі наведено методику і результати дослідження впливу різних факторів на рівень ударно-вібраційних навантажень бурильних колон.

В третьому розділі для конкретних умов буріння обґрунтовано оптимальну компоновку низу бурильної колони із врахуванням результатів досліджень, отриманих у другому розділі.

**Ключові слова:** компоновка низу бурильної колони, свердловина, породоруйнівний інструмент, буріння, ударно-вібраційні навантаження, обважені бурові труби; калібратор, стабілізатор, гвинтовий вибійний двигун.

## ANOTATION

Qualification work in the specialty 184 Mining of the educational and professional program «Drilling of oil and gas wells» on the topic «Principles of drill string calculation based on industrial data». The paper contains data on modern variants of drill string bottom layout (BHA) used for various purposes, and a review of methods for modeling loads on BHAs.

The first section discusses the types of shock and vibration loads on BHAs, the effects of each type, methods and techniques for recording BHAs, and the history of their development.

The second section presents the methodology and results of studying the impact of various factors on the shock and vibration loads level of BSCs.

In the third section, the optimal BHA is substantiated for specific drilling conditions, taking into account the results of the research obtained in the second section.

**Keywords:** bottom hole assembly, well, rock cutting tools, drilling, shock and vibration loads, weighted drill pipes, calibrator, stabilizer, downhole mud motor.

## АБРІВІАТУРИ

КНБК – компоновка низу бурильної колони;

УВН – ударно-вібраційні навантаження;

ПСБ – похило-скероване буріння;

МШП – механічна швидкість проходки (буріння);

ОБТ – обважені бурові труби;

КЛС – калібратор лопастевий спіралевидний;

ГВД – гвинтовий вибійний двигун.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним із найскладніших та найвідповідальніших етапів розробки будь-якого родовища вуглеводнів є будівництво свердловини, успішне вирішення цього завдання значно полегшує подальші роботи. Цей факт є вагомим причиною для впровадження прогресивних методів та інноваційних технологій під час буріння.

Питання ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону було актуальним з самого початку розвитку буріння, але якщо в 60-ті рр. ХХ ст. основною причиною для зниження рівня ударно-вібраційних навантажень служила проблема передчасного зносу долота, то в даний час, враховуючи постійно зростаючу кількість приладів з електронними компонентами в компоновці низу бурильної колони, постає питання про зниження рівня ударно-вібраційних навантажень на компоновку низу бурильної колони для запобігання виходу з ладу приладів з електронними компонентами.

Крім згубної дії на обладнання, підвищений рівень ударно-вібраційних навантажень призводить до зниження механічної швидкості проходки, оскільки енергія, що передається з поверхні на вибій, витрачається не на руйнування гірської породи, а на коливання і вібрації в бурильній колоні.

Високі ударно-вібраційні навантаження також ускладнюють процес похило-скерованого буріння, особливо при використанні роторно-керованих систем, надмірні коливання та нерівномірність обертання електронного модуля не дозволяють йому стабілізуватись у потрібному положенні, що у свою чергу не дозволяє роторно-керованій системі відхилитися у потрібному напрямку. Через ускладнення орієнтації електронного модуля при високих ударно-вібраційних навантаженнях виникають складності з проведенням азимутального каротажа у процесі буріння. Усі перелічені вище чинники обґрунтовують, що питання дослідження ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону є

надзвичайно актуальними для подальшого розвитку технології буріння свердловин великих глибин і складних траєкторій.

**Метою** досліджень є удосконалення врахування різних факторів на рівень ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону та обґрунтування практичних рекомендацій щодо їх зменшення при оптимізації вибору компоновки низу бурильної колони.

Для досягнення зазначеної мети поставлені такі **задачі**:

- проаналізувати сучасні дослідження методів та засобів вимірювання та реєстрації ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону;
- удосконалити класифікацію ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону згідно з відомими наразі результатами досліджень та досвіду буріння свердловин;
- згрупувати сучасні способи зниження рівня ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону;
- для реальних умов буріння за промисловими даними обґрунтувати оптимальну компоновку низу бурильної колони для ефективного буріння свердловини.

**Об'єктом дослідження** є удосконалення класифікації ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону, методів зниження рівня ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону шляхом обґрунтування оптимальної компоновки низу бурильної колони.

**Предмет дослідження** – вплив ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону.

**Методи дослідження**: методи гідроаеромеханіки; методи механіки гірських порід та геомеханіки; опір матеріалів; аналіз інформаційних джерел; узагальнення; класифікація; моделювання.

**Наукова новизна** оптимізація підбору компоновки низу бурильної колони для буріння свердловини в складних гірничо-геологічних умовах Яблунівського газоконденсатного родовища шляхом мінімізації ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону.

**Структура і обсяг роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Вона викладена на 58 сторінках, у тому числі 5 сторінок списку використаних джерел (37 найменувань).

Магістерська робота виконана у Навчально-науковому інституті нафти і газу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» в 2023 році під керівництвом к.т.н., доцента, доцента кафедри буріння та геології Харченка Максима Олександровича.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведені дослідження принципів розрахунку бурильної колони на основі промислових даних дали змогу вирішити прикладну технічну задачу врахування різних факторів на рівень ударно-вібраційних навантажень на бурильну колону та обґрунтувати рішення щодо їх зменшення при оптимізації вибору компоновки низу бурильної колони для буріння свердловини в гірничо-геологічних умовах Яблунівського ГКР.

В результаті досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Вібрації бурильної колони поділяються на: осьові (повздовжні) коливання; крутильні (торсіонні) коливання; поперечні (згинальні) коливання. Осьова вібрація, відповідно і осьові УВН на КНБК, найчастіше виникає при зміні гірських порід, властивості яких значно відрізняються один від одного, а також при проходженні пропластків твердих порід. Крутна вібрація відповідно та УВН крутного типу є нерівномірним обертанням бурильної колони, викликане різким прискоренням та уповільненням при її обертанні. Поперечна вібрація є маятниковим рухом в напрямі, перпендикулярному осі свердловини.

2. Основними способами зниження УВН на КНБК є використання демфуючих пристроїв, вірне підбирання параметрів буріння та правильний дизайн самої КНБК.

3. За спектрограмами, що записано при бурінні з постійними режимними параметрами в однорідних породах, від долота в бурильній колоні збурюються одночасно коливання на всіх власних частотах, що можна представити як дію випадкового процесу. В процесі зношування опор кочення і озброєння частотний спектр змінюється і параметри вібрацій також змінюються.

4. Для забезпечення вертикальності стовбура слід: використовувати ефект «маятника» (в т.ч. маятникові КНБК); зберігати наявний незначний зенітний кут стовбура свердловини за рахунок центрування нижньої частини КНБК шляхом розміщення центруючих елементів на оптимальній відстані від долота (жорсткі

КНБК); за рахунок відхиляючої сили чи зміни напрямку осі долота (ступінчасті КНБК).

5. Для буріння у похило-прямолінійному стовбурі діаметр центратора повинен бути трохи меншим за діаметр долота, а довжина напрямної секції КНБК відповідати розрахунковому значенню; визначення довжини секцій та діаметра опорних елементів, за яких виконуються поставлені умови на долоті (критерієм оптимізації).

6. Роторні КНБК в більшості випадків застосовуються для буріння ділянок стабілізації zenітного кута свердловини, а також його збільшення або зменшення. Для передбачення дій роторного компонування його поведінка регулюється зміною взаємоположення центруючих інструментів та їх діаметра. Центруючі елементи, встановлені вище 36 метрів від долота, не мають сенсу, оскільки незначно впливатимуть на характеристики компонування.

7. КНБК з вибійними двигунами є універсальним засобом для буріння всіх ділянок, в т.ч. похило-скерованих горизонтальних ділянок, оскільки забезпечує точне керування траєкторією свердловини. Ефективно використовувати для буріння ділянок стабілізації, ділянок набору zenітного кута та інтервалів відхилення від вертикалі.

8. Для буріння свердловини глибиною 5075 м в геолого-технічних умовах Яблунівського ГКР обґрунтовано оптимальну КНБК. Зокрема, при поглибленні під експлуатаційну колону та експлуатаційний хвостовик обґрунтовано жорстку КНБК, яка складається із PDC доліт, гвинтового вибійного двигуна ГВД, двох калібраторів лопастевих спіралевидних КЛС, один відразу над гвинтовим вибійним двигуном, потім обважені бурові труби ОБТ 9,5 м і наступний КЛС, далі 154 м ОБТ і гідравлічний яс, зверху якого ще 37 м ОБТ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Al-Mayyan, H., Malik, A., Sumait, B., Fayed, M., Khalil, K., & Khalil, A. (2016). New concentric dual diameter fixed cutter technology bit drills 56 faster and saves operator drilling time in directional application through challenging abrasive sandstone in one of the largest reservoirs in the Middle East. In Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference (p. 13). Abu Dhabi, United Arab Emirates: SPE. <https://doi.org/10.2118/183381-ms>
2. Jardinez, A., Guzman, G., Karrer, C., Murillo, R., Verano, F., Araujo, J.C., & Lopez, J.R. (2014). Advanced FEA modeling produces first directional tandem reamer BHA: eliminates trip on deepwater exploration well. In IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition (p. 14). Austin, Texas, United States: SPE. <https://doi.org/10.2118/167925-ms>
3. Joostew M. W. Study shows how to predict accumulated drill pipes fatigue. - World oil, 1985. - Vol 201 №5. - P. 65-70.
4. Da Silva, L.P., Paixao, D., Kishi, A.R.K., & Silva, A.R. (2010). Hole enlargement in Brazilian. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference (p. 10). Lima, Peru: SPE. <https://doi.org/10.2118/139300-ms>
5. Razyiev, M., Liang, Q.J., Syaifullah, N., Tang, K.H., Lee, S.L., & Willis, S. (2011). Dual eccentric reamer BHA solves hole opening challenges and conductor sharing pass through constraints. In SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition (p. 10). Jakarta, Indonesia: SPE. <https://doi.org/10.2118/145864-ms>
6. Mason, C., Wenande, B., & Chen, D.C.-K. (2007). Supersize hole creates drilling opportunity. SPE Annual Technical Conference and Exhibition (p. 13). California, United States: SPE. <https://doi.org/10.2118/108427-ms>
7. Rasheed, W., & Zhou, S. (2009). Uncertainty and costs in drilling and completion: innovative underreamer verifies wellbore diameter in realtime. In Middle East Oil & Gas Show and Conference (p. 10). Manama, Bahrain: SPE.

8. Meyer-Heye, B., Reckmann, H., & Ostermeyer, G.-P. (2010). Weight distribution in reaming while drilling BHAs. IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition (p. 10). New Orleans, United States: IADC/SPE. <https://doi.org/10.2118/127094-ms>
9. Moisyshyn V., Levchuk K. Investigation on Releasing of a Stuck Drill String by Means of a Mechanical Jar. Oil and Gas Science and Technology. 2017. Vol. 72. Iss. 5. Article Number 27 (8 p.). DOI: <http://dx.doi.org/10.2516/ogst/2017024> (Scopus i Web of Science Core Collection).
10. Moisyshyn V., Voyevidko I. Tokaruk V. Design of bottom hole assemblies with two rock cutting tools for drilling wells of large diameter / <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/157091>
11. Артим В. І. Оцінка навантаженості бурильної колони під час спуско-підіймальних операцій / Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2009. № 4. - С. 26-32
12. Білецький В. С. Основи нафтогазової справи / В. С. Білецький, В. М. Орловський, В. І. Дмитренко, А. М. Похилко. — Полтава: ПолтНТУ, Київ: ФОП Халіков Р. Х., 2017. - 312 с.
13. Івасів В.М., Артим В.І., Гриців В.В., Рачкевич Р.В. Удосконалення методики оцінки довговічності бурильних труб з урахуванням експлуатаційних навантажень. Науковий вісник ІНТУНГ. 2010. №2(24). С. 41-45.
14. Крижанівський Є.І., Малько Б.Д., Івасів В.М. Визначення навантаженості бурильних труб в колоні при спуско-підіймальних операціях. Надійність машин та прогнозування їх ресурсу. праці Міжнар. наук.-техн. конф. ROM-2000. Івано-Франківськ, 2000. - С. 301-308.
15. Левчук К. Г. Дослідження процесу передачі вібратором коливань прихопленої бурильної колони. SOCAR Proceedings. 2017. № 2. С. 23–33. DOI: <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20170200312> (Scopus).
16. Левчук К. Г., Мойсишин В. М., Рис В. В., Гураль І. М. Механічні способи вивільнення прихопленого бурильного інструменту (огляд). Прикарпатський вісник НТШ. Число. 2017. № 2 (38). С. 196–235.

17. Левчук К. Г. Вивільнення прихопленої бурильної колони способом фрикційних автоколивань. Науковий вісник ІФНТУНГ. № 1 (44). 2018. С. 72–80.
18. Левчук К.Г. Дискретно-континуальна модель вивільнення прихопленої бурильної колони вібраційним методом. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2018. № 1 (66). С. 53–59.
19. Левчук К. Г., Векерик В. І., Мойсишин В. М. Прихоплення бурильної колони: визначення меж і утримувальних сил, рекомендації щодо їх уникнення під час буріння свердловин. Прикарпатський вісник НТШ. Число. 2018. № 1 (45). С. 189-199.
20. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. - Д.: Східний видавничий дім, 2013. - Т. 3. - 644 с.
21. Орловський В. М., Білецький В. С., Вітрик В. Г., Сіренко В. І. Бурове і технологічне обладнання. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «ХПІ», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ — 2000», 2021. — 358 с.
22. Орловський В. М., Білецький В. С., Сіренко В.І. Нафтогазовилучення з важкодоступних і виснажених пластів. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «Харківський політехнічний інститут», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2023. – 312 с.
23. НПАОП1 – 1.01-08. Правила безпеки у нафтогазодобувній промисловості України.
24. Політучий О.І. Буріння нафтових і газових свердловин: навч. посібник / О.І. Політучий. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – 170 с.
25. Професійний стандарт «Фахівці із буріння»  
[https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/536-ps\\_fahivci\\_z\\_burinna.pdf](https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/536-ps_fahivci_z_burinna.pdf)
26. Рачкевич Р. В. Прогнозування довговічності бурильної колони в ускладнених умовах буріння свердловини: дис. канд. техн. наук: 05.05.12 / Івано-Франківськ. нац. техн. ун-т. нафти і газу. Івано-Франківськ, 2006. - 145 с.

27. Римчук Д.В. Обладнання для буріння свердловин і видобутку нафти і газу: [Навчальний посібник] / Д.В. Римчук, В.В. Пономаренко, О.Л. Шудрик – Х.: ХНАДУ, 2019. – 252 с.

[http://library.kpi.kharkov.ua/files/new\\_postupleniya/obdbsv.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/obdbsv.pdf)

28. Спосіб вимірювання навантаження, що діє на свердловинний буровий інструмент: веб-сайт. URL:

<https://patents.google.com/patent/RU2377404C2>

29. Технологія і техніка буріння / В.С. Войтенко, В.Г. Вітрик, Р.С. Яремійчук, Я.С. Яремійчук. – Львів: Центр Європи, 2012. – 708 с.

30. ТР 31174865.001:2016. Технологічний регламент на буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин. – Полтава: ТОВ «НТП «Бурова техніка». – 2016. 67 с.

31. Українська нафтогазова енциклопедія / за загальною редакцією В.С. Іванишина. - Львів : Сполом, 2016. - 603 с.