

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Інститут природокористування
Кафедра нафтогазової інженерії та буріння

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню
магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента Василевського Андрія Леонідовича

(ПІБ)

академічної групи 185М-24-1

(шифр)

спеціальності 185

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою Нафтогазова інженерія та технології

(офіційна назва)

на тему «Розробка технології буріння експлуатаційних свердловин в об'єктах неземного походження»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Судаков А.К.			
розділів:				
Технологічний	Судаков А.К.			
Охорона праці	Муха О.А.			

Рецензент	Кононенко М. М.			
-----------	-----------------	--	--	--

Нормоконтролер	Расцветаев В.О.			
----------------	-----------------	--	--	--

Дніпро
2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:Завідувач кафедри нафтогазової
інженерії та буріння

Коровяка Є.А.

«_____» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ**на кваліфікаційну роботу
ступеню магістр**студента Василевського Андрія Леонідовичаакадемічної групи 185М-24-1

спеціальності 185

спеціалізації _____

за освітньо-професійною програмою Нафтогазова інженерія та технологіїна тему «Розробка технології буріння експлуатаційних свердловин в об'єктах
неземного походження»затверджену наказом ректора НТУ «ДП» від 06.11.2025 № 1257/С

Розділ	Зміст завдання	Термін виконання
1	Огляд літератури та попередніх досліджень	13.10.2025
2	Розробка технологій спорудження свердловин та видобутку корисних копалин	22.10.2025
3	Моделювання технологій спорудження свердловин та видобутку корисних копалин	01.11.2025
4	Економічні аспекти видобутку корисних копалин у космосі	20.11.2025
5	Перспективи розвитку та майбутні тренди у видобутку корисних копалин	01.12.2025
6	Охорона праці при реалізації проекту lunadrill/selenadrill	10.12.2025

Завдання видано _____

А.К. Судаков

Дата видачі _____

13.10.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

12.12.2025

Прийнято до виконання _____

А.Л. Василевський

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 79 сторінок, 4 рисунки, 7 таблиць, 78 посилань.

РЕГОЛІТ, БУРІННЯ, УЛЬТРАЗВУКОВА КАВІТАЦІЙНА БУРОВА ГОЛОВКА (УКБГ), МІСЯЦЬ, СТАБІЛЬНІСТЬ СТІНОК, ТЕХНОЛОГІЯ БУРІННЯ

Об'єкт дослідження – технологія буріння експлуатаційних свердловин у реголіті та інших породах неземного походження (Місяць, астероїди), з використанням інноваційних бурових інструментів.

Мета роботи – розробка та обґрунтування технології буріння експлуатаційних свердловин у космічних умовах із застосуванням ультразвукової кавітаційної бурової головки (УКБГ), що забезпечує ефективне руйнування реголіту, мінімізацію пилогенерації та стабільність стінок свердловини.

Засоби дослідження – аналіз сучасної наукової літератури, моделювання процесів руйнування реголіту, експериментальні дані щодо ультразвукової кавітації, розрахунки теплових і механічних параметрів буріння, а також стандарти ISO та міжнародні космічні угоди.

На підставі аналізу фізико-механічних властивостей реголіту та умов його буріння обґрунтовано якісні та кількісні показники процесу.

Сформовано базу даних параметрів реголіту, необхідну для розрахунку режимів роботи УКБГ. Визначено найбільш перспективні режими ультразвукової кавітації для буріння у місячному реголіті: амплітуда 20–30 мкм, частота 25–40 кГц, потужність 200 Вт.

Обґрунтовано вибір матеріалів для бурової головки (титанові сплави, керамічні вставки) та системи стабілізації стінок свердловини. Розраховано раціональну технологію буріння експлуатаційних свердловин у реголіті з використанням УКБГ, яка забезпечує зниження енерговитрат на 25–30 %.

ABSTRACT

Master's thesis: 79 pages, 4 figures, 7 tables, 78 references.

REGOLITH, DRILLING, ULTRASOUND CAVITATION DRILL HEAD (UCDH), MOON, WALL STABILITY, DRILLING TECHNOLOGY

The object of research is the technology of drilling production wells in regolith and other rocks of extraterrestrial origin (Moon, asteroids), using innovative drilling tools.

The purpose of the work is to develop and substantiate the technology of drilling production wells in space conditions using an ultrasonic cavitation drill head (UCDH), which ensures effective destruction of regolith, minimization of dust generation and stability of the well walls.

Research tools are an analysis of modern scientific literature, modeling of regolith destruction processes, experimental data on ultrasonic cavitation, calculations of thermal and mechanical drilling parameters, as well as ISO standards and international space agreements.

Based on the analysis of the physical and mechanical properties of regolith and its drilling conditions, qualitative and quantitative indicators of the process are substantiated.

A database of regolith parameters necessary for calculating the UCDH operating modes has been formed. The most promising ultrasonic cavitation modes for drilling in lunar regolith have been determined: amplitude 20–30 μm , frequency 25–40 kHz, power 200 W.

The choice of materials for the drill head (titanium alloys, ceramic inserts) and the well wall stabilization system has been justified. A rational technology for drilling production wells in regolith using UCDH has been calculated, which provides a 25–30% reduction in energy consumption.

ЗМІСТ

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1. Історія вивчення корисних копалин на неземних об'єктах	7
1.2. Потенційні ресурси на Місяці, астероїдах та інших планетах	8
1.3. Технології видобутку корисних копалин на інших планетах	10
1.4. Проблеми освоєння космічних ресурсів.....	14
1.5. Висновки	17
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ СПОРУДЖЕННЯ СВЕРДЛОВИН ТА ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН.....	20
2.1. Технології буріння на астероїдах та планетах	20
2.1.1. Обґрунтування конструкції свердловини (для умов Місяця).....	20
2.1.2. Обґрунтування інструменту.....	26
2.1.3. Обґрунтування режимних параметрів буріння	32
2.1.4. Обґрунтування очисного агенту	36
2.2. Концепція технології видобутку на астероїдах та планетах	38
2.3. Використання добутих корисних копалин In-situ Resource Utilization (ISRU)	40
2.4. Обробка та транспортування ресурсів до Землі	43
2.5. Висновки	45
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ СПОРУДЖЕННЯ СВЕРДЛОВИН ТА ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН	47
3.1. Опис моделі та методи дослідження.....	47
3.1.1. Моделювання процесу взаємодії ультразвукових хвиль із поверхнею місячного або астероїдного ґрунту.....	47

3.1.2. Моделювання режимних параметрів роботи кавітаційної бурової головки	48
3.2. Результати моделювання	49
3.3. Оцінка ефективності запропонованих технологій видобутку	50
4 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН У КОСМОСІ	52
4.1. Економічна доцільність освоєння космічних ресурсів	52
4.2. Вартість технологій та їх вплив на фінансові показники	53
4.3. Міжнародне співробітництво та комерціалізація видобутку	54
4.4. Перспективи використання космічних ресурсів для економік Землі	54
5 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА МАЙБУТНІ ТРЕНДИ У ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН.....	55
5.1. Прогноз технологічного прогресу	56
5.2. Роль приватних компаній у розвитку космічної індустрії.....	57
5.3. Інновації у технологіях видобутку та використанні космічних ресурсів.....	57
5.4. Можливі сценарії розвитку космічного видобутку в наступні десятиліття	58
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ LUNADRILL/SELENADRILL.....	60
6.1. Загальні положення.....	60
6.2. Охорона праці при реалізації проекту LUNADRILL/SELENADRILL ...	61
6.3. Сценарій аварійної ситуації: пошкодження бурової головки	71
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі «Розробка технології буріння експлуатаційних свердловин в об'єктах неземного походження» досягнуто основну мету наукового дослідження та виконано всі поставлені завдання.

Вирішено актуальну науково-технічну задачу, що полягає у формуванні та обґрунтуванні технології буріння свердловин у середовищах позаземного походження з урахуванням специфічних фізико-механічних властивостей порід, обмежень енергоспоживання, масогабаритних характеристик бурових систем та вимог до автономності космічних місій.

У першому розділі роботи виконано комплексний аналіз сучасного стану та перспектив розвитку технологій буріння в умовах Місяця, астероїдів і малих тіл Сонячної системи. Показано, що традиційні механічні методи буріння, ефективні в земних умовах, мають обмежене застосування в позаземному середовищі через високі контактні навантаження, інтенсивний абразивний знос, низьку ефективність руйнування та значні енергетичні витрати. Обґрунтовано доцільність використання альтернативних фізичних механізмів руйнування порід, зокрема ультразвукових і кавітаційних, як перспективного напрямку розвитку космічних бурових технологій.

Дослідження сучасних і перспективних технологій буріння для позаземних об'єктів показало, що основними напрямками розвитку є мініатюризація систем, підвищення енергоефективності та використання нетрадиційних методів руйнування порід, зокрема ультразвукової кавітації [7][12]. Порівняння існуючих проектів NASA, ESA та приватних компаній із концепцією LUNADRILL 1 засвідчує, що перехід від механічних або термомеханічних методів буріння до гібридних фізико-хімічних процесів відкриває нові можливості для освоєння астероїдів, Місяця та інших тіл Сонячної системи [10][13].

Ключовим технологічним викликом залишається забезпечення стабільного процесу руйнування матеріалу при мінімальному споживанні енергії, а також ефективне відведення бурового шламу у вакуумних умовах низької гравітації [6][9]. Застосування автоматизованих систем керування, модульного принципу побудови (LUNADRILL-Carrier, Ascender, Orbital Return Unit) і елементів ISRU дозволяє інтегрувати процес буріння з первинною переробкою та транспортуванням [NASA, 2022; ESA, 2023].

Вивчення концепцій NASA (Molten Regolith Electrolysis, Lunar Volatile Analysis Package) і ESA (PROSPECT, ISRU Demonstrator Study) доводить, що майбутні місії потребуватимуть компактних орбітальних або повертаючих систем [NASA, 1993; JPL, 2015]. Перспективним рішенням є створення багаторазових транспортних блоків типу Orbital Return Unit [Airbus, 2021].

Отже, поєднання ультразвукової кавітаційної технології з автономними роботизованими платформами є найбільш перспективним напрямом розвитку систем буріння у космічних умовах [7][12]. Це створює основу для формування нової архітектури добувних комплексів, де LUNADRILL 1 може виконувати роль базового елемента інтегрованої видобувної-транспортної системи майбутніх місій [10][13].

В роботі розроблено та протестовано математичну і чисельну моделі взаємодії ультразвукових хвиль із реголітом Місяця й астероїдів. Результати показують реальну ефективність ультразвукової кавітаційної технології буріння на глибини до 200 м.

Сформульовано оптимальні параметри роботи бурової головки ($f=28\text{--}32$ кГц, $P=100\text{--}130$ Вт) і підтверджено перспективність її використання в автономних модулях типу LUNADRILL 1 та похідних системах для астероїдів (Psyche-drilling 1).

Таким чином, економічний вимір освоєння космічних ресурсів виявляється не менш важливим, ніж технологічний. Ефективність майбутніх космічних бурових систем (зокрема типу LUNADRILL 1)

визначатиметься не лише їхньою технічною досконалістю, а й економічною стійкістю, що включає оптимізацію витрат, міжнародну співпрацю та інтеграцію у глобальну економіку. Космічні ресурси поступово перетворюються з об'єкта наукового інтересу на фундамент нової економічної реальності, де Земля і космос взаємодіють у спільному виробничо-енергетичному циклі.

У межах реалізації проекту LUNADRILL/SELENADRILL, що передбачає автономне буріння на Місяці без постійної присутності людини, охорона праці набуває специфічного характеру. Вона орієнтована не на захист працівників у зоні виконання робіт, а на забезпечення безпечної експлуатації технічних систем, стабільності алгоритмів управління та мінімізації ризиків у дистанційному режимі.

На основі проведеного аналізу сформовано такі ключові положення:

- визначено основні категорії ризиків, що супроводжують автономну роботу бурової установки: техногенні, природні, програмні, комунікаційні, механічні, енергетичні та психофізіологічні. Для кожної категорії розроблено матрицю оцінки критичності та відповідні запобіжні заходи;

- розроблено сценарії реагування на аварійні ситуації, зокрема: втрату зв'язку, пошкодження бурової головки, збій живлення, аварійне відключення системи управління. Кожен сценарій включає етапи реагування, аналіз наслідків та превентивні дії;

- запропоновано комплекс технічних заходів безпеки, серед яких: автономна діагностика, аварійне блокування, термозахист, модульна конструкція, резервне живлення та дублювання каналів зв'язку;

- визначено організаційні заходи, що забезпечують ефективну роботу наземного персоналу: інструктажі, розподіл відповідальності, психологічна підтримка, використання віртуальних тренажерів;

- охорона праці в межах проекту базується на міжнародних стандартах ISO 45001, ISO 31000, ECSS-Q-ST-40C, а також на положеннях національного законодавства України;

- перспективи розвитку систем безпеки включають впровадження штучного інтелекту, цифрових двійників, адаптивного управління ризиками та інтелектуальних систем самодіагностики.

Таким чином, розділ «Охорона праці» не лише відповідає вимогам нормативного регламенту, а й формує інноваційний підхід до безпеки в умовах автономної космічної діяльності, що має практичне значення для майбутніх місій на Місяць та інших небесних тілах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gry A. L., Blondel P., Britt D. та ін. *ASIME 2016 White Paper: In-Space Utilisation of Asteroids: “Answers to Questions from the Asteroid Miners”*. Luxembourg: SpaceResources.lu, 2016. URL: <https://space-agency.public.lu/dam-assets/publications/2016/ASIME-white-paper.pdf>
2. Galache J., Grundmann J. T. та ін. *Answers to Questions from the Asteroid Miners*. EPSC Conference Abstracts, 2017.
3. NASA. *The Apollo Program*. URL: <https://www.nasa.gov/the-apollo-program/>
4. Zeigler R. A., Jolliff B. L. *The Apollo Sample Collection: 50 Years of Solar System Science*. Elements. 2019. Vol. 15, № 4. P. 286–293. DOI: 10.2138/gselements.15.4.286
5. Vaniman D., Dietrich J., Taylor G. J., Heiken G. *Lunar Sourcebook: A User’s Guide to the Moon*. Cambridge University Press, 1998.
6. Li C., Sun K., Xu R. та ін. *Characteristics of the lunar samples returned by the Apollo and Luna missions*. PeerJ. 2021. DOI: 10.7717/peerj.10944
7. Prissel T. C. та ін. *A lunar sample renaissance*. Frontiers in Planetary Science. 2021. DOI: 10.3389/fspas.2021.784929
8. Tartèse R. та ін. *A Case for New Returned Lunar Samples*. Space Science Reviews. 2019. DOI: 10.1007/s11214-019-0622-x
9. Li C., Deng J., Yue Z. та ін. *The geological history of the Chang’e-5 sample return*. Remote Sensing. 2021. DOI: 10.3390/rs13224679
10. Graps A. L., Rivkin A. S., Byers M. та ін. *Asteroid Resource Utilization: Ethical Concerns and Progress*. arXiv. 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2011.03369
11. Anand M., Crawford I. A., Balat-Pichelin M. та ін. *A review of potential lunar resources for future astronaut missions*. Planetary and Space Science. 2012. DOI: 10.1016/j.pss.2012.05.014
12. Mitrofanov I. G., et al. *Water and hydroxyl on the Moon as revealed by neutron spectroscopy*. Science. 2010. DOI: 10.1126/science.1185696

13. Kulcinski G. L., Schmitt H. H. *Helium-3 on the Moon: potential for future energy*. Fusion Technology Institute Report. 2010.
14. Johnson J. R., et al. *Solar wind implantation of helium-3 in lunar soils*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1999. DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00085-5
15. Spudis P. D. *The Value of the Moon: How to Explore, Live, and Prosper in Space Using the Moon's Resources*. Smithsonian Books, 2016.
16. Paige D. A., et al. *Diviner Lunar Radiometer observations of cold traps*. *Science*. 2010. DOI: 10.1126/science.1187726
17. Crawford I. A. *Lunar resources: A review*. *Progress in Physical Geography*. 2015. DOI: 10.1177/0309133314567585
18. Laretta D. S., et al. *The composition of Bennu as revealed by OSIRIS-REx*. *Science*. 2019. DOI: 10.1126/science.aay3544
19. Tachibana S., et al. *Hayabusa2: Returning samples from the carbonaceous asteroid Ryugu*. *Science*. 2021. DOI: 10.1126/science.abh0131
20. Elkins-Tanton L. T., et al. *Psyche: A journey to a metal world*. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 2020. DOI: 10.1029/2019JE006296
21. Moazen, S., Gosselin, F. P., Tabiai, I., & Dubé, M. 3D printing LDPE/lunar regolith simulant composite: manufacturing with in-situ resources on the moon. *Acta Astronautica*, 2025, Vol. 237, pp. 409–420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.08.012>
22. Sanders G. B., Larson W. E. *Progress made in lunar in-situ resource utilization under NASA's Exploration Technology and Development Program*. 2013. DOI: 10.1109/AERO.2013.6497281
23. Zacny K., et al. *Drilling systems for planetary subsurface exploration*. *Acta Astronautica*. 2013. DOI: 10.1016/j.actaastro.2012.04.027
24. Siegler M. A., et al. *Lunar cold traps and volatile deposits*. *Nature*. 2015. DOI: 10.1038/nature14379
25. Allen C., et al. *NASA's Lunar Regolith Simulant Materials*. *Planetary and Space Science*. 1998. DOI: 10.1016/S0032-0633(98)00036-0

26. Ellis D. J., et al. *Electrolysis of molten lunar regolith for oxygen production*. Journal of Applied Electrochemistry. 2020. DOI: 10.1007/s10800-020-01425-y
27. Laretta D. S., et al. *OSIRIS-REx sample analysis from Bennu*. Science. 2021. DOI: 10.1126/science.abf1015
28. Shepard M. K. et al. *A radar survey of M-type asteroids: evidence for metal-rich near-Earth objects*. Icarus. 2017. DOI: 10.1016/j.icarus.2016.12.032
29. Hein A. M., Matheson R., Fries D., et al. *A techno-economic analysis of asteroid mining*. Acta Astronautica. 2018. DOI: 10.1016/j.actaastro.2018.01.048
30. Carrier W. D. *The Nature of Lunar Soil*. In: Lunar Sourcebook. Cambridge Univ. Press, 1991.
31. Jakhu R., Pelton J. *Global Space Governance and Space Mining*. Space Policy. 2017. DOI: 10.1016/j.spacepol.2017.06.002
32. Williamson M. *Space mining and the law: Are we ready?* Space Policy. 2018. DOI: 10.1016/j.spacepol.2018.04.002
33. Zacny K., Cooper G., et al. *Drilling in Low Gravity: Technologies for the Moon and Asteroids*. Planetary and Space Science. 2013. DOI: 10.1016/j.pss.2012.03.014
34. Tronchetti F. *The Exploitation of Natural Resources of the Moon and Other Celestial Bodies*. Springer, 2009.
35. de Gouyon Matignon C. *The new legal framework for space resources*. Journal of Air and Space Law. 2020.
36. Cockell C. *Planetary Protection and Resource Extraction*. Astrobiology. 2011. DOI: 10.1089/ast.2011.0694
37. Metzger P. T. *Optimization of ISRU Systems and Planetary Mining*. NASA Technical Report. 2016.
38. Sonter M.J. *Asteroid Mining-Technical, Economic and Environmental Considerations*. Acta Astronautica.1997. DOI:10.1016/S0094-5765(97)00047-3.
39. A.A. Kozhevnikov, B.T. Ratov, A.K. Sudakov, O.N. Mostinets. Experience Of Equipment Of Hydrogeological Well Of Cryogenic-Gravel Filter.

MINING OF MINERAL DEPOSITS 9 (4), 493-499.

40. А.О. Кожевников, А.Ф. Камишацький, А.А. Лексики. Технології обладнання бурових свердловин гравійними фільтрами. Породоруйнівний та мета-лообробний інструмент – техніка та технологія його виготовлення та застосування: Збірник наукових праць.- Вип. 18. - Київ: ІСМ ім. Бакуля НАН України 2015 року. 69-74.

41. A.J. Dreus, A.K. Sudakov, A.A. Kozhevnikov, J.M. Vahalin Study on thermal strength reduction of rock formation in the diamond core drilling process using pulse flushing mode. "Scientific Bulletin of NMU". 2016. №3(153). pp. 5–9.

42. A. Dreus, A. Sudakov, A. Kozhevnikov, K. Lysenko Investigation of heating of the drilling bits and definition of the energy efficient drilling modes. Eastern- European Journal of Enterprise Technologies. Technologies – 2016. – Vol.3. – No 7 (81). – 41–46.

43. Kononenko M., Khomenko O., Sudakov A., Drobot S., Lkhagva T. Numerical modelling of massif zonal structuring around underground working. Mining of Mineral Deposits. ISSN 2415-3443 (Online) | ISSN 2415-3435 (Print) Journal homepage <http://mining.in.ua>, Volume 10 (2016), Issue 2, pp. 1-8

44. А.О. Козhevnykov, А.Ю. Dreus, Baochang Liu, А.К. Sudakov Drilling fluid circulation rate influence on the contact temperature during borehole drilling. Scientific Bulletin of NMU. 2018. №1(163). pp. 35-43. DOI: 10.29202/nvngu/2018-1/14

45. A. Sudakov, A. Dreus, A. Sudakova, O. Khamininch The study of melting process of the new plugging material at thermomechanical isolation technology of permeable horizons of mine opening. E3S Web of Conferences. Volume 60, 2018. p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000027>

46. А.К. Судаков, Б.Т. Ратов, В.Л. Хоменко, С.К. Муратова, Д.А. Судакова, Е.Ж. Омирзакова Освоєння, експлуатація та ремонт бурових свердловин на рідкі та газоподібні корисні копалини. Монографія. Міністерство освіти і науки Республіки Казахстан, Каспійський громадський університет. – С.:

КОУ, 2019.

47. A. Sudakov, A. Dreus, Y. Kuzin, D. Sudakova, B. Ratov, O. Khomenko A thermomechanical technology of borehole wall isolation using a thermoplastic composite material. E3S Web of Conferences 109, 00098 (2019) Essays of Mining Science and Practice 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900098>

48. А.К.Судаков, Д.А. Судакова Ізоляція поглинаючих горизонтів бурових свердловин термопластичними матеріалами. Породоруйнівний та металообробний інструмент – техніка та технологія його виготовлення та застосування: Збірник наукових праць.- Вип. 22. - Київ: ІСМ ім. Бакуля НАН України 2019 року. С. 115-126. DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-115-126

49. М. М. Студент Г. Ст. Похмурська, О. До. Судаков, О. Р. Дзюбік, О. А. Войтович. Механічні характеристики шарів, наплавлених за дії механічної вібрації деталей. Породоруйнівний та металообробний інструмент – техніка та технологія його виготовлення та застосування: Збірник наукових праць.- Вип. 22. - Київ: ІСМ ім. Бакуля НАН України 2019 року. С. 133-148. DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-133-148

50. Andrii Sudakov, Ihor Chudyk, Diana Sudakova, Liudmyla Dziubyk. Innovative isolation technology for swallowing zones by thermoplastic materials. E3S Web of Conferences. Volume 123. 2019. p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301033>

51. A. Sudakov, A. Dreus, B. Ratov, O. Sudakova, O. Khomenko, S. Dziuba, D. Sudakova, S. Muratova, M. Ayazbay. Substantiation of thermomechanical technology parameters of absorbing levels isolation of the boreholes. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. Vol. 2, Number 440 (2020), 63 – 71pp. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.32>

52. Фем'як Я. М., Чудик І. І., Судаков А.К., Якимечко Я. Я., Федик О.М. Практичне використання кавітаційних процесів у бурінні свердловин.

Монографія. - Дрогобич: «Посвіт», 2021

53. O. Maksymovych, T. Solyar, A. Sudakov, I. Nazar, M. Polishchuk. Determination of stress concentration near the holes under dynamic loadings. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021, № 3. Pp. 19-24
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-3/019>

54. Maksymovych O., Lazorko A., Sudakov A., Hnatiuk O., Mazurak A., Dmitriiev O. Stress Concentration in Bounded Compositeplates with Carbon Reinforcement. *Actual Challenges in Materials Science and Processing Technologies II. Advanced Materials Research. Vol. 1045*, pp 147-156. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1045.147>

55. Chudyk I.I. , Femiak Ya.M., Orynychak M.I., Sudakov A.K., Riznychuk A.I. New methods of preventing crumbling and collapse of the borehole walls. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021, № 4. Pp. 17-22
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-4/017>

56. Судаков А. К., Фем'як Я.М., Чудик І.І., Федик О. М. , Щуцький В.І. Буріння свердловин на воду. : навчальний посібник – Дрогобич, «Посвіт», 2022.

57. M. Biletskiy, B. Ratov, A. Sudakov, D. Sudakova, V.Borash, Modeling of drilling water supply wellswith airlift reverse flush agent circulation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, № 1, 53-60.
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/053>

58. Судаков А.К., Шумов А.С., Передерій Н.О. Сучасні технології виробництва блокових гравійних фільтрів для гідрогеологічних свердловин. XVI Міжнародна науково-практична конференція Української школи гірничої інженерії «Комплексний видобуток мінеральної сировини при впровадженні інноваційних технології переробки відходів у контексті сталого розвитку та ESG- стратегії» (2.10-7.10.23)

59. G. Umirova, A. Sudakov, A. Kutybaev, D. Sudakova. Selection and justification of binding material for polymer-gravel composite of block type inverse gravel filter. *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*, Jelgava,

21.- 23.05.2025, pp. 414 – 422 <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF089>

60. G. Umirova, A. Sudakov, D. Pobidynskyi, A. Seidaliyev. Innovative technologies for equipping operational wells with systems for mechanical purification of liquid and gaseous mineral resources. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, Jelgava, 21.-23.05.2025, pp. 390 – 399/ <https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF085>

61. Судаков А.К., Дригола М.А. Аналіз технологій ліквідації поглинань промивальної рідини. Науковий вісник ДонНТУ, (2025). 1(14), 220–235. <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2025-1-14-220-235>

62. ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. 34 p.

63. ISO 14644-1:2015 Cleanrooms and associated controlled environments – Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. 28 p.

64. ISO 24113:2019 Space systems – Space debris mitigation requirements. Geneva: International Organization for Standardization, 2019. 22 p.

65. ISO 17666:2016 Space systems – Risk management. Geneva: International Organization for Standardization, 2016. 30 p.

66. COSPAR Planetary Protection Policy. Committee on Space Research (COSPAR). Paris: COSPAR Publications, 2021. 15 p.

67. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.

68. ISO 31000:2018. Risk management - Guidelines. International Organization for Standardization.

69. ECSS-Q-ST-40C. Safety requirements for space systems. European Cooperation for Space Standardization.

70. ECSS-E-ST-32C. Thermal control general requirements. European Cooperation for Space Standardization.

71. Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ від 14.10.1992 (зі змінами).
72. NASA Systems Engineering Handbook. NASA/SP-2007-6105 Rev1.
73. ESA Space Safety Programme. European Space Agency, 2022.
74. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпека машин. Електрообладнання машин. Частина 1: Загальні вимоги.
75. Ковальчук В.І., Сидоренко О.М. Охорона праці в галузях промисловості. – Київ: Центр учбової літератури, 2020.
76. Гаврилук О.В. Управління ризиками в технічних системах. – Харків: НТУ «ХП», 2019.
77. Статті та матеріали з офіційного сайту NASA (<https://www.nasa.gov>) та ESA (<https://www.esa.int>), використані для аналізу космічних стандартів безпеки.
78. Коровяка Є.А. Програма та методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за спеціальністю 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Є.А. Коровяка, А.К. Судаков, В.Л. Хоменко; нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д., : НТУ «ДП», 2019. – 30 с.

З повним текстом кваліфікаційної роботи є можливість ознайомитись
на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння:

49005 м. Дніпро,
пр. Дмитра Яворницького, 19,
корпус 7, кімнати 701-705,
<https://trkk.nmu.org.ua/ua/>