

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Мекшун Микита Романович

УДК 622.277:622.24.051.68

ДИСЕРТАЦІЯ
**ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ
ГІДРОМОНІТОРНОГО БУРА ДЛЯ УМОВ БУРІННЯ
ГЕОТЕХНОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН**

185 – Нафтогазова інженерія та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання чужих ідей,
результатів і текстів мають посилання на відповідне джерело

_____ М.Р. Мекшун

Науковий керівник
кандидат технічних наук, доцент
Коровяка Євгеній Анатолійович

Дніпро – 2024

АНОТАЦІЯ

Мекишун М.Р. Обґрунтування раціональних параметрів роботи гідромоніторного бура для умов буріння геотехнологічних свердловин. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 185 – Нафтогазова інженерія та технології, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2024.

Дисертаційна робота присвячена питанням підвищення ефективності процесу спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин за рахунок раціоналізації параметрів роботи гідромоніторного бура.

У роботі проведено аналіз технологій спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин. Розроблено конструкцію гідромоніторного бура з раціональними параметрами роботи для умов буріння геотехнологічних свердловин. Проведено розробку моделі впливу параметрів роботи гідромоніторного бура на ефективність спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин. Обґрунтовано деякі типи промивальних рідин для підтримки параметрів роботи гідромоніторного бура на раціональному рівні, а також збереження стійкості стінок стовбура свердловини.

Дослідження особливостей конструювання та експлуатації породоруйнівного інструменту виконано із застосуванням сучасних методів аналітичних і експериментальних досліджень із використанням математичного та фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень, контрольовано-вимірювальних приладів і відповідних матеріалів.

Вперше з використанням програми загального параметричного моделювання встановлено залежність між конструктивними параметрами гідромоніторної насадки бура та ефективністю спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин, а також встановлено діапазон раціональних технологічних параметрів бурових промивальних рідин, що дозволяють підтримувати високий рівень механічної швидкості буріння та стійкість стінок стовбура свердловини.

У роботі вирішено завдання удосконалення гідромоніторного бура, в якому інше конструктивне виконання забезпечує: ефективне направлене руйнування гірського масиву; компактність і рухливість пристрою; оперативність корегування характеристик потоку; застосування пристрою в схемах буріння та розширення свердловин.

За допомогою програмного пакету MATLAB проведено чисельне моделювання динаміки руху рідини при електромагнітній взаємодії для поточного розрахунку гідромоніторного бура. Моделювання роботи бура здійснено із використанням програми моделювання потоку Solidworks Flow Simulation, що використовує метод кінцевого об'єму (FVM), який дозволяє розраховувати параметри за допомогою різних сценаріїв та використовувати отримані результати для оптимізації.

За результатами проведених експериментальних досліджень запропоновано регламент термічної обробки, як основного чинника підвищення стійкості конструкції гідромоніторного бура до впливу різних навантажень, наприклад гідроудару, що буде призводити до появи тріщин, течій, збоїв балансу тиску, проривів, аж до повного руйнування конструкції гідромоніторного бура, що в умовах свердловини призведе до серйозної аварії. В ході досліджень показано, що основним параметром, який впливає на здатність сталевому корпусу бура витримувати знакозмінні навантаження, є ударна в'язкість.

У роботі показано, що додатково підсилити ефективність роботи розробленого бура може застосування структурованих рідин (глинистих бурових розчинів) для руйнування осадових порід; досягнути вказаного можна за рахунок посилення руйнуючого впливу, похідної величини густини, в'язкості рідини та напруги зсуву. Вказане сприяє збільшенню швидкості ерозії породи без необхідності значного збільшення швидкості потоку. Сформувані структурні властивості у промивальних рідин здатні глинисті порошки, ПАР та полімери, особливо в комплексній взаємодії.

Для зниження водовіддачі приготованих глинистих розчинів, і тим самим збереження стійкості стінок стовбура свердловини, пропонується застосовувати вуглелужний реагент.

Обґрунтовано показано, що при проходці осадових товщ, характерних для геотехнологічних свердловин, виникає також питання забезпечення стійкості стінок стовбура свердловини, що може бути досягнуто за рахунок застосування силікатних і силікатно-гумінових розчинів.

Лабораторними дослідженнями доведено, що показники якості глинистих розчинів істотно змінюються під впливом ПАР, що обумовлює необхідність попередньої, лабораторної розробки складів і способів приготування з урахуванням якості глини і природи ПАР. Також доведена ефективність застосування структуроутворювача ПЕГ (поліетиленгліколь), добавки якого дозволяють отримати прийнятні властивості і паралельним зниженням витрати глинистого порошку. Залежно від типу породи та концентрації полімеру швидкість рідини може бути нижчою, ніж для звичайної води, оскільки полімерна добавка покращує проникнення та зчеплення струменя з породою.

Ключові слова: гідромоніторний бур, свердловина, геотехнологія, промивальна рідина, моделювання, гірські породи, полімер, хімічна обробка, поверхнево-активна речовина, руйнування, технологічний режим.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

1. Коровяка, Є.А., Ігнатов, А.О., Давиденко, О.М., Мекшун, М.Р. (2023). Аналіз деяких властивостей промивальних рідин та їх впливу на показники процесу буріння свердловин. Інструментальне матеріалознавство: Збірник наукових праць ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, (26), 58-68.

Особистий внесок здобувача полягає в аналітичному вивченні окремих питань взаємодії поверхнево-активних речовин із промивальними рідинами та обґрунтуванні механізму впливу означених речовин на гідравлічні характеристики руху потоку промивальної рідини в стовбурі свердловини.

2. Павличенко, А.В., Ігнатов, А.О., Коровяка, Є.А., Барташевський, С.Є., Коротка, І.Ю., Мекшун, М.Р. (2021) Основи організації системи гідравлічного очищення свердловин. Збірник наукових праць НГУ, 67, 136-152. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.136>

Особистий внесок здобувача полягає в аналітичному огляді методики визначення рецептур високоякісних промивних рідин і розробці окремих елементів досконалої технології їх застосування в поєднанні з сучасним обладнанням і інструментом.

3. Strilets O. P., Pcholkin H. D., Mekshun M. R. (2018) Features of formation of technogenic limestone deposits. Збірник наукових праць НГУ, 56, 101-115.

Особистий внесок здобувача полягає у вивченні основних механічних властивостей гірських порід та формулюванні висновків щодо можливості застосування певних способів руйнування гірського масиву.

4. Strilets O. P., Pcholkin H. D., Zhmura D. S., Mekshun M. R. (2018) Investigation and substantiation of efficiency of working out of a draft with dragline from one position with moving of a ground to an angle to 220 degrees at working out of smooth deposits. Збірник наукових праць НГУ, 54, 117-127.

Особистий внесок здобувача полягає у дослідженні параметрів міцності гірських порід з огляду на їх здатність чинити опір руйнуванню при різних механізмах впливу, які супроводжують процеси проведення гірничих робіт.

5. Коровяка, Є.А., Мекшун, М.Р. (2024). Дослідження технології виготовлення корпусів гідромоніторних бурів з оптимальними експлуатаційними характеристиками. Інструментальне матеріалознавство: Збірник наукових праць ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, (27), 99-105.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналітичних досліджень щодо вивчення механізму впливу термічної обробки на стан матеріалів для виготовлення деталей гідромоніторного буру та математичній обробці результатів проведення промислових досліджень термообробки металів.

Статті в періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу, з відповідною до наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію здобувача

6. Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O., Pavlychenko, A.V., Valouch, Karel, Rastsvietaiev, V.O., Matyash, O.V., Mekshun, M.R. and Shypunov, S.O. (2023). Studying the Performance Features of Drilling Rock Destruction and Technological Tools. Journal of Superhard Materials, 45(6), 466-476. <https://doi.org/10.3103/S1063457623060059>

Особистий внесок здобувача полягає в аналітичному огляді та вивченні механізму руйнування гірських порід при різних способах буріння свердловин.

7. Koroviaka, Y. A., Mekshun, M. R., Ihnatov, A. O., Ratov, B. T., Tkachenko, Y. S., & Stavychnyi, Y. M. (2023). Determining Technological Properties of Drilling Muds. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (2), 25-32. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/025>

Особистий внесок здобувача полягає в участі при проведенні лабораторних досліджень щодо вивчення властивостей бурових промивальних рідин та математичній обробці їх результатів, а також у формулюванні висновків щодо впливу хімічної обробки промивальних рідин на технологічні властивості промивальних рідин.

Патенти

8. Азюковський О.О., Павличенко А.В., Ігнатов А.О., Коровяка Є.А., Хоменко В.Л., Пащенко О.А., Мекшун М.Р., Шипунов С.О. (2022). Гідромоніторний бур. Патент на корисну модель № 151461, Україна.

9. Азюковський, О.О., Ігнатов, А.О., Коровяка, Є.А., Расцветаєв, В.О., Мекшун М.Р., Аскеров І.К. (2023). Бурова коронка. Патент на корисну модель № 152416, Україна.

Матеріали наукових конференцій

10. Koroviaka Y., Ihnatov A. O., Mekshun M. Some functional features of the use drilling fluids during the construction of wells. Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources : 6rd international scientific and technical conference, Petroșani, 16 November 2023. Petroșani, Romania, 2023. P. 91-93.

11. Коровяка Є., Ігнатов А. О., Мекшун М. Питання забезпечення раціональності гідравлічної програми промивання свердловин. Геотехнічні проблеми розробки родовищ : Матеріали ХХІ міжнар. конф. молодих вчен., м. Дніпро, 26 жовтня 2023 р. Дніпро, 2023. С. 82-84.

12. Коровяка, Є., Ігнатов, А., Давиденко, О., Дмитрук, О., Мекшун, М., Аскеров, І. (2021). Вивчення особливостей механіки роботи спеціального породоруйнівного інструменту. Український гірничий форум – 2021 : Матеріали міжнародної конференції (4-5 листопада 2021 р. м. Дніпро), С. 244-253.

13. Мекшун М.Р., Коровяка Є.А. (2021). Аналіз відомих конструкцій твердосплавних бурових коронок армованих твердосплавними вставками. Молодь: наука та інновації: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 11-12 листопада 2021 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – С. 462-464.

14. Мекшун М.Р., Аскеров І.К., Ігнатов А.О. (2020). Шляхи вдосконалення та раціональні показники технології гідромеханічного буріння. Молодь: наука та інновації – 2020: Матеріали VIII Ювілейної Всеукраїнської науково-технічної

конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпро, 26-27 листопада 2020 року). – Д.: НТУ «ДП», 2020. – С. 5-6.

15. Мекшун М.Р., Коровяка Є.А. (2024). Уточнення відомостей про особливості реалізації технології промивання свердловин в складних умовах. «Наукова весна» 2024: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 27-29 березня 2024 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. С. 17.

16. Мекшун М.Р. (2024). Деякі відомості про магнітогідродинамічний принцип роботи гідромоніторного буру. «Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 6 листопада 2024 року / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» – Полтава : НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. С. 353-355.

ABSTRACT

Mekshun M.R., Substantiation of the rational parameters of the hydromonitoring drill for the conditions of drilling geotechnological wells. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Qualifying research paper manuscript copyright.

Thesis of the scientific degree of the Philosophy Doctor (PhD) in specialty 185 Oil and gas engineering and technologies – Dnipro University of Technology, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2024.

The dissertation is devoted to the issues of increasing the efficiency of the process of construction of the subsurface zone of geotechnological wells due to the rationalization of the parameters of the hydromonitoring drill.

The paper analyzes the technologies for constructing the bottomholezone of geotechnological wells. The construction of a hydromonitoring drill with rational operating parameters for the conditions of drilling geotechnological wells has been developed. The development of a model of the influence of the operating parameters of the hydromonitoring drill on the efficiency of the construction of the subsurface zone of geotechnological wells was carried out. Some types of flushing fluids are substantiated for maintaining the operating parameters of the hydromonitoring drill at a rational level, as well as maintaining the stability of the walls of the wellbore.

The study of the features of construction and operation of the rock-destructive tool was carried out using modern methods of analytical and experimental research with the use of mathematical and physical modeling, methods of processing research results, control and measuring devices, relevant materials.

For the first time, using the general parametric modeling program, the relationship between the design parameters of the hydromonitoring drill nozzle and the efficiency of the construction of the near-cut zone of geotechnological wells was determined, as well as the range of rational technological parameters of drilling flushing fluids, which allow maintaining a high level of mechanical drilling speed and stability, was established wellbore walls.

The work solves the problem of improving the hydromonitoring drill, in which a different design provides: effective directed destruction of the rock massif; compactness

and mobility of the device; efficiency of adjusting flow characteristics; application of the device in the schemes of drilling and expansion of wells.

With the help of the MATLAB software package, we carried out a numerical simulation of the dynamics of fluid movement under electromagnetic interaction for the current calculation of the hydromonitoring drill. The simulation of the drill operation was carried out using the Solidworks Flow Simulation program, which uses the finite volume method (FVM), which allows you to calculate parameters using different scenarios and use the obtained results for optimization.

Based on the results of experimental studies, a thermal treatment schedule was proposed as the main factor in increasing the stability of the hydromonitor drill structure to the effects of various loads, for example hydraulic impact / water hammer , which will lead to the appearance of cracks, currents, pressure balance failures, breakthroughs, up to the complete destruction of the structure of the hydromonitoring drill, which in well conditions will lead to a serious accident. In the course of research, it was shown that the main parameter that affects the ability of the steel casing of the drill to withstand alternating loads is impact toughness.

The work shows that the use of structured fluids (clay drilling muds) for the destruction of sedimentary rocks can additionally increase the efficiency of the developed drill; this can be achieved by increasing the destructive effect, the derivative of density, liquid viscosity and shear stress. This helps to increase the rate of erosion of the rock without the need for a significant increase in the flow rate. Clay powders, surfactants and polymers are able to form structural properties in washing liquids, especially in a complex interaction.

It is suggested to use a carbon-alkaline reagent to reduce the water yield of the prepared clay solutions, and thereby preserve the stability of the wellbore walls.

It is reasonably shown that during the penetration of sedimentary strata characteristic of geotechnological wells, there is also the issue of ensuring the stability of the walls of the wellbore, which can be achieved through the use of silicate and silicate-humic solutions.

Laboratory studies have proven that the quality indicators of clay solutions change significantly under the influence of surfactants, which necessitates the preliminary laboratory development of compositions and methods of preparation taking into account the quality of clay and the nature of surfactants. The effectiveness of the use of PEG (polyethylene glycol) structuring agent has also been proven, the addition of which allows obtaining acceptable properties and a parallel reduction in the consumption of clay powder. Depending on the type of rock and the concentration of the polymer, the fluid velocity may be lower than for ordinary water, as the polymer additive improves the penetration and adhesion of the jet to the rock.

Key words: hydromonitoring drill, well, geotechnology, flushing fluid, modeling, rocks, polymer, chemical treatment, surfactant, destruction, technological regime.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	14
Розділ 1	ГЕОТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВІДПРАЦЮВАННЯ РОДОВИЩ ТА КОНСТРУТИВНІ ОЗНАКИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	19
1.1	Характеристичні ознаки геотехнологічних свердловинних схем та конструктивні ознаки технічних засобів для них.....	19
1.2	Аналіз способів буріння геотехнологічних свердловин та їх конструктивного оформлення.....	28
1.3	Технічні і технологічні фактори забезпечення створення раціональних умов відпрацювання родовищ геотехнологічними методами.....	33
1.4	Технологічні основи підвищення ефективності прийомів спорудження геотехнологічних свердловин.....	37
1.5	Постановка мети і завдань досліджень.....	45
	Висновки до першого розділу.....	48
	Перелік використаних джерел у розділі 1.....	49
Розділ 2	ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД.....	54
2.1	Система забезпечення свердловинних видобувних робіт за допомогою гідравлічного руйнування гірських порід.....	54
2.2	Дослідження умов гідравлічного руйнування та швидкісних характеристик струминного потоку рідини.....	60
2.3	Буріння свердловин із застосуванням ефекту гідравлічного руйнування гірського масиву.....	64
2.4	Обґрунтування технологічних параметрів гідромоніторного бура для умов буріння геотехнологічних свердловин.....	78
	Висновки до другого розділу.....	91
	Перелік використаних джерел у розділі 2	92
Розділ 3	ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ГІДРОМОНІТОРНИХ БУРІВ З ОПТИМАЛЬНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	95
3.1	Аналіз термічної обробки сталей.....	95
3.2	Методика дослідження впливу термічної обробки на ударну в'язкість та зносостійкість сталі для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів.....	101

3.3	Результати дослідження впливу термічної обробки на ударну в'язкість та зносостійкість сталі для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів.....	113
	Висновки до третього розділу.....	123
	Перелік використаних джерел у розділі 3	124
Розділ 4	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИВАННЯ ГЕОТЕХНОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН.....	126
4.1	Режимно-технологічні параметри процесу буріння геотехнологічних свердловин при використанні активованих промивальних рідин.....	126
4.2	Промивка геотехнологічних свердловин в складних гірничо-геологічних умовах.....	138
4.3	Використання хімічної обробки при створенні раціональних умов очищення геотехнологічних свердловини від продуктів руйнування.....	141
4.4	Екологічний, економічний та соціальний ефекти при впровадженні геотехнологічних свердловинних методів розробки родовищ.....	154
	Висновки до четвертого розділу.....	157
	Перелік використаних джерел у розділі 4	158
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	164
	ДОДАТОК А Патент на корисну модель. Гідромоніторний бур.....	166
	ДОДАТОК Б Методика визначення технологічних параметрів промивальних рідин.....	174
	ДОДАТОК В Технологічна інструкція по виробництву корпусів гідромоніторних бурів.....	175
	ДОДАТОК Г Методика визначення раціональних параметрів технології буріння неглибоких свердловин із розширеною привибійною зоною.....	176
	ДОДАТОК Д Акт впровадження результатів дисертаційної роботи.....	177

ВСТУП

Актуальність теми. Враховуючи значне виснаження нафтових ресурсів, стрімко зростає увага дослідників і практиків до розвитку нетрадиційних методів отримання вуглеводневих та хімічних продуктів, зокрема це відноситься до можливості використання вугілля в якості джерела названих корисних компонентів. Перспективність проведення зазначених досліджень переконливо підтверджується достатньо великими запасами вугілля в порівнянні із нафтовими і газовими. Сказане стосується і запасів вугілля в Україні. Враховуючи необхідність значних капіталовкладень в процесі спорудження капітальних гірничих виробок, в ході повоєнного відновлення і сталого розвитку промислового сектору економіки України, особливого значення набувають альтернативні методи отримання аналізованої сировини, до найбільш продуктивних з яких відносяться геотехнологічні (свердловинні) методи підземного гідровидобутку та підземної газифікації вугілля.

Сутність геотехнологічних методів, для умов підземного гідровидобутку (при якому тверді корисні копалини, зокрема вугілля, переводяться на місці залягання в гідросуміш) та підземної газифікації (має за базу фізико-хімічне перетворення вугілля в певні горючі гази в глибинних покладах), полягає в спорудженні вертикальних свердловин, об'єднуючих поверхневе видобувне обладнання з покладом корисної копалини, з наступним утворенням камер видобутку в інтервалі продуктивного горизонту. До найбільш раціональних методів формування стовбура свердловин в товщі гірських порід, окрім механічного методу, можна віднести гідромоніторний, переваги якого особливо яскраво проявляються при створенні привибійної частини видобувної свердловини (розміри якої багато в чому будуть визначати продуктивність методу), яка потребує свого достатньо значного розширення в горизонтальній площині, що є недоступним для механічних породоруйнівних інструментів.

Розглянуті методи видобутку корисних копалин, з використанням свердловин та гідромоніторних принципів руйнування гірського масиву, дозволяють спростити та здешевити видобуток, виробляти відпрацювання бідних родовищ, а також

родовищ, що характеризуються складними умовами залягання. Геотехнологічні процеси, окрім розглянутих, також містять у собі підземне вилуговування металів, розчинення солей та виплаву сірки тощо. Саме геотехнологічні методи об'єднують видобуток і переробку в єдиний ланцюг, перетворюючи мінерали в рухомий стан за допомогою хімічних, фізичних, теплових і гідродинамічних процесів. Ці підходи мають низку переваг, серед яких зниження трудових ризиків, мінімізація впливу на навколишнє середовище, зменшення потреби у виробничих потужностях та підвищення ефективності завдяки зменшенню відходів при транспортуванні та переробці.

Ефективність спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин визначається часом спорудження та діаметром зони розширення. Час спорудження основного стовбура і привибійної зони визначається швидкістю розмиву гірської породи гідромоніторним струменем та впливає на стійкість порід в означених інтервалах; саме тому розробка технічних засобів зі спорудження основного стовбура видобувної свердловини та її привибійної зони, а також технологічних прийомів підтримки стійкості стінок свердловини є **актуальним науковим завданням**.

Мета досліджень – підвищення ефективності процесу спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин за рахунок раціоналізації параметрів роботи гідромоніторного бура.

Для досягнення поставленої мети сформульовано й виконано завдання:

1. Аналіз технологій спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин.
2. Обґрунтування та розробка конструкції гідромоніторного бура з раціональними параметрами роботи для умов буріння геотехнологічних свердловин.
3. Моделювання впливу параметрів роботи гідромоніторного бура на ефективність спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин.
4. Обґрунтування типу промивальної рідини для підтримки параметрів роботи гідромоніторного бура на раціональному рівні.

Ідея роботи полягає у використанні закономірностей формування та руйнуючої дії на гірський масив високошвидкісних струменів рідини при створенні технічних засобів та технологічних прийомів спорудження свердловин підземного гідровидобутку та підземної газифікації вугілля.

Об'єктом дослідження є процес спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин гідромоніторним буром.

Предметом дослідження є вплив параметрів роботи гідромоніторного бура на ефективність процесу спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин.

Методи дослідження. Дослідження особливостей конструювання та експлуатації породоруйнівного інструменту виконано із застосуванням сучасних методів аналітичних і експериментальних досліджень із використанням математичного та фізичного моделювання, методик обробки результатів досліджень, контрольно-вимірювальних приладів і відповідних матеріалів. У роботі використано комплексний підхід, який містить теоретичні дослідження та використання програми загального параметричного моделювання потоку Solidworks Flow Simulation, що використовує метод кінцевого обсягу (FVM), який дозволяє розраховувати параметри за допомогою різних сценаріїв та використовувати отримані результати для оптимізації. Лабораторними способами вивчалися напрями обґрунтування типу промивальної рідини для підтримки параметрів роботи гідромоніторного бура на раціональному рівні.

Наукова новизна одержаних результатів:

- уперше з використанням програми загального параметричного моделювання встановлено залежність між конструктивними параметрами гідромоніторної насадки бура та ефективністю спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин;
- уперше встановлено діапазон раціональних технологічних параметрів бурових промивальних рідин, що дозволяють підтримувати високий рівень механічної швидкості буріння та стійкість стінок стовбура свердловини.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни швидкості гідромоніторного струменя, залежно від діаметра критичного перетину гідромоніторної насадки та кута розкриття її дифузора, при роботі бура.

Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів та висновків забезпечується коректною постановкою й розв'язанням задач із використанням положень гідравліки і механіки гірських порід, порівнянням результатів досліджень з нормативними документами, проведенням обчислювальних експериментів та моделюванням з аналізом отриманих результатів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено нову конструкцію гідромоніторного бура з раціональними параметрами роботи для умов буріння геотехнологічних свердловин. Розроблено раціональні значення технологічних параметрів бурових промивальних рідин при гідромоніторному бурінні геотехнологічних свердловин.

Впровадження результатів роботи. Результати дисертаційної роботи впроваджено у вигляді: «Методики визначення раціональних параметрів технології буріння неглибоких свердловин із розширеною привибійною зоною»; отримано акт впровадження результатів дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» відповідно до Національного плану дії в галузі енергетики до 2030 року за № 687, затвердженого Міністерством енергетики та вугільної промисловості України в 2018 році та планом держбюджетної тематики «Розробка методичних основ гідромеханічного буріння свердловин різного призначення» (*№ держреєстрації теми 0121U112058*).

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети і завдань, об'єкта і предмета досліджень, ідеї роботи і наукових положень, аналізу сучасного стану геотехнологічних методів розробки родовищ корисних копалин, розробці моделі роботи гідромоніторного бура, розробці методики забезпечення механічної стійкості гідромоніторного бура, обґрунтуванні раціональних параметрів програми промивання свердловин при застосуванні гідромоніторного бура.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації оприлюднені у виступах семи конференцій: 6-rd international scientific and technical conference, Petroșani, 16 November 2023. Petroșani, Romania; Геотехнічні проблеми розробки

родовищ: Міжнар. конф. молодих вчених, Дніпро, 26 жовт. 2023 р.; Український гірничий форум – 2021, 4-5 листопада 2021 р., Дніпро; Молодь: наука та інновації: ІХ Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 11-12 листопада 2021 року; VIII Ювілейна Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, Дніпро, 26-27 листопада 2020 року; XIV Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 27-29 березня 2024 року; Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики», 6 листопада 2024 року, Полтава.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 16 наукових праць: 5 статей у періодичних виданнях, включених до переліку фахових видань України, 2 статті у періодичних виданнях, що індексовані у базах даних Scopus і WoS, 7 публікацій у збірниках матеріалів всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференцій, а також 2 патенти.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, списку літературних джерел до кожного розділу та 5 додатків. Робота містить 145 сторінок основного тексту, 64 рисунки та 31 таблицю, загальний обсяг – 177 сторінки.

Розділ 1 ГЕОТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ВІДПРАЦЮВАННЯ РОДОВИЩ ТА КОНСТРУТИВНІ ОЗНАКИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

1.1 Характеристичні ознаки геотехнологічних свердловинних схем та конструктивні ознаки технічних засобів для них

Геотехнологічними вважаються методи хімічного, фізико-хімічного, біохімічного і мікробіологічного так званого безшахтного (у переважній більшості за допомогою бурових свердловин) видобування різноманітних корисних копалин на місці їх безпосереднього залягання [1]. Ефективність застосування геотехнологічних методів для видобутку твердих, рідких та газоподібних корисних копалин особливо яскраво виражена при освоєнні техногенних родовищ та таких, що відрізняються достатньо невеликим вмістом корисних компонентів, при малопотужних пластах копалин, а також за наявності розсіяних елементів. Геотехнологічними процесами виступає бактеріальне вилуговування комплексних хімічних сполук (розчинення їх відповідними мікроорганізмами у спеціальному середовищі) з наступним вилученням потрібних хімічних компонентів, підземне високотемпературне виплавляння сірки за допомогою гарячої води, підземне розчинення солей, підземний гідравлічний видобуток, підземна газифікація, причому останні методи раціонально застосовувати при розробці покладів вугілля, особливо низької якості.

Саме видобутку вугілля (зважаючи на його незрівнянно велику частку в балансі запасів вуглеводнів України), в різних інтерпретаціях цього процесу, повинна приділятися найбільша увага, оскільки його можна вважати чи не єдиною перспективною сировиною, розвіданих запасів якої потенційно вистачить для надійного забезпечення енергетичної безпеки України, а також сприяння сталому розвитку металургійного та хімічного сектору промисловості. Вказана обставина набуває особливого значення з огляду на необхідність швидкого повоєнного відновлення промисловості України при мінімально можливих капітальних вкладеннях. На поточний період, на світовому ресурсному ринку палива, вугілля займає головну позицію за об'сягами використання, що може бути пояснено

відносно невеликою його собівартістю, у співставленні із природним газом і нафтою, а також стабільністю цінової політики відносно нього. Приймаючи до уваги присутність для України проблематики значного виснаження родовищ нафти і природного газу, стає очевидною зацікавленість дослідників у розв'язанні питань створення ефективних заходів з комплексного та безвідхідного видобутку низькосортного вугільного палива, у тому числі при застосуванні прогресивних свердловинних геотехнологічних методів.

Можна констатувати наступне [2]: геотехнологічні методи це відносно проста комбінація всіх основних і допоміжних операцій з будівництва гірничих виробок (в цьому випадку бурових свердловин) і розробки родовищ, що дозволяє забезпечити повну механізацію і автоматизацію робіт, поліпшити умови праці і досягти високих показників вилучення корисних компонентів. До основних технологічних процесів, при свердловинному гідровидобутку вугілля, буде відноситися: розкриття родовища вугілля за допомогою свердловин, проведення гідравлічного руйнування (тобто розмиву) вугільного пласта високонапірними струменями рідини з отриманням зруйнованої маси у вигляді гідросуміші, свердловинний підйом гідросуміші на поверхню. Схема свердловинного гідравлічного видобутку вугілля наведена на рис. 1.1.

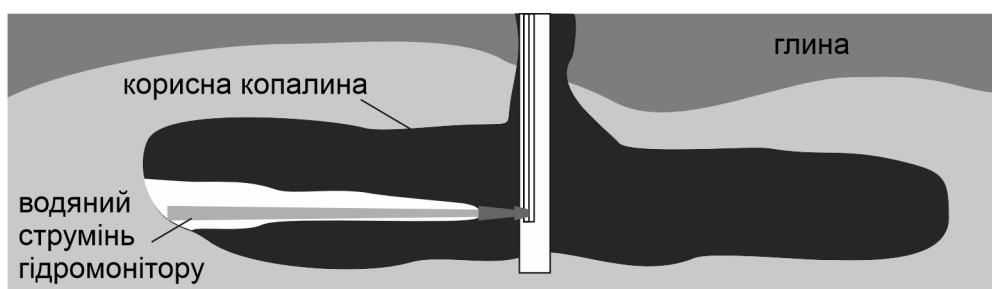


Рисунок 1.1 – Принципова схема свердловинного гідравлічного видобутку вугілля

Відповідно до рис. 1.1 можна побачити, що саме гідромоніторний струмінь є тим робочим органом, який забезпечує руйнування, гідравлічний змив та підйом зруйнованої гірничої маси. Використовувані при гідровидобутку гідромоніторні струмені рідини характеризуються розміром окремих гідравлічних структурних елементів, початковим тиском рідини в них на вильоті з гідромоніторних насадок,

силою швидкісного тиску на оброблювану поверхню на різних відстанях від насадки. Параметри обладнання для проведення свердловинного видобутку будуть залежати від характеристик міцності гірського масиву, глибини залягання гірських порід, поточного гідростатичного тиску в стовбурі свердловини. Гідромоніторні пристрої можуть бути телескопічного та поворотного виконання, а також вони можуть розташовуватися на гнучкому трубопроводі. Досліджуваний геотехнологічний метод дозволяє руйнувати та відпрацьовувати окремий вугільний пласт на повну потужність.

Ще одним перспективним геотехнологічним методом видобутку корисних копалин є свердловинна підземна газифікація вугілля з подальшим видобуванням та використанням продуктів газифікації [3].

Сутність процесу свердловинної підземної газифікації вугілля полягає у тому, що до вугільного пласта, який залягає на певній глибині під землею, по свердловинах, пробурених з поверхні, підводяться газоподібні реагенти, окремо або в сумішах (повітря, пара, кисень, вуглець). На певних стадіях термічної переробки вугільного пласта, у сформованому реакційному каналі, забезпечується контакт між поверхнею вугільного вибою із дуттям з метою отримання газоподібних продуктів газифікації, що виводяться на поверхню по свердловині.

Технологічна схема підземної газифікації буровугільного пласта потужністю 3,5 – 5,0 м з глибиною залягання 100 м наведена на рис. 1.2. Породи, що вміщували пласт, складались із глини та піску. Підготовка газогенератора виконувалась вертикальними свердловинами, розривом по вугільному пласту між ними, пропаленням реакційного каналу та розпалюванням вугілля й здійсненням газифікації.

Відповідно до визначення [4], свердловина являє собою циліндричну гірничу виробку, отриману з використанням спеціальних інструментів, що відрізняється великою довжиною і малим діаметром на етапі буріння (рис. 1.1). Розвідувальне буріння виявляє потенційні родовища копалин, визначаючи геологічні структури, умови залягання копалини та потужність її пластів. Експлуатаційне буріння забезпечує видобуток виявлених корисних копалин у промислових об'ємах.

Конструкція свердловини повинна відповідати загальним вимогам та забезпечувати надійне роз'єднання порід, збір геологічної інформації, оперативний контроль, довготривалу безаварійну експлуатацію, відповідний дебіту діаметр обсадної колони, стійкість, ефективну фіксацію кріплення у вигляді обсадних труб, аварійне глушіння та можливість трансформації.

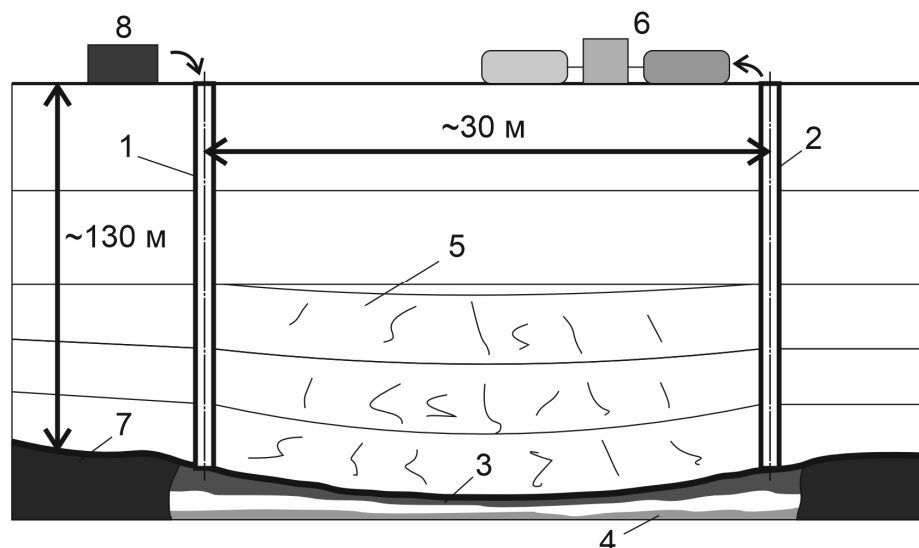


Рисунок 1.2 – Технологічна схема підземної газифікації [3]: 1 – дуттьова свердловина; 2 – газовідвідна свердловина; 3 – реакційний канал; 4 – золоталишок; 5 – деформовані породи; 6 – очищення генераторного газу підземної газифікації та лабораторний комплекс; 7 – вугільний пласт; 8 – компресор

Буріння має вирішальне значення для геології та економіки, надаючи цінну інформацію та будучи основним каналом отримання даних [5]. Воно широко використовується в будівництві, водопостачанні, видобутку корисних копалин, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, геотехнологіях [6].

Методи буріння свердловин варіюються в широких межах [7]. У практиці будівництва свердловин основне місце займають механічні методи руйнування гірських порід і їх різновид – обертальний спосіб. При вказаному методі руйнування гірської породи на вибої свердловини відбувається шляхом різання, сколювання і стирання спеціальними буровими інструментами (долотом, алмазним і твердосплавним колонковим інструментом і т.д.) [8].

Відносно призначення, свердловини підрозділяють на такі основні типи [9]: розвідувальні, за їх допомогою ефективно здійснюються пошуки і розвідка родовищ

різноманітних корисних копалин; експлуатаційні – використовуються для видобутку рідких (вода, розсоли, нафта) і газоподібних (горючий газ, гелій і ін.) корисних копалин; геотехнологічні – призначені для експлуатації в основному родовищ твердих корисних копалин фізико-механічними методами вилуговування, розплавлення і розчинення; інженерно-геологічні – для вивчення основних фізико-механічних властивостей та речовинного складу гірських порід перед початком різних форм будівництва, складних досліджень з метою попереднього вивчення певних геологічних структур та самого геологічного розрізу, постійного моніторингу результатів активної промислової діяльності, конкретного вивчення режиму і якості підземних вод; технічні (вибухові свердловини у відкритих та підземних гірничих виробках; свердловини для проведення заморожування пливунів, вентиляції підземних виробок та спорудження різних видів буронабійних паль; свердловини для будівництва фундаментів ліній електропередач, пониження рівня підземних вод шляхом скидання таких вод в нижні поглинаючі горизонти і т. ін.) [10].

Обертальне буріння з прямим промиванням застосовується для буріння в породах різної твердості і широко використовується для буріння в стійких породах [11]. При розробці пологих родовищ цей спосіб буріння має суттєві недоліки, оскільки вимагає застосування спеціальної техніки через недостатню стійкість стінок свердловини та наявність валунів різного розміру. В якості породоруйнівного інструменту використовуються долота (шарошкові гідромоніторні та лопатеві), а також різноманітної конструкції пікобури (рис. 1.3).

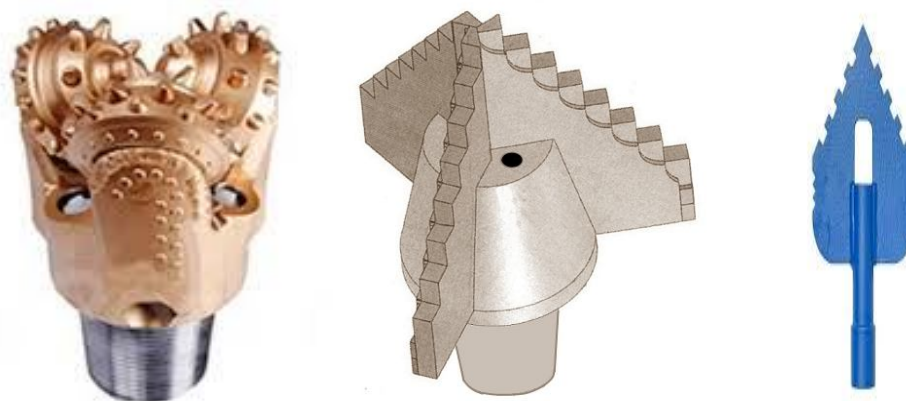


Рисунок 1.3 – Долота: шарошкове гідромоніторне, лопатеве та пікобур

Саме долота є основним породоруйнівним інструментом для буріння свердловин у нафтогазовій промисловості, геотехнологічних методах розробки різноманітних корисних копалин та геологорозвідці; зокрема бурові долота використовуються для спорудження вибухових свердловин в межах кар'єрів кольорової і чорної металургії, алмазних рудниках, а також при будівництві гідрогеологічних свердловин та всіх типів геотехнологічних [12].

Необхідно зазначити, що шарошкові долота є, мабуть, найскладнішим з усіх інструментів для буріння свердловин як з точки зору їх конструкції, так і технології виготовлення. Як показує існуюча практика буріння, одним з найважливіших елементів шарошкового долота є його оснащення та опорний вузол (підшипникові вузли тієї чи іншої конструкції), довговічність і ефективність роботи яких визначає ресурс роботи всього породоруйнівного інструменту [13].

Відмічено, що у більшості випадків підшипники опорного вузла пошкоджуються навіть при повністю справному оснащенні – фрезеровані армовані або твердосплавні зубки. Руйнування поверхневого шару певних деталей підшипників пов'язане з високими рівнями контактних напружень на поверхні, зумовлених малим радіусом кривизни поверхні контакту та її геометрією, і супроводжується відколами та руйнуванням великих і малих об'ємів. Підшипникові вузли вдосконалюються різними способами, включаючи: розробку нових конструкцій опорних підшипників, вибір найбільш ефективних матеріалів, розробку більш досконалих систем утримання тіл кочення, систем змащення і його здійснення та підтримку надійності та герметичності ущільнень [14].

На сьогоднішній день існує і застосовується величезна кількість варіантів виконання конструкцій оснащення і опорних вузлів, розроблених для шарошкових бурових інструментів різних типів і розмірів. Однак проблема створення нових конструкцій підшипників, які б надійно працювали під час експлуатації шарошкових доліт не тільки в міцних прошарках гірських порід, а й протягом усього терміну служби інструменту, залишається значною [15].

Таким чином, необхідно позначити: шарошкові долота доступні зі звичайною або гідромоніторною системою промивання. Традиційні системи промивання

включають внутрішню порожнину в долоті, звужений канал подачі і циліндричний промивний отвір, у якому швидкість бурового розчину коливається від 20 до 50 м/с. Система гідромоніторного промивання відрізняється від системи центрального тим, що центральний отвір в долоті заварений, а в корпусі долота виконано отвори, в які вставляються гідромоніторні вузли (спеціальні насадки різних конструкцій та матеріалу виготовлення). Швидкість потоку бурової промивальної рідини в таких насадках становить 80 - 120 м/с (для означених типів доліт можливо застосування так званої бокової продувки).

Необхідно також констатувати, що для чіткого розуміння ефекту гідромоніторного руйнування гірських порід приймається до уваги наступне: потік бурової промивальної рідини [16], який виходить з гідромоніторних насадок породоруйнівного інструменту, повинен забезпечувати надійне і безперервне руйнування гірської породи вибоєм; динамічний вплив бурової промивальної рідини на вибій споруджуваної свердловини прийнято оцінювати за тиском або силою удару в точці контакту з вибоєм. Для прикладу, механізм руйнування в твердих гірських породах полягає в початковому утворенні неглибоких борозен та канавок із подальшим утворенням тріщин, які сприяють виникненню стискаючих, розтягуючих або згинальних руйнівних напружень з наступним відривом частинок від масиву, причому інтенсивність руйнування буде залежати від типу і кількості тріщин.

Підсумовуючи наведені інформаційні дані, можна упевнено стверджувати, що подальший, в обов'язковому порядку прогресивний, розвиток бурової справи неодмінно потребує найскорішого впровадження сучасних ефективних новітніх технологій і, особливо, технічних засобів руйнування гірських порід, базовими методиками тут можуть стати інструменти з гідромоніторним принципом (рис. 1.4) [17].

Позначимо наступне: інструменти, що використовуються під час буріння свердловин різного призначення, називаються буровими, причому останні можна поділити на технологічні, допоміжні, аварійні та спеціальні. Дамо класифікаційні визначення кожній з груп інструментів [18].

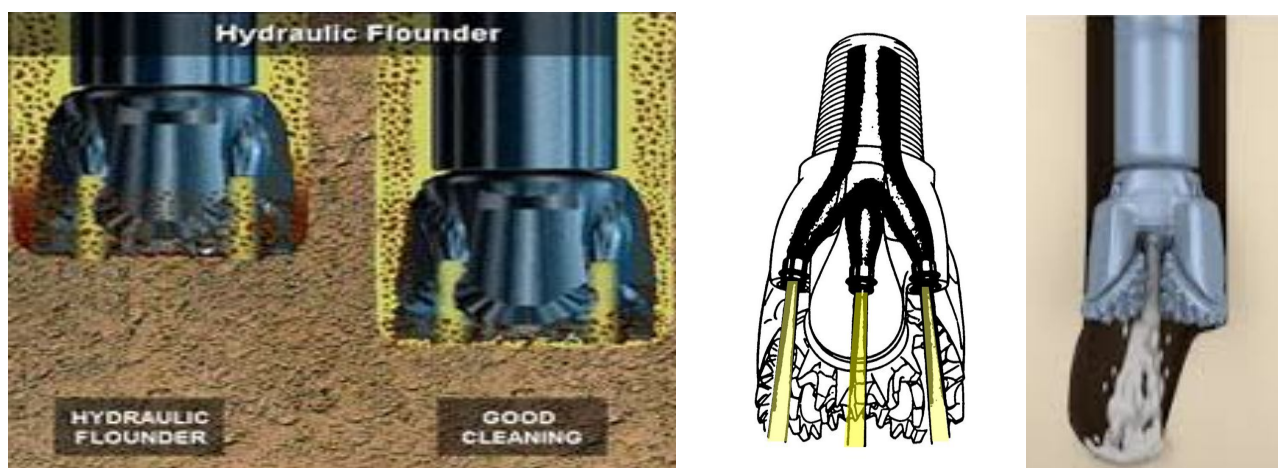


Рисунок 1.4 – Долота з гідромоніторним ефектом

Технологічний буровий інструмент – це той інструмент, що застосовується для безпосереднього здійснення поглиблення вибою свердловин. Сукупність деяких спеціальних технічних конструктивних вузлів та елементів, з'єднаних у певному порядку, які забезпечують виконання операцій з поглиблення вибою свердловин, називаються бурильним (іншими словами – породоруйнівним) інструментом. До породоруйнівного інструменту прийнято відносити, серед іншого, бурові коронки і долота. Конфігурація бурових доліт залежатиме від реалізованого способу буріння, але в будь-якому випадку його конструкція буде містити породоруйнівні елементи, що передаватимуть зовнішні механічні навантаження на вибій споруджуваної свердловини.

Основною частиною будь-якого породоруйнівного інструменту є його робочий елемент, який безпосередньо контактує із вибоєм свердловини і руйнує останній. Для оснащення інструменту використовуються спеціальні тверді матеріали, такі як алмазні абразиви, пластини з твердих (наприклад, вольфрам-кобальтових) сплавів і синтетичні твёрдосплавні матеріали. Елементи оснащення, разом з іншими елементами бурового інструменту, утворюють проміжну ланку, яка передає осьове навантаження від бурової установки через породоруйнівний інструмент на вибій споруджуваної свердловини.

Допоміжні інструменти використовуються для проведення спуско-підйомних операцій (це гайкові ключі, бурові ключі, елеватори, спайдери, клинові захвати, тримачі труб та ін.), а також для зменшення вібрацій і ударів (тобто зниження зносу

свердловинного бурового снаряду), що здійснюється з метою підвищення ефективності процесів буріння і зниження його собівартості (це демпфери, амортизатори, віброгасники та ін.).

Аварійні інструменти використовуються для запобігання (наприклад, різної конструкції шламоуловлювачі) та ліквідації аварій (наприклад, уловлювачі, мітчики, дзвони, труболочки, труборізки, фрезери та ін.).

Спеціальні інструменти використовуються для виконання деяких спеціальних завдань у стовбурі свердловини; до вказаних операцій можна віднести реалізацію прийомів направлено буріння (турбінні та шпindel-відхилювачі, уїпсток, стабілізатори) і тампонажних робіт.

Позначимо, що буровий породоруйнівний інструмент різних конструкцій призначений для ефективного руйнування гірських порід на вибої під час спорудження свердловин різного призначення [19].

Відповідно до наявних уявлень про принципи і умови дезінтеграції гірських порід на вибої свердловини, бурові породоруйнівні інструменти можна розділити на такі класифікаційні групи: інструмент різально-сколюючої дії – він застосовуються для буріння в'язких, пластичних і малоабразивних гірських порід відносно низької твердості; інструмент дроблячо-сколюючої дії – такий інструмент ефективно працює в гірських породах середньої твердості, твердих, міцних та дуже міцних неабразивних і абразивних; абразивно (стираюче)-різальної дії – такий інструмент забезпечує прийнятні показники при розбурюванні гірських порід середньої твердості, а також коли високопластичні, малов'язкі породи чергуються з такими середньої твердості і навіть твердими [20].

Залежно від призначення породоруйнівний інструмент можна класифікувати на долота для буріння суцільних вибоїв (тобто без відбору керна) та долота (бурильні головки, бурові коронки) для буріння кільцевих вибоїв (тобто з обов'язковим відбором керна); виділяють також породоруйнівний інструмент для виконання спеціальних робіт у вже отриманому стовбурі свердловини – до таких робіт можна віднести розширення стовбура свердловини, отримання пілот-свердловини і розбурювання цементного стакана [21].

1.2 Аналіз способів буріння геотехнологічних свердловин та їх конструктивного оформлення

Буріння відіграє величезну роль при будівництві гірничих виробок, розвідці та експлуатації рідких і газоподібних корисних копалин, а також твердих корисних копалин [22]. Воно також використовується при інженерно-геологічному бурінні для різних за промисловим призначенням споруд [23].

Серед різних методів буріння, що використовуються при розробці родовищ свердловинним способом (геотехнологічний метод), найбільш часто застосовують роторне буріння з прямим промиванням при використанні ротора або рухливого обертача (рис. 1.5) [24]. Однак, оскільки спектр методів підземного видобутку розширився, розробляються більш досконалі методи буріння для підвищення їх ефективності. До таких методів належать: 1) обертальне буріння із зворотним промиванням; 2) обертальне буріння із повітряно-струминний очищенням; 3) ударно-обертальне; 4) вібраційне; 5) термічне; 7) термомеханічне; 8) гідромоніторне у різних варіаціях [25].

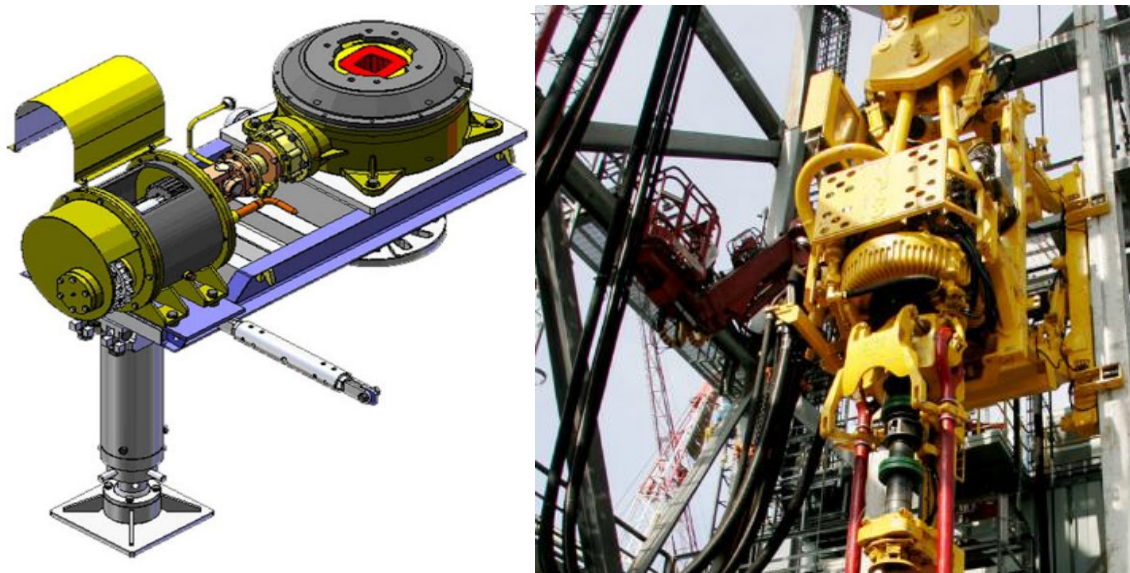


Рисунок 1.5 – Роторні обертачі для буріння свердловин

Позначене нами обертальне буріння з прямим промиванням може бути здійснено за допомогою різних типів бурових установок (роторних або шпindelних). Для буріння доволі розповсюджених м'яких порід суцільним забосом

широке застосування нині знаходять бурові установки з роторними обертачами типу УРБ-3АМ, 1БА-15В, УБВ- 600 та ін. подібні.

Менш застосовуване обертальне буріння із зворотною схемою промивання буде особливо ефективно при спорудженні свердловин, що призначені для видобування металів; застосування розглядуваного способу дозволить зменшити кольматацію (засмічення) продуктивних пластів, значно збільшити діаметри свердловин і, головне, створювати вибієнні фільтри з розширеним контуром із наступним облаштуванням гравієвого обсіпання [26].

Для здійснення буріння геотехнологічних свердловин із зворотним промиванням спеціально сконструйований буровий агрегат 1БА-15К. Для вказаних цілей можна також використовувати спеціалізовані бурові установки 1БА-15В, УКС-22М та ін., попередньо пристосовавши їх для виконання цих цілей. Крім того, при виконанні бурових робіт із зворотним промиванням очисного агенту вимагається застосування спеціального бурового інструменту і допоміжних пристосувань (бурильні і ведучі труби та ін.).

Спосіб обертального буріння з продуванням стисненим повітрям при спорудженні видобувних геотехнологічних свердловин підвищує якість розкриття продуктивних горизонтів, а також значно зменшує витрати часу на освоєння продуктивних горизонтів свердловин і підвищує техніко-економічні показники, особливо це характерно при спорудженні свердловин підземного вилуговування металів. Проте вказаному способу буріння притаманні і значні вади, визначувані його непридатністю при проходженні глинистих різниць, піщано-глинистих і сипких гірських порід, а також при зустрічі підземних вод.

Важливою вимогою до застосовуваного в геотехнологіях бурового устаткування є його висока мобільність, здійснення швидких монтажно-демонтажних операцій і перевезень, високий рівень механізації основних і допоміжних операцій, а також наявність укриттів [27].

Розбурюванні в геотехнологічних методах гірські породи за фізичними і хімічними властивостями мають дуже велику різноманітність, але переважають тут породи саме осадового комплексу, що викликає деякі вимоги до застосовуваного

бурового устаткування і в першу чергу це стосується необхідності в бурових насосах із значною витратою промивальної рідини [28].

Слід позначити, що серед бурових установок, які знаходяться на балансі бурових підприємств і якнайповніше відповідають існуючим вимогам щодо реалізації методів спорудження видобувних геотехнологічних свердловин, присутні такі бурові агрегати УРБ-3АМ, 1БА-15В, УРБ-3А2, УРБ-3А3, УБВ-600; вказані бурові установки представлені у самохідному виконанні і забезпечують можливість ефективного буріння свердловин великого діаметру. Проте бурові установки роторного типу, які серійно випускаються промисловістю, у багатьох випадках не здатні забезпечити потрібні з вимог геолого-технічного проєкту параметри режиму буріння, до яких відноситься осьове навантаження на породоруйнівний інструмент та кількість бурової промивальної рідини, що подається на вибій споруджуваної свердловини. Крім того, розглядувані бурові установки укомплектовані насосами, що, зазвичай, мають таку подачу, яка не може забезпечити ефективне очищення вибою від шламу особливо при проходженні м'яких порід у свердловинах із значними поперечними розмірами [29].

Буріння свердловин установками роторного типу необхідно здійснювати при передачі осьового навантаження на породоруйнівний інструмент допомогою обважених бурильних труб (ОБТ). Вказане стосується неглибоких свердловин, для яких не існує можливості забезпечити розрахункові значення осьового навантаження на долото із метою отримання ефективного об'ємного типу руйнування породи на вибої, через це виникають значні труднощі із отриманням прийнятних швидкостей буріння [30].

В окремих випадках спорудження геотехнологічних свердловин у якості промивальних рідин застосовується технічна вода [31], причому за таких умов досягається певне збільшення механічної швидкості проходки геотехнологічних свердловин при зменшенні загальних витрат на приготування спеціальних промивальних рідин (глинистого розчину). Разом із позначеним, через те, що вода, як ньютонівська рідина, має значно меншу в'язкість, ніж будь-яка структурована промивальна рідина, то її застосування цілком вірогідно може сприяти виникненню

явища активного осідання значної кількості шламу через вимушені зупинки циркуляції, або викликати зашламування вибою внаслідок низьких витрат, що не забезпечуватимуть потрібних швидкостей висхідного потоку. Крім того, застосування води виправдане лише у випадку присутності для розбурюваних гірських порід достатньої стійкості при контакті із водою (це не характерно для глинистих різниць), вода також може чинити активний розмиваючий вплив, що буде сприяти невиправданому розширенню стовбура свердловини.

Доведено, що значному підвищенню ефективності процесу руйнування м'яких осадових порід, особливо при невеликих осьових навантаженнях, достатньо позитивно може сприяти обґрунтоване застосування деяких конструкцій лопатевих доліт, оснащених гідромоніторними насадками [32].

Відповідно до існуючого геологічного завдання щодо освоєння родовища геотехнологічним методом розробляється конструкція свердловини (рис. 1.6), елементи якої будуть визначатися особливостями прийнятих до роботи бурових породоруйнівних інструментів. Проектні конструкції геотехнологічних видобувних свердловин необхідно розробляти на кожну свердловину окремо, або групу свердловин, що споруджуються в однотипних геологічних умовах [33].

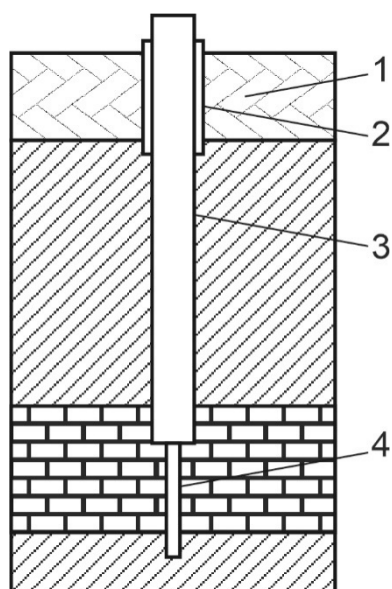


Рисунок 1.6 – Приклад конструкції геотехнологічної свердловини: 1 – нестійкі гірські породи; 2 – напрямок; 3 – експлуатаційна колона обсадних труб; 4 – продуктивний горизонт

Виключно конструкція свердловини є підставою для проведення усіх необхідних інженерних розрахунків, які пов'язані із створенням геолого-технічного проекту буріння геотехнологічних свердловин. Для визначення раціональної конструкції свердловини необхідно мати вичерпні відомості про геологічну та гідрогеологічну будову розроблюваної ділянки родовища; вихідними даними для розрахунку виступає проектна глибина видобувної свердловини та її, технологічно виправданий, кінцевий діаметр свердловини.

Для забезпечення належного виконання геотехнологічними свердловинами своїх різноманітних функцій, в якості матеріалу виготовлення обсадних і експлуатаційних колон можна використовувати поліетиленові, склопластикові, металопластикові труби, а також труби, виготовлені з нержавіючої сталі.

Вибір конструкції видобувних свердловин [35], до прикладу при використанні активних кислотних розчинників, передбачає знання про механічну та хімічну стійкість обсадних труб до дії високого тиску і гідродинамічних навантажень, а також агресивного впливу хімічних речовин відповідно. Слід пам'ятати, що конструкція геотехнологічних свердловин повинна забезпечувати безперешкодне здійснення всього циклу закачування цементного розчину до затрубного простору свердловин при створенні гідроізоляції зон постійного руху робочих і продуктивних розчинів, а також надавати можливість проведення усього комплексу потрібних ремонтно-відновних операцій та свердловинних геофізичних і гідрогеологічних робіт. Конструкція свердловини повинна передбачати можливість створення для неї такого терміну експлуатації, який не менше терміну відпрацювання самого продуктивного пласту.

Підводячи підсумок можна стверджувати [36], що на вибір параметрів конструкції видобувних геотехнологічних свердловин чинять вплив наступні фактори:

- 1) геолого-гідрогеологічні особливості ділянки проектного видобутку (фізичні і механічні властивості гірських порід, глибина розташування продуктивного горизонту, присутність в розрізі ускладнених інтервалів та ін.);

- 2) технологічна схема відпрацювання родовища корисних копалин та схема розташування видобувних свердловин;
- 3) продуктивність свердловини;
- 4) конструктивні ознаки розчинопідйомних приладів;
- 5) географічні умови розташування родовища;
- 6) призначення геотехнологічних свердловин та ін.

1.3 Технічні і технологічні фактори забезпечення створення раціональних умов відпрацювання родовищ геотехнологічними методами

Специфічні геотехнологічні бурові свердловини служать для розкриття пластів копалин, спуску та підйому видобувного свердловинного обладнання, подавання робочих агентів в потрібний горизонт, транспортування збагачених корисним компонентами технологічних розчинів або газу на денну поверхню; крім того, вони дозволяють здійснювати активний контроль ступеню свердловинного вилучення корисних компонентів та рівня дотримання вимог щодо недопущення порушення нормативів з охорони навколишнього середовища від різних типів фізико-хімічного забруднення земних надр [37].

Класифікувати свердловини групи геотехнологічних, з огляду на їх загальне призначення і зміст виконуваних функцій, можна на експлуатаційні (використовуються для здійснення процесу видобутку, який полягає у подачі робочого агента в потрібну зону привибійної частини свердловини з наступним підйомом пульпи, розчину, газоподібного агента зі свердловини на поверхню) та допоміжні (до яких відносять розвідувальні, спостережні, контрольні, баражні, для гідророзриву пластів, водовідливні, анкерні та ін.) [38].

Свердловини підземної виплавки сірки, розчинення різних типів солей, а також гідровидобутку здійснюються через один стовбур, який кріпиться обсадними трубами і обладнується поруч концентрично розташованими експлуатаційними колонами. Свердловини підземного вилуговування з використанням різних розчинників можуть бути нагнітальними (для подачі в зону продуктивного пласта

робочих розчинників) і видобувними (служать для підйому на поверхню збагачених корисними компонентами продуктивних розчинів) (рис. 1.7). Для здійснення підземної газифікації корисних копалин (вугілля, сланцю, сірки та ін.) необхідно використовувати два експлуатаційних, розташованих в послідовний ряд, стовбури свердловин; причому один ряд таких свердловин застосовується для займання копалин та відведення продуктів горіння, а інший – для подавання окислювача в пласт під тиском 0,3 - 0,4 МПа.

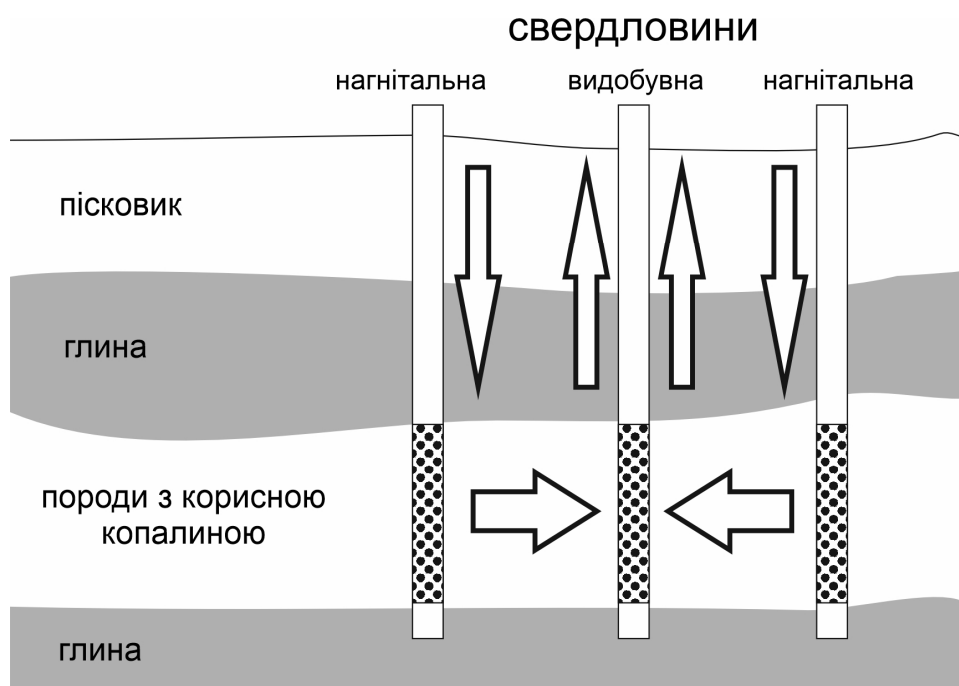


Рисунок 1.7 – Геотехнологічні свердловини підземного вилуговування

Призначенням розвідувальних свердловини виступає завдання уточнення геологічного положення, потужності та умов залягання пласта корисних копалин; буріння таких свердловин ведуть з відбором керна в інтервалі корисної копалини; доцільно передбачати можливість переведу розглядуваних свердловин, після виконання ними поставлених завдань, з категорії розвідувальних до категорії експлуатаційних, з метою здійснення ними операцій процесу видобутку.

Спостережні свердловини дозволяють: вести активний контроль за умовами утворення продуктивних розчинів та видобувних зон (камер) в межах експлуатаційних блоків, відстежувати гідродинамічний стан продуктивного горизонту, слідкувати за можливим розтіканням технологічних розчинів за межі зони розробки або перетіканням у сусідні горизонти.

Спорудження контрольних свердловин пов'язано з необхідністю здійснення на відпрацьованих ділянках операцій з контролю рівня вилучення корисних компонентів, вирішення завдань щодо контролю можливого забруднення горизонтів підземних вод та інших компонент і т.д.

Так звані баражні свердловини слугують для улаштування вертикальних і горизонтальних протифільтраційних екранів, призначенням яких виступає обмеження розтікання активних розчинів за межі експлуатаційних блоків, а також для контрольованого зменшення охоплення активними розчинами гірських порід, які вміщують отримувані на поверхні корисні компоненти.

Свердловини для проведення гідророзриву пластів слугують для суттєвого збільшення поверхні активного контакту розчинника з гірськими породами продуктивних пластів, що відбувається шляхом утворення певного рівня штучної пористості; розглядувані свердловини також дозволяють отримання так званих механічних протифільтраційних завіс, призначенням яких є екранування розтікання технологічних розчинів за контури розроблюваного покладу.

Спорудження водовідливних свердловин дозволяє проводити операції з видалення певної кількості надлишкової води, яка була закачана в продуктивний пласт при здійсненні операцій з підземної виплавки сірки; бурять їх на відстані до 1 км від діючих технологічних свердловин; іноді спостерігається самовилив надлишкової води з рядів вже раніше відпрацьованих свердловин, що знаходяться на відстані до 250 м від діючих технологічних свердловин.

Призначенням анкерних свердловин є закріплення доволі нестійких гірських порід покрівлі продуктивних горизонтів перед видобутком корисних копалин.

Відповідно до свого призначення геотехнологічні видобувні свердловини мають значні відмінності у своїй конструкції, використовуваний техніці та технології буріння, а також обладнання. До означених свердловин висувають достатньо різні вимоги, до найбільш значущих можна віднести вимоги щодо якості спорудження експлуатаційних свердловин, які визначають техніко-економічні показники процесу видобутку корисних копалин.

Буріння геотехнологічних свердловин доволі часто ведеться обертальним

(роторним) способом буріння, при якому обертання породоруйнівного інструменту передається за допомогою колони бурильних труб (вони представляють собою порожнистий вал для можливості прокачування по ньому промивальної рідини) від обертача роторного або шпindelного типу, що встановлений на гирлі споруджуваної свердловини. Ротор бурової установки використовується також і для утримання над гирлом свердловини на вазі колони бурильних і обсадних труб при виконанні з ними відповідних операцій (при їх спуску, підвісці, відгвинчуванні). Привід ротора може здійснюватися від лебідки або від індивідуального приводу, а це дозволяє в достатньо широких межах ефективно регулювати частоту обертання ротору, що допускає зниження навантаження на привід бурової лебідки при підйомі бурильної колони з обертанням [39].

В цілому роторне буріння можливо здійснювати при усіх видах бурової промивальної рідини, проте вимоги до неї залежатимуть від властивостей гірських порід, що перебудуються. Важливим є те, що аварійність при роторному способі значно вище внаслідок присутності достатньо значного вигину і закручування бурильної колони, великої динамічності і дії знакозмінної напруги.

Уникнути перерахованих негативних явищ вдається при застосуванні високопродуктивного гідродинамічного способу буріння (із використанням високонапірних струменів різних за складом рідин), який потребує застосування спеціальних конструкцій гідромоніторних бурів, оснащених гідромоніторними насадками. Вказаний вид буріння свердловин знаходить достатньо широке застосування при свердловинному гідровидобуванні корисних копалин (рис. 1.8).

Вказаний спосіб доцільно застосовувати при відносно невеликій глибині експлуатаційних свердловин; умовою ефективності гідромоніторного руйнування буде виступати наявність достатньо високопродуктивного поверхневого насосного обладнання, а перевагами тут можна назвати поєднання операцій з буріння самих свердловин зі спуском видобувного обладнання, що дозволяє значно скоротити непродуктивні витрати часу розрізнені етапи буріння свердловини та монтажу обладнання для видобутку. Аналізований метод також доцільно застосовувати при спорудженні геотехнологічних свердловин з підземного вилуговування, із метою

розширення привибійної видобувної частини свердловини; гідродинамічне буріння може також забезпечити створення гідромеханічних завіс при інших геотехнологічних методах [40].

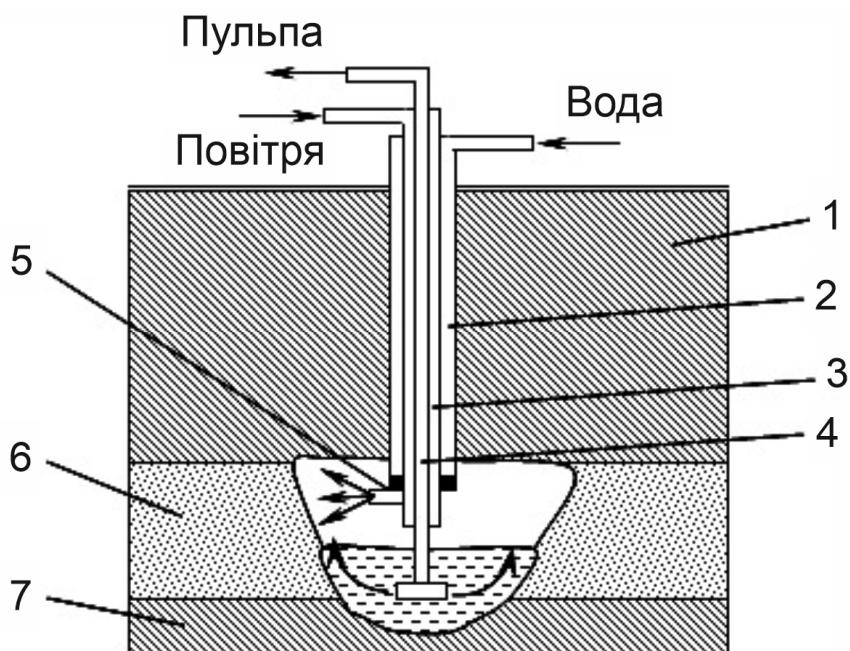


Рисунок 1.8 – Свердловинне гідровидобування корисних копалин: 1 – верхній інтервал гірських порід; 2 – труба подачі води; 3 – труба подачі повітря; 4 – труба підйому пульпи; 5 – гідромоніторний бур; 6 – корисна копалина; 7 – підстилаючі гірські породи

1.4 Технологічні основи підвищення ефективності прийомів спорудження геотехнологічних свердловин

Методи руйнування гірських порід із застосуванням гідромоніторних струменів найбільш ефективні при бурінні пухких гірських порід осадового комплексу [41]. Руйнівний відрив частинок гірських порід (пухких і слабозцементованих) можна здійснювати за рахунок створення потоку з необхідною величиною гідравлічного градієнта швидкості [42]. Підвищити інтенсивність руйнування можна за рахунок застосування вібрації, вибуху, хімічного впливу. Технологічне управління процесом руйнування можна здійснювати з поверхні шляхом варіювання величинами витрати і тиску активних робочих агентів, а також

місць активного впливу цих агентів [43]. Обґрунтований вибір параметрів технологічного процесу гідромоніторного руйнування визначається механічними властивостями гірських порід та і фізико-геологічною обстановкою в свердловині. Найбільш ефективно руйнуванню піддаються пісковики, вапняки і тріщинуваті сланці, а також боксити та нафтоносні пісковики [44].

Головною особливістю конструкції геотехнологічних експлуатаційних свердловин для свердловинного видобутку є їх порівняно невелика глибина (до 200 м) при достатньо значному діаметрі (350 - 400 мм). Перевагою застосування розглядуваного способу є доволі суттєве скорочення термінів розробки родовищ при паралельному мінімальному капіталовкладенні, що повинно бути відображено при виборі раціональної проєктної конструкції свердловини [45].

Позначимо, що проєктна конструкція геотехнологічних свердловин цього типу повинна забезпечувати: досягнення високих швидкостей буріння із надійним обладнанням свердловин – вказане обумовлено, серед іншого, часом знаходження стінок видобувної свердловини у стійкому стані та ефективністю самого методу руйнування гірської породи; належні умови проведення операцій зі спуску та роботи потрібних видобувних пристроїв (в даному випадку це гідромонітори та гідроелеватори); досягнення найменшої трудомісткості виконуваних спуско-підйомних та інших потрібних допоміжних операцій у процесі поглиблення вибою свердловини та її обладнання необхідними пристроями; мінімальну собівартість операцій буріння та обладнання свердловин.

Проєктне оформлення параметрів видобувних свердловин, серед іншого, залежатиме від конструктивних особливостей застосовуваних видобувних снарядів, і може мати декілька принципів свого вигляду (рис. 1.9).

Вказаний тип видобувного снаряда (рис. 1.9) передбачає виконання монтажу та спуску гідромоніторного вузла спільно з корпусом видобувного снаряда. При цьому гідромоніторний вузол з гідроелеватором знаходиться в нижній частині спущеного в свердловину снаряда і може без перешкод переміщатися відносно зовнішньої труби снаряду на довжину, яка дещо перевищує потужність продуктивного горизонту. Також потрібно зазначити, що зовнішній діаметр

гідромоніторного вузла приблизно дорівнює зовнішньому діаметру корпусу видобувного снаряда. Розглядуваний тип снаряду можна вважати комбінованим, оскільки він дозволяє проводити операції з гідродинамічного буріння та свердловинного видобутку корисних копалин. Гідромоніторний бур та гідроелеватор мають послідовне роздільне включення. При використанні гідробура здійснюють операції з буріння свердловини, одночасно з поглибленням вибою якої здійснюють монтаж устаткування для виконання наступних робіт з видобутку копалин. Після виконання операцій з поглиблення вибою свердловини гідромоніторний бур відключають і залучають до роботи гідроелеватор, який власне і здійснює видобуток потрібних корисних копалин.

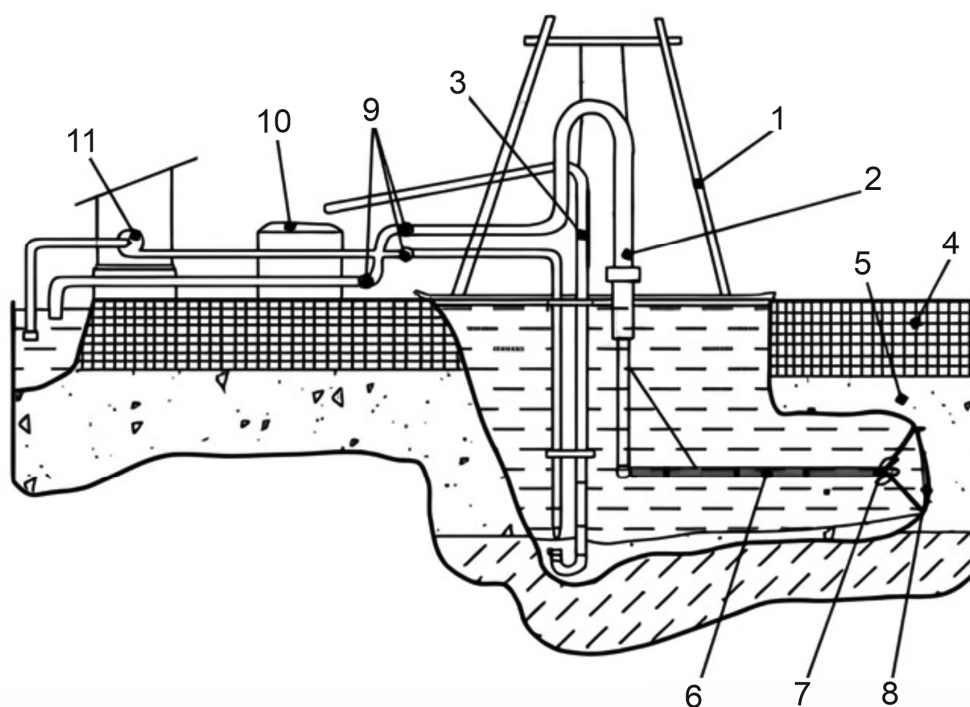


Рисунок 1.9 – Буріння свердловин із застосуванням високонапірних струменів рідини: 1 – монтážна вишка; 2 – гідромоніторна установка; 3 – гідроелеватор; 4 – покриваючі породи; 5 – пласт корисної копалини; 6 – телескопічний ствол; 7 – гідромоніторна головка з насадками; 8 – відсікач струменя; 9 – пробкові крани; 10 – склад породи; 11 – насос

Порівняно невеликий термін служби видобувної свердловин, при використанні геотехнологічних методів видобутку, дозволяє, в загальному випадку, не кріпити стовбур видобувної свердловин обсадними трубами [46]. Розглянутий принцип оформлення бурового снаряду, як правило, доцільно застосовувати при

розробці пластів корисних копалин, які залягають на відносно невеликій глибині, що не перевищує 10 - 30 м.

Розглядаючи інший тип видобувного снаряда (рис. 1.10), можна побачити, що його конструкція передбачає роздільний спуск та монтаж гідромоніторного вузла та корпусу снаряда [47]. При реалізації означеної схеми спорудження видобувних свердловин в якості обсадних труб використовується корпус наявного видобувного снаряда. Робочий гідромоніторний вузол, разом із внутрішньою трубою, призначенням якої є подавання рідини для проведення розмиву гірської породи та підйому утворюваної пульпи, опускають на вибій свердловини усередину зовнішньої труби і надійно встановлюють на свердловинний спеціальний упор (тобто спеціальний металевий пакер). У випадку необхідності гідромоніторний вузол можна витягти з геотехнологічної свердловини без виконання підйому зовнішньої труби. Утворювана в результаті руйнування порід пульпа подається на поверхню наявним міжтрубним зазором. Після завершення повного відпрацювання геотехнологічної свердловини та відповідного вилучення корисної копалини необхідно, в обов'язковому порядку, передбачити можливість безперешкодного вилучення так званої експлуатаційної колони зі свердловини з метою її повторного використання. Відповідно до окресленої схеми спорудження свердловин, передбачена наступна послідовність виконання операцій з утворення стовбура свердловин в товщі гірських порід (рис. 1.10).

При реалізації досліджуваної схеми (рис. 1.10) процесу свердловинного видобутку передусє буріння розвідувальної свердловини, призначенням якої є визначення геологічних умов залягання корисних копалин; після виконання завдань геологічної розвідки стовбур цієї свердловини розширюють до покрівлі пласта корисної копалини. В отриманий стовбур свердловини спускають експлуатаційну колону, а її башмак надійно закріплюють в масиві гірських порід. Після виконання означених операцій приступають до розкриття продуктивного горизонту, яке супроводжується розширенням нижньої частини свердловини, в продуктивній зоні, до діаметра 1000 - 1200 мм. Вказана операція потрібна для забезпечення прийнятних

умов роботи видобувного снаряду для руйнування гірської породи та підйомних пристроїв (наприклад елеваторів).

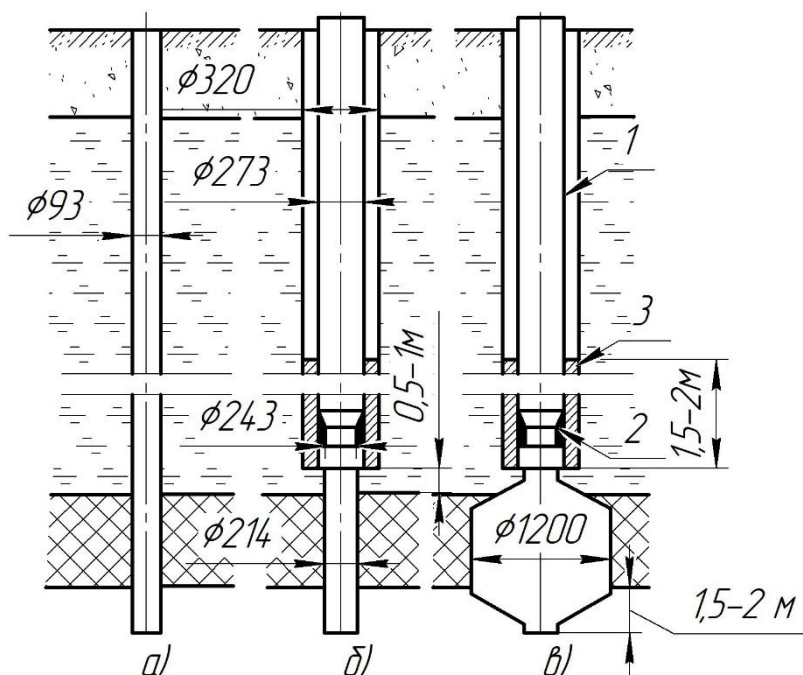


Рисунок 1.10 – Схема типової конструкції та основні етапи спорудження геотехнологічних свердловин: а – розвідувальна свердловина; б – етап спорудження експлуатаційної свердловини; в – підготовлена до експлуатації свердловина, де 1 – експлуатаційна колона, 2 – металевий пакер, 3 – цементний стакан

Відзначимо низку важливих переваг розглянутої схеми: значне зниження засмічення отримуваної пульпи через запобігання попаданню до неї фрагментів гірських порід зі стінок необсадженого стовбура свердловини; значно знижуються технологічні вимоги до якості застосовуваного бурового глинистого розчину, через що з'являється можливість застосування в цьому випадку більш прогресивних, за швидкістю проходки, способів буріння свердловин, що пов'язані із можливістю застосування в якості очисного агента води; значно полегшується виконання робіт зі спуску та підйому потрібних видобувних агрегатів; значним чином поліпшуються умови проведення видобутку через більш точне центрування нижньої частини видобувного снаряду орієнтовно вісі видобувної свердловини. До недоліків розглянутої схеми можна віднести: потребу у застосуванні менших за габаритними розмірами видобувних снарядів, що може стати причиною зменшення радіусу розмиву та призведе до зниження загальної ефективності системи видобутку; велику

складність вилучення спущених у свердловину обсадних труб із підбашмачним цементуванням [48].

Проведення ефективних процесів розробки родовищ за прогресивних геотехнологічних методів видобутку корисних копалин полягає у створенні в товщі гірських порід спеціальних гірничих виробок (в даному випадку – бурових свердловин), які, власне, забезпечують безперешкодний доступ до пластів корисних копалин з поверхні, також вони є інструментом для підготовки продуктивних горизонтів до процесів видобутку транспортування корисних копалин, у певному фізичному або хімічному стані, на поверхню [49].

Робота різних за призначенням геотехнологічних комплексів починається з буріння певної конструкції розвідувальних свердловин [50], завданням яких виступає отримання вичерпної геологічної інформації, на підставі якої проектується базова техніко-технологічна схема розробки родовища.

Геологічне вивчення та розробка родовищ корисних копалин при геотехнологічних методах здійснюється вертикальними, похилими або просторово орієнтованими (тобто похило-спрямованими) свердловинами [51]; можлива також комбінація означених типів свердловин; допускається також застосування певних видів підземних гірничих виробок. Обґрунтований вибір способу буріння свердловин та схеми відпрацювання покладу буде залежати від глибини залягання продуктивного горизонту, його дійсної потужності, кута падіння пластів корисної копалини, геометричних розмірів так званого геотехнологічного поля, прийнятої до відпрацювання технологічної схеми розробки родовища, характеристик рельєфу місцевості, фізико-хімічних властивостей корисних копалин і гірських порід, застосовуваних до процесу техніко-економічних показників видобутку, наявності раціональних джерел енерговодопостачання та обов'язкової безпечної утилізації відходів бурових операцій, відстані від баз постачання необхідного обладнання і матеріалів та ін.

Вибір конструкції геотехнологічних свердловин буде залежати від наявних геолого-літологічних особливостей будови родовищ корисних копалин, фізичних властивостей гірських порід непродуктивних товщ, необхідного ступеня

продуктивності геотехнологічного процесу видобутку, промислового призначення видобувної свердловини, прийнятого способу буріння [52].

При деяких способах спорудження свердловин, для запобігання руйнуванню їх стовбура, застосовують його кріплення колонами обсадних (можуть бути металевими або неметалевими) труб із заповненням спеціальним тампонажним розчином утвореного затрубного простору або без такого [53]. Кількість застосовуваних обсадних колон, що підлягають розташуванню у стовбурі геотехнологічної свердловини, різняться від однієї до трьох колон.

Свердловини для проведення гідровидобутку копалин, на відміну від інших геотехнологічних, мають доволі великий діаметр 350 - 400 мм (із можливим подальшим розширенням привибійної зони) і глибину до 200 м.

Створення ефективної роботи свердловин підземної газифікації можливо за рахунок збільшення робочого простору у зоні пласта вугілля. Буріння свердловин при підземній газифікації вугілля необхідно для активної подачі повітряного або парокиснево-повітряного дуття, а також своєчасного відводу утвореного газу та створенні в пласті між свердловинами реакційних каналів, в яких вугілля взаємодіє з потоками газу (рис. 1.11). Суттєве збільшення робочого простору у зоні пласта вугілля при підземній газифікації може бути здійснено за рахунок спеціальних розширювачів, однак їх конструктивне оформлення та технологія свердловинного застосування потребують врахування низки різноманітних факторів.

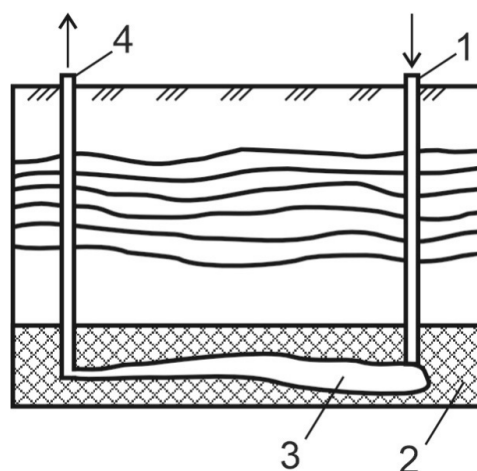


Рисунок 1.11 – Типова схема підземної газифікації: 1 – свердловина для подачі повітря; 2 – вугільний пласт; 3 – підземний газогенератор; 4 – газовідвідна свердловина

Базовими параметрами, при визначенні силових гідравлічних характеристик гідромоніторного бурового інструменту, повинні бути орієнтовні значення міцності на розмив вугільних пластів різних типів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Орієнтовні характеристики міцності вугілля

Тип вугілля	Міцність на стиск, МПа	Міцність на розтяг, МПа	Опір ерозії, умовні одиниці	Особливості розмиву
Буре вугілля	5 - 15	0.5 - 2	Низький	Легко розмивається, висока пористість
Довгополуменеве вугілля	10 - 25	1 - 3	Середній	Помірний опір розмиву
Газове вугілля	15 - 35	2 - 5	Середній	Добре розмивається при високому тиску
Коксівне вугілля	20 - 40	3 - 6	Високий	Потрібен значний тиск води
Антрацит	40 - 70	5 - 10	Дуже високий	Важко розмивається, низька пористість

Міцність вугілля (табл. 1.1) при розмиві гідромоніторними струменями є важливим параметром, який залежить від їх фізичних та механічних властивостей, а також від технології подачі води під тиском. Основні фактори, що впливають на процес розмиву:

1. Механічні властивості вугілля

Міцність на стиск та розтяг: чим вище міцність вугілля, тим більший тиск води буде потрібний для його розмиву.

Тріщинуватість: наявність природних тріщин полегшує розмив, оскільки вода проникає в тріщини і руйнує структуру вугілля.

Пластичність і крихкість: вугілля з високою крихкістю легше розмивається.

Марка вугілля: різні типи вугілля (антрацити, буре, кам'яне) мають різні механічні характеристики. Наприклад, буре вугілля зазвичай менш міцне порівняно з кам'яним.

2. Фізичні властивості

Пористість і проникність: пористе вугілля легше розмивається через його здатність поглинати воду.

Вологість: вологе вугілля (з високим вмістом природної води) менш стійке до розмиву.

3. Параметри гідромоніторних струменів

Тиск води: тиск на виході з гідромоніторних насадок повинен перевищувати опір вугільного масиву. Зазвичай тиск варіюється від 5 МПа до 30 МПа залежно від типу вугілля.

Витрата води: збільшення витрати води може підвищити ефективність розмиву.

Конфігурація сопел: Кут подачі води та форма сопел сильно впливають на характер руйнування вугілля.

4. Геологічні умови

Глибина залягання: зі збільшенням глибини підвищується навантаження від гірського масиву, що може утруднити розмив.

Присутність порід-домішок: якщо вугілля перемежується з твердішими породами (наприклад, пісковиками або вапняками) потрібно більше енергії для розмивання.

Для оптимізації процесу розмиву важливо враховувати характеристики вугільного пласта та вибирати параметри гідромоніторних струменів залежно від конкретних умов. Лабораторні тести на міцність вугілля (наприклад, визначення межі міцності на стиск) допоможуть заздалегідь оцінити необхідний тиск води.

Виходячи з наведених відомостей, можна побачити, що за багатьма проблемними питаннями реалізації геотехнологічних методів видобутку корисних копалин стоїть невизначеність. Це стосується забезпечення реалізації продуктивних способів розкриття продуктивного горизонту, яке супроводжується розширенням нижньої частини свердловини, що може бути досягнуто шляхом розробки технічних засобів для проведення руйнування гірського масиву із паралельним застосуванням належних методів створення циркуляційних схем руху робочих агентів.

1.5 Постановка мети і завдань досліджень

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі було розроблено структурно-логічну схему комплексних досліджень (рис. 1.12).

Успішна реалізація виконання завдань даної дисертаційної роботи базується на послідовному розв'язанні окремих задач, інтегрованих в структурно-логічну схему, вказана схема складається з окремих блоків із сформульованими завданнями та характеристикою кінцевих результатів, взаємозв'язок між блоками підпорядкований єдиній меті – підвищенню ефективності процесу спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин за рахунок раціоналізації параметрів роботи гідромоніторного буру.

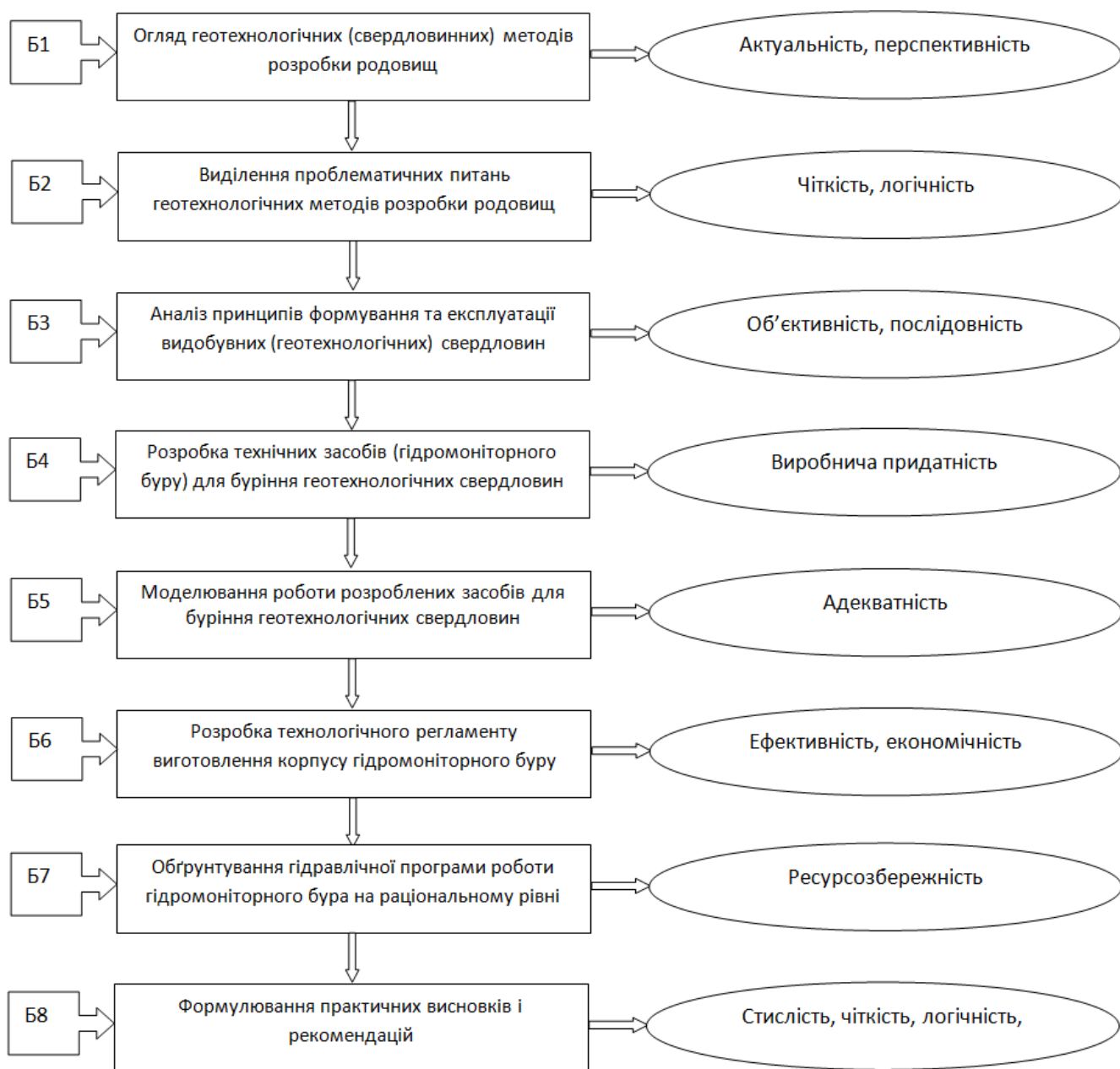


Рисунок 1.12 – Структурно-логічна схема комплексних досліджень

Виконання завдань, об'єднаних в блок Б1, спрямовано на ґрунтовний огляд сучасних геотехнологічних (свердловинних) методів розробки родовищ, зокрема методів гідравлічного видобутку та підземної газифікації вугілля; завдань блока Б2 переслідують необхідність виділення проблематичних питань геотехнологічних методів розробки родовищ; вирішення завдань блока Б3 передбачає проведення всебічного аналізу принципів формування в гірському масиві та експлуатації видобувних (геотехнологічних) свердловин; виконання завдань блока Б4 переслідують проведення робіт з розробки технічних засобів, а саме гідромоніторного бура для буріння геотехнологічних свердловин в різних їх інтервалах; наступним завданням, згідно змісту блока Б5, є проведення моделювання роботи розроблених засобів для буріння геотехнологічних свердловин, а саме гідромоніторного бура, за допомогою програми загального параметричного моделювання потоків рідин SOLIDWORKS Flow Simulation, яка використовує метод кінцевого обсягу (FVM), що дозволяє розраховувати параметри руху рідин за допомогою різних сценаріїв та використовувати отримані результати для оптимізації; виконання завдань блока Б6 передбачає розробку технологічного регламенту виготовлення корпусу гідромоніторного бура, який буде працювати під впливом різних знакозмінних навантажень, що можуть, без належної обробки корпусу бура, викликати його стрімке руйнування; завданням блока Б7 є обґрунтування гідравлічної програми роботи гідромоніторного бура на раціональному рівні, тобто збереженні цілісності стовбура свердловини і посилення руйнуючого впливу струменів бура; блок Б8 передбачає формулювання відповідних результатам проведених досліджень практичних висновків і рекомендацій.

Висновки до першого розділу

1. Надана ґрунтова характеристика сучасним методам проведення геотехнологічних прийомів отримання корисних копалин за допомогою бурових свердловин, особлива увага при цьому приділена гідравлічному свердловинному видобутку вугілля та свердловинній підземній газифікації вугільних пластів; також представлений аналіз схем роботи та технологічних прийомів відпрацювання різноманітних породоруйнівних інструментів для спорудження свердловин.

2. Показано, що вибір конструкції геотехнологічних свердловин та способу її отримання в товщі гірських порід буде залежати від наявних геолого-літологічних особливостей будови родовищ корисних копалин, фізичних властивостей гірських порід непродуктивних товщ, необхідного ступеня продуктивності геотехнологічного процесу видобутку, промислового призначення видобувної свердловини.

3. Розглянуто перспективні прийоми та методи збільшення продуктивності нині застосовуваних геотехнологічних способів видобутку.

4. Виходячи з наведених відомостей, доведено, що за багатьма проблемними питаннями реалізації геотехнологічних методів видобутку корисних копалин стоїть невизначеність; це стосується в забезпеченні реалізації продуктивних способів розкриття продуктивного горизонту, яке супроводжується розширенням нижньої частини свердловини, що може бути досягнуто шляхом розробки технічних засобів для проведення руйнування гірського масиву із паралельним застосуванням належних методів створення циркуляційних схем руху робочих агентів.

5. Для досягнення поставленої мети дисертаційної роботи та виконання сформульованих завдань розроблено структурно-логічну схему комплексних досліджень.

6. Результати аналізу теоретичних досліджень елементів технології спорудження геотехнологічних свердловин, що наведені у розділі 1 роботи, представлені у таких працях автора: [32], [54] - [56].

Перелік використаних джерел у розділі 1

1. Roberts, A. (2014). *Geotechnology: An Introductory Text for Students and Engineers*. Elsevier Science & Technology Books.
2. Павличенко А., Коровяка Є., Марцинків О., Ігнатов А., Васильченко Д., & Аскеров І. (2024). Технологічні та екологічні ознаки циклу спорудження свердловин у методах вилуговування корисних копалин. *Зб. наук. пр. НГУ*, (76), 206-218.
3. Адаптація технології свердловинної підземної газифікації вугілля : монографія / Р.О. Дичковський, М.М. Табаченко, В.С. Фальштинський, В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2017. – 189 с.
4. Технологія і техніка буріння / В. Войтенко, В. Вітрик. – К.: Центр Європи, 2012. – 708 с.
5. Буріння свердловин. Навчальний посібник. 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». – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. - 294 с.
6. Fanchi, J.R., & Christiansen, R.L. (2017). *Introduction to petroleum engineering*. Published by John Wiley & Sons.
7. Мала гірнича енциклопедія: в 3-х т. / За ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Донбас. – Т. 1. – 2004. – 640 с., Т. 2. – 2007. – 652 с., Т. 3. 2013. – 644 с.
8. Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). *Fundamentals of sustainable drilling engineering*. Scrivener publishing.
9. Геологорозвідувальна справа і техніка безпеки: навч. посібник / П.П. Вирвінський, Ю.Л. Кузін, В.Л. Хоменко. – Д.: НГУ, 2010. – 368 с.
10. Коцкулич Я.С., Кочкодан Я.М. Буріння нафтових і газових свердловин. – Коломия ВПТ «Вік», 1999. – 504 с.
11. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos publishing.
12. Azar, J. J., & Samuel, G. R. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Corp.
13. Lopez, J.C., Lopez, J. E., & Javier, F. (2017). *Drilling and blasting of rocks*. CRC Press Taylor & Francis.

14. Основи нафтогазової інженерії / Білецький В.С., Орловський В.М., Вітрик В.Г.; НТУ «ХПІ». – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2018. – 415 с.
15. Прогресивні технології спорудження свердловин / Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «ДП». Д.: 2020. – 164 с.
16. Мислюк М.А.; Рибчич І.Й.; Яремійчук Р.С. Буріння свердловин: Довідник: у 5 т. Т. 1: Загальні відомості. Бурові установки. Обладнання та інструмент. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. – 367 с.
17. Промивальні рідини в бурінні : підручник / Є.А. Коровяка, Ю.Л. Винников, А.О. Ігнатов, О.В. Матяш, В.О. Расцветаєв; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка», 4-те вид., доп. – Дніпро : Журфонд, 2023. – 420 с.
18. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Books.
19. Hossain, M.E. (2016). *Fundamentals of drilling engineering*. Scrivener publishing.
20. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов // Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 493 с.
21. Ihnatov, A. (2021). Analyzing mechanics of rock breaking under conditions of hydromechanical drilling. *Mining of Mineral Deposits*, 15(3), 122-129. <https://doi.org/10.33271/mining15.03.122>.
22. Austin, E.H. (2012). *Drilling Engineering*. Publisher: Springer Science & Business Media.
23. Don, W.D. (2019). *Oilwell Drilling Engineering*. Publisher: ASME Press.
24. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О., Расцветаєв В.О. Особливості бурових робіт при інженерних вишукуваннях і підготовці територій // Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. пр. – Випуск 24. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2021. – С. 102 - 113.
25. Коцкулич Я.С., Тищенко О.В. Закінчування свердловин. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 366 с.
26. Ihnatov A.O., Koroviaka Y.A., Haddad J., Tershak V.A., Kaliuzhna T.M., & Yavorska V.V. (2022). Experimental and theoretical studies on the operating parameters

of hydromechanical drilling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 20-27. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-1/020>.

27. Дудля М.А., Садовенко І.О. Техніка та технологія буріння гідрогеологічних свердловин. – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2007. – 399 с.

28. William C. Lyons (2010). *Drilling Equipment and Operations*. Published by Elsevier Inc.

29. Rabia, H. (1986). *Oilwell Drilling Engineering: Principles and Practice*. Springer.

30. Bourgoyne, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E., & Young, F.S. (2014). *Applied Drilling Engineering*. Society of Petroleum Engineers.

31. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О. Особливості гідротранспорту знімних кернаприймачів // Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. пр. – Випуск 23. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2020. – С. 103-114.

32. Koroviaka, Y. A., Mekshun, M. R., Ihnatov, A. O., Ratov, B. T., Tkachenko, Y. S., & Stavychnyi, Y. M. (2023). Determining Technological Properties of Drilling Muds. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 25-32. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/025>.

33. Aziukovskyi O.O., Koroviaka Ye.A., Ihnatov A.O. Drilling and operation of oil and gas wells in difficult conditions. – Dnipro: Zhurfond, 2023. – 159 p.

34. Суярко В.Г. Загальна та нафтогазова геологія: навч. посібник / В.Г. Суярко, О.О. Сердюкова, В.В. Сухов. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2013. – 212 с.

35. Патент на винахід № 102284 Україна МПК E21B 10/43 (2006.01). Бурове долото / А.О. Ігнатов., М.В Герасименко. – Опубл. 25.06.2013, бюл. № 12.

36. Маланчук З.Р., Маланчук Є.З., Корнієнко В.Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин. – Рівне: НУВГП, 2017. – 266 с.

37. Фізико-хімічна геотехнологія / М.М. Табаченко, О.Б. Владико, О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 310 с.

38. Ihnatov, A. O., Haddad, J., Stavychnyi, Y. M., & Plytus, M. M. (2022). Development and Implementation of Innovative Approaches to Fixing Wells in Difficult

Conditions. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*.
<https://doi.org/10.1007/s40033-022-00402-5>.

39. Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2022). *Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice Hall PTR.

40. Буріння свердловин: Довідник: У 5-ти т.: т. 2: Промивання свердловин. Відробка доліт / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, Р.С. Яремійчук / АТ "Агронафта". – К.: «Інтерпрес ЛТД», 2002. – 301 с.

41. Liu, Y., He, L., Dai, L., Shen, K., & Ba, Q. (2023). Analysis of Rock Breaking Parameters and Simulation of Mechanical Characteristics of Multi-Nozzle Jet Impact. *Sustainability*, 15(16), 12414.

42. Xiao, S., Xiao, J., Ren, Q., Zhang, W., Meng, X., Li, W., & Qin, H. (2024). Investigation on rock breakage by high-velocity water jet impact under different stress loading conditions: Fracture characteristic, stress and damage evolution laws. *Powder Technology*, 433, 119287.

43. Fan, C.-X., Li, D., Kang, Y., & Zhang, H.-T. (2024). Effect of low-speed waterjet pressure on the rock-breaking performance of unsubmerged cavitating abrasive waterjet. *Petroleum Science*.

44. Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. Монографія. А.В. Павличенко, Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов, О.М. Давиденко; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «ДП». – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 201 с.

45. Babu, K. K., Raji, A. K., & Veena, K. S. (2022). *Geotechnical Engineering*. I.K. International Publishing House Pvt. Ltd.

46. Sarsby, R. (2019). *Environmental Geotechnics in Practice: Introduction and case studies*. <https://doi.org/10.1680/egip.63631>.

47. Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С. Буріння свердловин. Довідник: у 5 т. Т. 5: Ускладнення. Аварії. Екологія. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 294 с.

48. Маланчук З.Р., Боблях С.Р., Маланчук Є.З. Гідровидобуток корисних копалин. – Рівне: НУВГП, 2009. – 280 с.

49. Ігнатов А.О., Ставичний Є.М. Геологічні й техніко-технологічні особливості кріплення нафтогазових свердловин з урахуванням фізико-хімічного

стану їх стовбурів // Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. пр. – Випуск 24 – К.: ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України, 2021. – С. 87-102.

50. Pavlychenko, A. V., Ihnatov, A. O., Koroviaka, Y. A., Ratov, B. T., & Zakenov, S. T. (2022). Problematics of the issues concerning development of energy-saving and environmentally efficient technologies of well construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1049(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012031>.

51. Skalle, P. (2015). *Drilling fluid engineering*. Publisher: bookboon.com isbn 978-87-403-1139-6.

52. Ihnatov, A., Koroviaka, Y., Rastsvietaiev, V., Tokar, L. (2021). Development of the rational bottomhole assemblies of the directed well drilling. *Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons – 2020*, E3S Web of Conferences 230, 01016 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123001016>.

53. Ihnatov, A.O., Koroviaka, Ye.A., Pinka, Jan, Rastsvietaiev, V.O., Dmytruk O.O. (2021). Geological and mining-engineering peculiarities of implementation of hydromechanical drilling principles. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 11-18. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/011>

54. Коровяка, Є.А., Ігнатов, А.О., Давиденко, О.М., Мекшун, М.Р. (2023). Аналіз деяких властивостей промивальних рідин та їх впливу на показники процесу буріння свердловин. *Інструментальне матеріалознавство : Зб. наук. пр. ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України*, (26), 58-68.

55. Koroviaka, Y. A., Mekshun, M. R., Ihnatov, A. O., Ratov, B. T., Tkachenko, Y. S., & Stavychnyi, Y. M. (2023). Determining Technological Properties of Drilling Muds. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 25-32. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/025>

56. Коровяка Є.А., Мекшун М.Р. (2024). Дослідження технології виготовлення корпусів гідромоніторних бурів з оптимальними експлуатаційними характеристиками. *Інструментальне матеріалознавство : Зб. наук. пр. ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України*, (27), 99-105.

Розділ 2 ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД

2.1 Система забезпечення свердловинних видобувних робіт за допомогою гідравлічного руйнування гірських порід

Необхідно позначити, що раціонально побудована система взаємопов'язаних між собою геотехнологічних процесів свердловинного гідравлічного видобутку корисних копалин включає в себе такі неодмінні складові, як утворення суміші, яка містить у собі корисні компоненти (так зване пульпоутворення) і всмоктування. Слід зауважити, що режим всмоктування практично повністю буде визначатися результатами процесів гідравлічного руйнування, тобто гранулометричним складом зруйнованої унаслідок активного гідромоніторного впливу гірської породи (породний шлам) [1].

Наявна виробнича практика доводить наступне: важливою слабкою ланкою геотехнологічного методу гідровидобутку є відсутність пристроїв, завданням яких є надійне управління процесом потрапляння у всмоктуючий трубопровід зруйнованої гідромонітором гірської породи (частинок доволі крупних розмірів) та його незрівнянно мала зона захоплення породного шламу. В результаті описаного явища відбувається неприпустиме заповнення робочої камери підйомного апарата (в даному випадку ерліфта) твердим матеріалом, що тягне за собою формування аварійної ситуації, оскільки тепер в ерліфт поступає у великих кількостях тільки вода із низьким вмістом твердої фази [2].

Вказане явище потребує застосування певних заходів, направлених на комплексне вирішення означеного питання в розрізі раціоналізації схеми відробки глибоко розташованого продуктивного масиву, надійної доставки розмитої (зруйнованої струменями рідини) гірської породи до всмоктувального елемента ерліфта, створення активного рухливого стану для зруйнованої гірничої маси з урахуванням отримуваної (або теоретичної) продуктивності ерліфта [3].

Слід зауважити, що процеси всмоктування при використанні гідровидобутку корисних копалин докорінно відрізняється від таких, які мають місце при здійсненні

всмоктування з-під води ґрунтонасосами, спеціальними землесосами або зануреними пісковими насосами. У вказаних випадках всмоктуваний матеріал, при здійсненні означених технологічних процесів, відразу замінюється іншим, що обумовлене постійним переміщенням цього земснаряду (наприклад, це може бути видобуток у водоймах будівельного призначення піщано-гравійного матеріалу) або подібна ситуація утворюється при постійному підгрибанні видобутого матеріалу бульдозером в зумпф-колектор всмоктувального пристрою (цей принцип покладений в основу роботи видобувного гідроелеватора при розробці копалин у вигляді розсипів) [4].

При здійсненні експлуатації широко застосовуваних морських земснарядів або відповідних ерліфтів також відбувається постійне переміщення видобутого матеріалу до всмоктувального елемента досліджувальних пристроїв за допомогою спеціальних пристроїв або індивідуальних технологічних прийомів, завданням яких виступає кероване горизонтальне переміщення видобутого відповідним чином матеріалу, наприклад це може бути скреперування.

Спеціально проведеними дослідженнями встановлено, що для забезпечення нормального протікання процесу підняття зруйнованих частинок гірничої маси необхідно робочу зону всмоктувального пристрою забезпечити надійно функціонуючим механічного або гідравлічного типу розпушувачами (їх завданням буде постійне гідравлічне зважування відокремлених частинок у всмоктувальному потоці). Вказане гідравлічне розпушування зруйнованої гірничої маси в радіусі впливу всмоктувального отвору можна достатньо ефективно використовувати при здійсненні роботи підйомної труби спеціального ерліфта, зануреної на потрібну відстань в шар гірничої маси. При вказаних умовах всмоктуваний потік, перед тим як він поступить в ерліфтну трубу пристрою, повинен спочатку профільтруватися через увесь шар зруйнованої гірничої маси (рис. 2.1) [5]. Саме в зазначених умовах достатньо ефективним буде застосування високанапірних і високошвидкісних струменів рідини не тільки для руйнування гірського масиву, а також і для турбулізації гідравлічного руху прилеглого об'єму рідини, що містить частинки зруйнованої породи [6]. Вказане буде можливим через явище падіння тиску у

високошвидкісному струмені, внаслідок чого виникатиме ефект підсмоктування оточуючого середовища та активізація всмоктування до транспортувальних пристроїв видобувного снаряда.



Рисунок 2.1 – Схема ерліфтного гідротранспортування гірничої маси

Треба зауважити, що наявна швидкість фільтраційного потоку рідини буде значно більше тієї швидкості потоку, що матиме місце при вільному всмоктуванні, адже сила потоку рідини активно діє на частинку гірничої маси з одного боку, а достатньо велика сила фільтраційного потоку рідини активно впливає на частинку з усіх її боків. Це також пов'язано із присутністю наявної співвісної з силою інерційної сили ваги частинки, тим самим зважуючи її, що не є можливим при здійсненні вільного всмоктування частинок гірської породи. У разі збільшення продуктивності ерліфта закономірно підвищується швидкість наявного фільтраційного потоку, до достатньо значних руйнівних показників, від ламінарного режиму руху рідини через турбулентний режим [7].

Частинку транспортованої породи, при її активній взаємодії з потоком рідини, можна охарактеризувати так званою гідравлічною крупністю, тобто деякою швидкістю падіння у ньютонівській рідині (тобто воді). Транспортування частинок зруйнованої гірської породи характеризується деякою абсолютною швидкістю

частинки V_q , яка пов'язана з середньою швидкістю потоку рідини V_p таким співвідношенням [8]:

$$V_p = u + V_q, \quad (2.1)$$

де u – швидкість осідання окремої частинки шламу в нерухомій рідині, м/с.

Пам'ятаючи про те, що одна з названих величин V_p або V_q відома, то для визначення іншої необхідно знайти розглянуту величину u .

Потрібне рівняння руху твердої частинки складають виходячи із законів механіки, а саме: суму усіх сил, діючих на окрему частинку, прирівнюють до сили інерції. На прикладі гідропідйому це зробити достатньо легко, тому що траєкторія досліджуваної частинки відома і напрямки дії усіх сил співпадають з напрямком руху самої частинки транспортованої гірської породи [9].

Позначимо, що на тверде тіло, яке занурюється в необмеженому об'ємі рідини, окрім сили інерції діє ще сила тяжіння [10]:

$$G_T = \rho g V, \quad (2.2)$$

і відома Архімедова сила:

$$P_A = \rho_p g V, \quad (2.3)$$

де ρ_p і ρ – відповідно густина рідини і щільність твердого тіла, яке занурюється в рідині, кг/м³; g – прискорення сили тяжіння, м/с²; V – об'єм тіла, зануреного в рідину, м³.

У разі появи відносної швидкості між тілом і рідиною закономірно виникає сила опору:

$$R = Cf \frac{\rho_p u^2}{2}, \quad (2.4)$$

де f – площа проекції поверхні твердого тіла на нормаль до вектора швидкості (це так званий міделевий переріз), м²; C – деякий коефіцієнт опору, який залежить від форми твердого тіла і режиму його обтікання; u – швидкість твердого тіла відносно рідини, м/с.

Тоді рівняння руху твердого тіла під дією цих сил набуде вигляд:

$$G_T - P_A - R = m_T \frac{du}{dt}, \quad (2.5)$$

де m_T – маса твердого тіла, що рухається у рідині, кг.

Підставляючи наявні значення для розглянутих величин G_T , P_A і R в рівняння (2.5), отримаємо:

$$m_T \frac{du}{dt} = \rho_p g V \left(\frac{\rho}{\rho_p} - 1 \right) - C_f \frac{\rho_p u^2}{2}. \quad (2.6)$$

При наявності несталого руху в досліджуваній системі з'являється дія сили інерції [11], причому проведені розрахунки показують, що тривалість деякого початкового періоду руху твердого тіла із стану спокою зазвичай мала, і його, в цілому, можна не брати до уваги. Таким чином, у загальному випадку розглядають рух сталим, і тому силу інерції в рівнянні (2.6), зазвичай, прирівнюють нулю, звідки можна отримати:

$$\rho_p g V \left(\frac{\rho}{\rho_p} - 1 \right) = C_f \frac{\rho_p u^2}{2}. \quad (2.7)$$

Після достатньо нескладних математичних перетворень з рівняння (2.6) можна отримати:

$$u = \sqrt{\frac{V \left(\frac{\rho}{\rho_p} - 1 \right) 2g}{f C}}. \quad (2.8)$$

Для частинки гірської породи кульової форми об'єм визначається по формулі:

$$V = \frac{\pi d^3}{6}, \quad (2.9)$$

де d – діаметр кулі, м.

Таким чином, проекцією поверхні твердого тіла у формі кулі на нормаль до вектора швидкості буде коло, причому площа його буде визначатися за формулою:

$$f = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (2.10)$$

Підставивши (2.9) і (2.10) в (2.8) та після деяких достатньо нескладних перетворень отримаємо:

$$u = \sqrt{\frac{4g}{3C} d \left(\frac{\rho}{\rho_p} - 1 \right)}. \quad (2.11)$$

Як було показано раніше, співвідношення (2.11) отримане з умови, що частинки зруйнованої гірської породи мають кулясту форму.

Для проведення потрібних розрахунків гідротранспорту пропонується користуватися не залежністю $C = f(Re)$ для кулі, а безпосередньо закономірною залежністю величини C від розміру матеріалу частинки, що транспортується. Вказана залежність знаходиться шляхом підстановки у рівняння (2.11) величини u з виразу, який дозволяє визначити число Рейнольдса, і тим самим визначити режим руху самої рідини [12]:

$$u = \frac{\nu Re}{d}, \quad (2.12)$$

де ν – кінематична в'язкість рідини, m^2/s .

В результаті підстановки отримаємо:

$$C = \frac{4g}{3Re^2 \nu^2} d^2 \left(\frac{\rho}{\rho_p} - 1 \right). \quad (2.13)$$

Тепер задаючись певними значеннями коефіцієнта C і визначаючи величини Re , можна спочатку отримати деяку залежність $C = f(d)$ у вигляді табличних даних, а потім побудувати відповідний графік для вказаної величини.

Таким чином, режим всмоктування в умовах достатньо повного заповнення твердими частинками гірської породи ерліфтною труби буде ефективним лише у разі постійного знаходження частинок гірської породи (незв'язної гірничої маси) в площині всмоктування, тобто в зоні присутності максимальних швидкостей. Всмоктувані частинки гірської породи з площини всмоктування будуть достатньо ефективно замінюватися новими та такими, що достатньо інтенсивно поступають у так званому гідрозваженому стані із загального об'єму зруйнованої гірничої маси тільки у випадку їх високого ступеня турбулізації, який можливий при використанні високошвидкісних струменів рідини [13].

Виходячи з наведених відомостей, можна зробити висновок, що стан рухливості (гідрозважування) зруйнованої гірничої маси (тобто незв'язної гірничої маси) забезпечується виключно руйнівними швидкостями фільтрації, або в аналізованому випадку активним впливом струменів на незв'язну, вже зруйновану,

гірничу масу, що можливо при застосуванні високошвидкісних струменів гідромонітора, максимально наближених до вибою [14].

Головною рушійною силою в здійсненні процесу всмоктування є різниця тисків (градієнт тисків) між зовнішньою і внутрішньою частинами всмоктувальної труби. За рахунок такого явища відбувається переміщення рідини із зовнішнього контуру потоку всередину всмоктувальної труби. Причому тут обов'язковою умовою ефективності протікання досліджуваного процесу всмоктування є рівність продуктивності гідровидобутку і витрати рідини, яка поступає до всмоктуючого контуру з оточуючого простору [15].

Присутність невідповідності між витратами зовні і продуктивності усередині всмоктувальної труби буде призводити до виникнення явища всмоктування малонасиченої твердими частинками суміші або до засмічення гірничою масою всмоктувального контуру завдяки невеликій швидкості всмоктувального потоку, який не має достатньої транспортуючої здатності. В таких умовах, у якості методу покращення процесу руйнування і гідротранспортування гірської породи буде достатньо ефективним процес примусового гідрозважування зруйнованої маси за рахунок використання активних гідравлічних струменів, формованих спеціальним гідромонітором.

2.2 Дослідження умов гідравлічного руйнування та швидкісних характеристик струминного потоку рідини

У відповідності до необхідності забезпечення раціональних умов утворення свердловини в гірському масиві потік рідини, що виходить з гідромоніторного бура, повинен надійно забезпечувати безперервне руйнування гірської породи. Такий динамічний руйнівний вплив рідини на вибій споруджуваної свердловини прийнято оцінювати величиною тиску або силою удару на місці контакту потоку рідини з вибоєм. При означених умовах механізм руйнування твердих порід буде полягати в первинному прорізанні деякої початкової щілини і подальшому активному тріщиноутворенні, яке сприятиме виникненню різноманітних змінних, стискаючих

або розтягуючих напруг і відриву окремих частинок від гірського масиву, причому на інтенсивність руйнування буде безпосередньо чинити вплив типу і кількості наявних тріщин [16].

Процес розмиву м'яких гірських порід будуть супроводжувати дещо інші принципи руйнування гірського масиву. Проведені експериментальні дослідження та наявний досвід так званого гідравлічного буріння (із використанням високошвидкісних струменів) доводять, що руйнування породи м'яких і середніх за твердістю категорій порід практично завжди відбувається при значно менших значеннях тиску активного струменя на вибій, ніж межі міцності названих типів порід [17]. Пояснити вказане можна тим, що руйнування в означених умовах викликається не стільки стискуванням породи, скільки інтенсивним керованим порушенням цілісності гірського масиву шляхом деякого фізичного роз'єднання частинок породи та їх видалення з масиву. Деякі аналогії аналізованого гідравлічного руху можна знайти в теорії руслових потоків, в якій детально описується механізм розмиву стінок гідравлічних каналів, які утворені незв'язними ґрунтами [18]. Таким чином, при так званому гідравлічному бурінні по незв'язних та зв'язних гірських породах такий підхід до механізму руйнування може мати місце і бути найбільш прийнятним з позицій аналітичного обґрунтування механізму утворення свердловин.

Виходячи з позначеного, за основний параметр, який буде визначати якісну сторону оцінки впливу рідини на вибій, можна прийняти значення деякої швидкості потоку, при якій буде забезпечуватися достатньо надійний розмив породи. У практиці гідротехнічного будівництва прийнято використовувати значення граничної нерозмивної швидкості потоку для порід середнього комплексу твердості на рівні $[u_{\text{нер}}] = 1,2 \text{ м/с}$, а для дрібнозернистих – $0,8 - 0,95 \text{ м/с}$, які і характерні для окреслених нами умов геотехнологічного буріння.

Таким чином, деяка середня швидкість активного струменя в площині вибою, з урахуванням вищесказаного, обов'язково повинна перевищувати значення граничної швидкості, що не розмиває, для конкретного типу порід та умов руйнування гірського масиву в стовбурі свердловини [19].

Раніше проведеними роботами щодо визначення механізму гідравлічного руйнування було доведено, що дуже низьку виробничу ефективність розмиву гірських порід можна отримати при застосовуванні принципу руйнування гірського масиву суцільним потоком. Позначене свідчить, що для раціоналізації механізму руйнування активний струмінь необхідно формувати встановленим у підйомному снаряді вузлом з отворами – гідромоніторним буром, визначення раціонального конструктивного виконання та технологічного супроводження якого є однією з цілей представленої роботи.

Експериментальні дослідження щодо вивчення принципів роботи гідромоніторних бурів з насадками різної геометричної форми показують, що застосування для отворів так званої некруглої форми призводить до активного закручування робочого струменя, виникнення в цьому струмені периферійних вихорів, причому вони сприяють негативному розсіюванню частинок рідини, що стає причиною зайвої втрати гідравлічної енергії [20]. Хоча для насадок інших форм і показано деяке підвищення осьової швидкості, проте проведені експериментальні дослідження однозначно не виявили переваги струминних насадок некруглого або кільцевого поперечного перерізу перед широко застосовуваними круглими при оцінці сили гідродинамічного впливу струменів на породний вибій. Потрібно також зазначити, що виготовлення отворів круглого перерізу більш технологічне, ніж інших фасонних форм.

Дослідженням також були піддані питання можливості використання однієї насадки в снарядах гідромоніторного буріння. Для вказаних умов необхідно віддаляти джерело формування активного струменя від вибою, щоб досягнути повного перекриття площини вибою. Встановлено, що з віддаленням джерела активного потоку рідини його швидкість, а тим самим і здатність до активного руйнування, знижується. Наприклад встановлено, що для одиночного струменя діаметром 10 мм швидкість активної дії становить 63,7 м/с. Буде очевидно, що збільшення витрати рідини через буровий насос призведе до збільшення швидкості струменя, а це буде причиною зменшення розмірів зони нестійкого розмиву. Відповідно до даних проведених експериментальних досліджень можна

стверджувати, що одноструминний потік робочої рідини є менш ефективним у порівнянні з декількома. Тобто необхідно вважати, що більш ефективно руйнувати гірські породи буде конструкція бурового снаряда з декількома струменеформуючими насадками, в якому кожному струменю відведена своя конкретна ділянка для здійснення руйнування гірської породи. Робоча рідина, що витікає з отвору гідромоніторного бура буде утворювати вільний струмінь, який внаслідок впливу турбулентності, буде частково змішуватися з навколишнім об'ємом рідини. Також вільний струмінь буде захоплювати за собою рідину, яка межує з ним, що закономірно призведе до деякого збільшення поперечного перерізу активного струменя і деякого зменшення швидкості потоку, особливо в міру віддалення від формуючого отвору. Таким чином, процес гідророзмиву (гідроруйнування) є головним елементом всієї технологічної системи здійснення свердловинного гідровидобутку (рис. 2.2) [3].

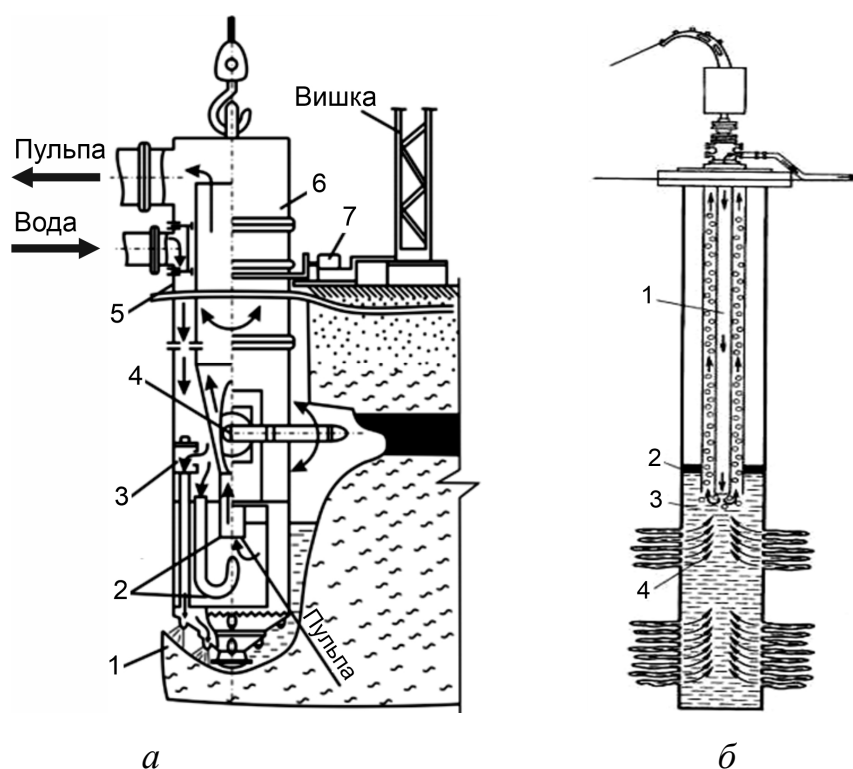


Рисунок 2.2 – Схема буріння (а) і свердловинного гідровидобування (б) корисних копалин: схема а 1 – підстілаюча порода; 2 – гідрорелеватор; 3 – гідравлічний пристрій; 4 – насадка гідромонітора; 5 – проміжний відсік; 6 – корпус гідромонітора (снаряда); 7 – механізм повороту гідромонітора; схема б 1 – газоподавальна труба; 2 – пакер; 3 – пульпа; 4 – напрямок руху суміші

2.3 Буріння свердловин із застосуванням ефекту гідравлічного руйнування гірського масиву

Нині застосовувані методи руйнування масиву були розроблені з огляду на врахування його міцності; звідси стає очевидним, що відносно нетверді гірські породи найбільш раціонально руйнувати гідромоніторними струменями (рис. 2.3). Посилити процес руйнування можна за рахунок фізичного або хімічного впливу. Доцільно комбінувати процеси руйнування і транспортування зруйнованої породи на поверхню напірними потоками [22].

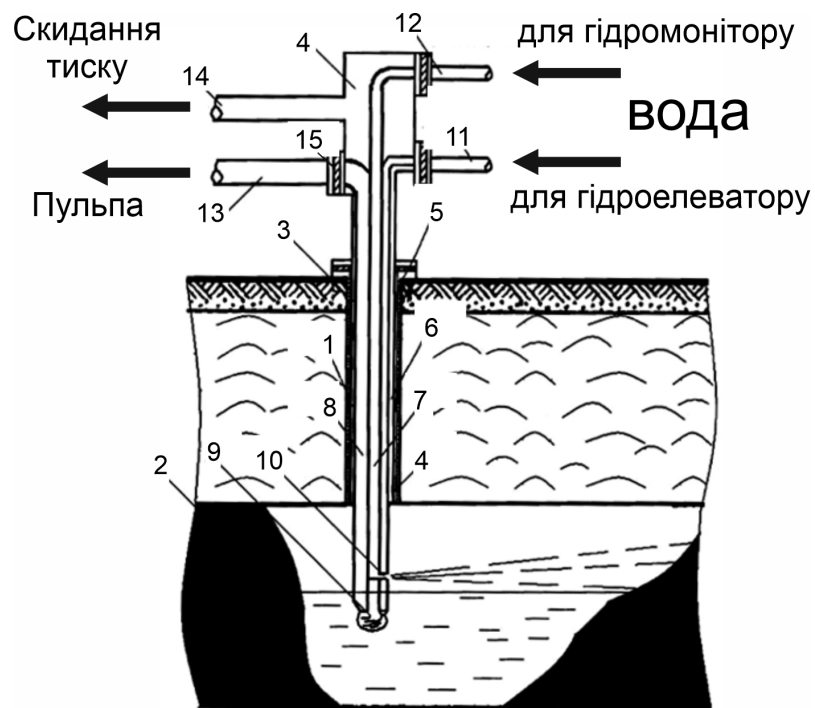


Рисунок 2.3 – Принципова схема гідровидобутку: 1 – свердловина; 2 – пласт корисної копалини; 3,4 – герметичні камери; 5 – зазор між стінкою свердловини і циліндричною частиною камери; 6,7,8 – труби для подачі води на гідроелеватор, гідромонітор і видачі пульпи на поверхню; 9 – гідроелеватор; 10 – гідромоніторний ствол; 11,12,13 – патрубки герметичної камери для подачі води і видачі пульпи; 14 – патрубок; 15 – прокладка

Типовий гідромоніторний бур зазвичай складається із ствола і робочої насадки. Надійне забезпечення гідромонітора мінімально необхідною і технологічно виправданою довжиною ствола в межах достатньо невеликого діаметра свердловини (близько 300 - 350 мм) можливе тільки при використанні конструкції так званого

вивідного гідромонітора або достатньо гнучкого ствола. Вивідний гідромонітор, який може приймати потрібне робоче горизонтальне положення за рахунок виникнення керованих сил реакції струменя активної рідини, буде найбільш ефективним при його застосуванні у процесах ведення гідравлічного розмиву в незатоплених робочих камерах або в таких, але при достатньо невеликих глибинах проведення свердловинної розробки (яка не перевищує 100 м) і достатньо малих радіусах розмиву [3].

Головним робочим органом при гідравлічному руйнуванні гірської породи є гідромоніторний струмінь, який і здійснює руйнування і підйом зруйнованої гірничої маси. Розглядуване гідравлічне руйнування гірських порід ведеться затопленим вільним струменем при умовах, що густина рідини струменя дорівнює густині середовища. До основних параметрів гідромоніторного струменя, які визначаються, здебільшого, конструкцією гідромоніторного бура (рис. 2.4), відноситься швидкість струменя, витрата рідини і діаметр насадки.

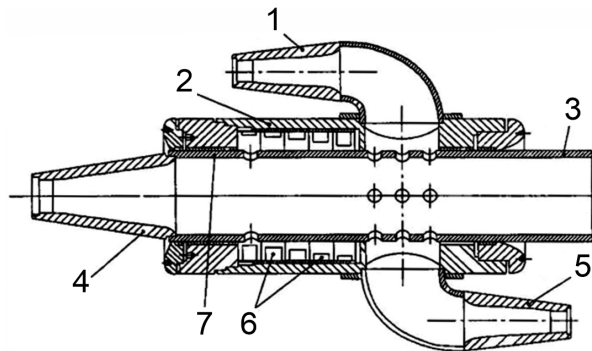


Рисунок 2.4 – Гідромоніторна головка: 1 – відбійна насадка; 2 – корпус, що обертається; 3 – ствол; 4 – врубова насадка; 5 – транспортуюча насадка; 6 – гальмо; 7 – підшипник

Приймаючи до уваги те, що головним робочим інструментом методу свердловинного гідроруйнування є певних характеристик гідромоніторний струмінь, призначенням якого виступає одночасно руйнування і підйом зруйнованої гірничої маси, при проектуванні означеної технології необхідно визначити гідравлічні характеристики гідромоніторних струменів (низького, середнього або високого тиску), причому основними параметрами їх будуть: гідравлічна характеристика потоку та швидкість робочого струменя рідини [2].

Гідравлічний розрахунок достатньо складного процесу циркуляції за гідравлічного руйнування необхідно виконувати з метою коректного визначення необхідних характеристик поверхневого бурового насоса (необхідної кількості насосів), а також обґрунтованого вибору його типу, що буде найбільш відповідати розрахунковим величинам активного потоку [15].

При проведенні гідравлічного розрахунку визначають такі важливі технологічні параметри: необхідну інтенсивність подачі очисного агента; режим течії агента залежно від швидкості руху; гідравлічні опори руху рідини за характерними ділянками, сумарні гідравлічні опори [4].

Технологічний процес промивання має бути спроектований і реалізований так, щоб досягти найкращих техніко-економічних показників буріння і в цілому спорудження свердловини. При цьому головна увага має бути приділена виконанню основних технологічних функцій і обмежень [23].

Розмір частинок шламу, при будь-яких способах буріння, характеризується великим діапазоном: від декількох мікрон до сантиметрів. Для оцінки можливості транспортування гідравлічно зруйнованого шламу потоком очисного агента приймається зазвичай середній розмір частинок, які разом з дрібнішими фракціями складають основну частину шламу, що утворюється. При цьому окремі частинки на вибої можуть бути більше середнього розміру в 3 - 5 разів [24].

Форма частинок шламу чинить істотний вплив на величину підйомної сили, що створюється потоком. Залежно від структури перебудурюваних порід можлива широка різноманітність форм частинок. Найчастіше зустрічаються частинки зернистої форми, включаючи округлі і неправильні.

При швидкості потоку, рівному критичній $V_{кр}$, частинки шламу середнього розміру лише утримуватимуться в зваженому стані і винесення їх на поверхню йти не буде. Для транспортування шламу необхідно, щоб швидкість потоку V_n перевищувала критичну, причому частинки рухатимуться зі швидкістю C , що дорівнює різниці означених швидкостей потоку:

$$C = V_n - V_{кр}. \quad (2.14)$$

Величина швидкості транспортування часток вибирається відповідно до умов спорудження свердловин і повинна бути достатньою для запобігання скупчуванню шламу у свердловині. Вона має бути тим більшою, чим більше швидкість буріння і глибина свердловини.

Кількісним критерієм достатності очищення свердловини прийнято вважати об'ємну концентрацію частинок шламу в потоці $X = V_{БШ}/V_{КП}$ ($V_{БШ}$ – об'єм бурового шламу в кільцевому просторі свердловини, $V_{КП}$ – об'єм кільцевого простору свердловини).

У практиці буріння використовується й інший критерій. Визначення необхідної швидкості транспортування шламу для конкретних умов при цьому можливо за формулою:

$$C = \frac{F_6 V_m (\rho - \rho_p)}{F_{kn} (\rho_{pv} - \rho_p)}, \quad (2.15)$$

де F_6 – площа вибою споруджуваної свердловини; V_m – механічна швидкість буріння; ρ – щільність частинок зруйнованої гірської породи; ρ_p – густина бурової промивальної рідини; F_{kn} – площа кільцевого простору свердловини; ρ_{pv} – густина висхідного потоку рідини, збагаченого шламом.

Для найбільш характерних умов буріння свердловин, величина мінімальної швидкості транспортування частинок шламу знаходиться, зазвичай, в межах 0,02 - 0,2 м/с. Швидкість транспортування за цієї умови буде такою [25]:

$$C = \frac{F_6 V_m}{F_{kn} X}. \quad (2.16)$$

Для можливості ефективного та однозначного дослідження умов гідравлічного спорудження свердловин фахівцями кафедри нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» було розроблено спеціальний дослідницький стенд гідродинамічних потоків [26], у якому принципово інше конструктивне виконання, механізм функціонування та контрольно-вимірювальне супроводження дозволяють: в спрощеній формі вести вивчення локальних кількісних параметрів багатофазного збагаченого шламом потоку в умовах, максимально наближених до реальних, із введенням у нього домішок, які імітують продукти руйнування гірського масиву,

розширити можливості експериментальних методів діагностики шламоскупчення, здійснювати моделювання фізико-хімічної взаємодії потоку із стінками стовбура свердловини і в цілому в об'ємі очисного агента, а за рахунок цього з'являються умови для надійної розробки, тестування та корегування технологічних характеристик спеціальних бурових промивальних рідин, що буде запорукою, насамперед, усунення явищ ускладнень та аварій, пов'язаних з неякісним очищенням.

Стенд для дослідження гідродинамічних потоків включає закритий корпус, з приєднаними до нього магістральними трубопроводами із манометром і витратомірами, та розміщеними в ньому досліджуваними механізмами; корпус стенду виконано циліндричним із прозорого пластику, при цьому в нижній циліндричній частині корпусу встановлено вхідний блок «манометр-витратомір-анемометр» контролю збагачених потоків в стовбурі свердловини, а в його середній частині розміщено, з можливістю позиціонування, параметричний блок, який з одного боку складається з відеофіксатора, а з другого – термоанемометра та турбінного витратоміра, крім того, верхня циліндрична частина корпусу обладнана дозатором матеріалу.

За запропонованої схеми стенда можливо здійснювати вимір двомірних (тримірних) полів швидкості робочого потоку в корисному об'ємі.

Працездатність гідродинамічного стенда для інженерних досліджень процесу очищення свердловини перевірялася в ході численних експериментальних перевірок.

Стенд може бути використаний для моделювання умов очищення вибою та стовбура свердловини, в умовах максимально наближених до реальних, що дозволяє отримати цілком достовірні локальні кількісні гідродинамічні характеристики багатофазних потоків циркулюючих агентів, викликаних роботою виконавчих органів бурового гідравлічного інструменту, а також вивчення процесів шламоскупчення, з широким варіюванням технологічних параметрів циклу очищення, в ускладнених ділянках.

Натурні дослідження процесу очищення стовбура свердловини проводилися на спеціальній буровій (рис. 2.5). Стенд включає: буровий плунжерний насос НБ 3-120/40 (1), витратомір ЕМР-2 (2), модель свердловини (3), буровий сальник (4), бурилльні труби (5), всмоктуючий та нагнітальний трубопроводи (6) та (7), буровий верстат (8), резервуар для відбору проб очисного агента (9), жолобну систему (10), відстійник (11).

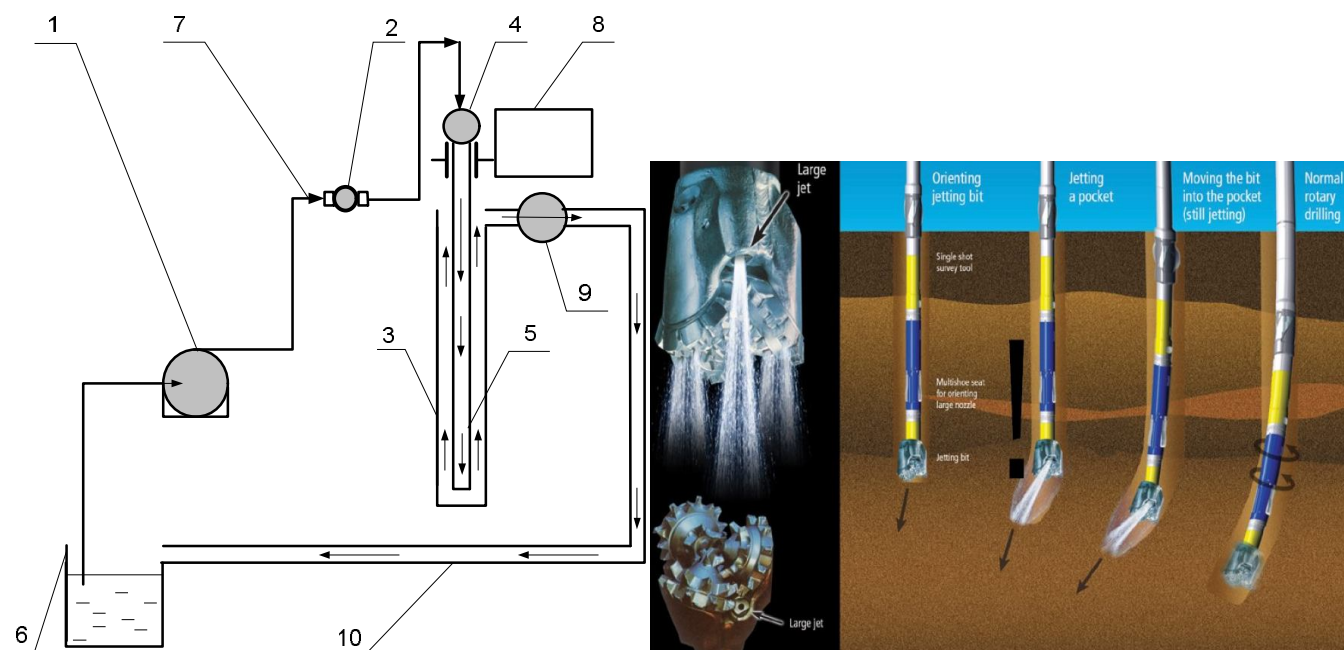


Рисунок 2.5 – Схема досліджуваної бурової свердловини

На першому етапі досліджень у модель свердловини засипається розрахункова кількість трасера (шламу), за формою відповідного натуральному шламу і розсіяному по фракціях. Промивна рідина подається насосом у модель свердловини. У процесі дослідження визначають швидкість руху частинок трасера і час, необхідний для повного очищення вибою свердловини. Розподіл частинок стовбура свердловини визначають за допомогою фотозйомки. Визначення впливу величини витрати промивальної рідини та її властивостей на якісне очищення вибою свердловини оцінюватиметься за часом винесення трасера. На другому етапі визначається фактично необхідний час повного винесення трасера при заданих частоті обертання снаряда, технологічних властивостях промивальної рідини і її витрати.

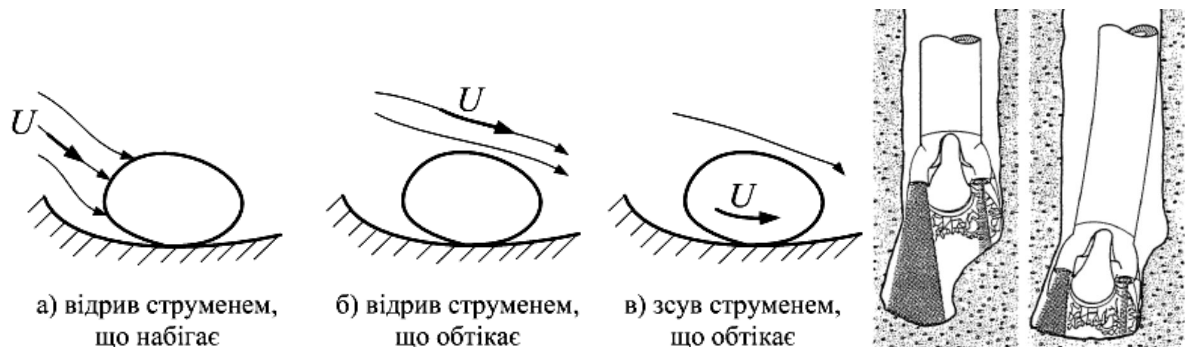


Рисунок 2.6 – Огляд можливих схем відриву частинок зруйнованої породи від вибою

При русі промивальної рідини по вибої свердловини частинка шламу, що розташована на його поверхні, випробовує вимивну дію потоку рідини, який рухається паралельно вибою. При цьому можливі такі варіанти відриву частинки від вибою (рис. 2.6).

Рух промивної рідини безпосередньо на вибої свердловини характеризується тим або іншим ступенем турбулентності потоку, значення якого визначається величиною критерію Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{U d_e \rho_p}{\mu}, \quad (2.17)$$

де U – швидкість потоку на вибої, м/с; d_e – еквівалентний діаметр потоку, м; ρ – густина промивальної рідини, кг/м³; μ – динамічна в'язкість рідини, Па·с.

У процесі буріння на вибої утворюється приграничний шар, в якому при малих швидкостях руху промивальної рідини може встановитися або ламінарний режим (характеризується параболічним розподіленням швидкостей) або турбулентний (характеризується сплосченим розподілом швидкостей), та незалежно від режиму руху в приграничному шарі – ламінарний підшар, який суттєво впливає на умови руху зруйнованих частинок породи. Товщина ламінарного підшару залежить від в'язкості промивної рідини та швидкості її руху. Товщину ламінарного підшару та швидкість руху в ньому пропонується визначати за наступними формулами:

$$h_n = a \frac{v}{U_{cep}}, \quad (2.18)$$

та:

$$U_y = by \frac{U_{cep}^2}{\nu}, \quad (2.19)$$

де h_l – товщина ламінарного підшару, м; ν – кінематична в'язкість рідини, м²/с; U_{cep} – середня швидкість руху рідини в зоні вибою, м/с; U_y – швидкість руху рідини в ламінарному підшарі на відстані y від вибою, м/с; a і b – коефіцієнти, які залежать від коефіцієнта гідравлічного опору, густини рідини та ін.

Таким чином, зробимо висновок. Одні частинки породи, що утворилися під впливом гідравлічного породоруйнівного інструменту, піддаються дії прикордонного шару, інші попадають в зону дії ламінарного підшару (рис. 2.7).

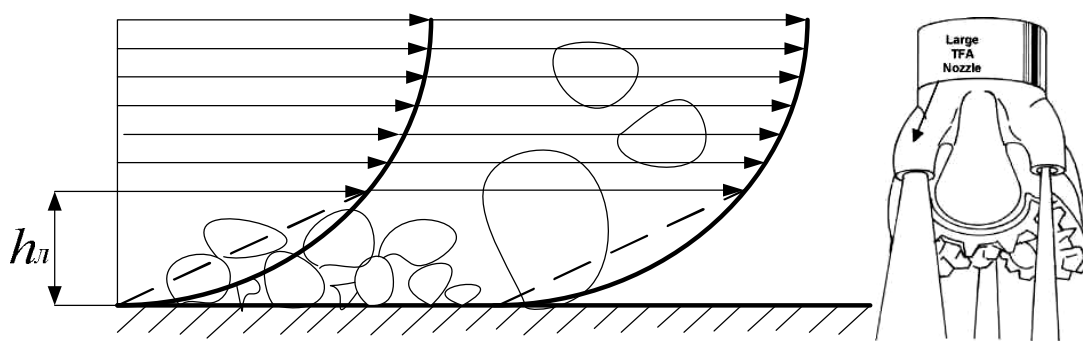


Рисунок 2.7 – Орієнтовний профіль швидкостей в привибійній зоні споруджуваної свердловини

Неважко бачити, що згідно з (2.18) та (2.19), при підвищенні швидкості руху рідини в привибійній зоні в два рази, товщина ламінарного підшару зменшиться в два рази і в чотири рази збільшиться швидкість руху рідини у ньому самому.

Основним чинником ефективності очищення вибою є турбулентний стан промивальної рідини в привибійній зоні. Інтенсивність турбулентності потоку на вибої визначається головним чином в'язкісними властивостями промивальної рідини. З ростом в'язкості промивальної рідини знижується рівень турбулентності, а отже погіршуються умови очищення вибою.

За гідравлічного буріння прокачувана через привибійну зону промивальна рідина має виносну функцію: вона захоплює зважений в цій зоні шлам і виносить його в кільцевий простір. Можна припустити, що ця рідина рухається навколо гідравлічного породоруйнівного інструменту у вигляді вихрового потоку. Виносна

ж здатність вихрового потоку тим вище, чим вище значення його вихору швидкості. При цій інтенсивності вихору величина його швидкості обернено пропорційна площі поперечного перерізу потоку f_g . Для привибійної зони площею поперечного перерізу вихрового потоку є площа поперечного перерізу кільцевого простору між інструментом і стінкою свердловини.

З результатів вимірів можна стверджувати, що у гідравлічних доліт величина f_g максимальна на рівні, який знаходиться від вибою на відстані, приблизно рівній проєкції діаметра гідравлічного руйнівного інструмента на вертикальну вісь, і вона дещо більше f_g біля основи гідравлічного руйнівного інструмента, тобто біля вибою.

В ході виконання дисертаційних досліджень було розроблено спеціальний гідромоніторний бур [27], в якому інше конструктивне виконання взаємодіючих робочих вузлів та гнучкість режиму поверхневого керування забезпечують: реалізацію програми ефективного направленою руйнування гірського масиву активованими гідромоніторними струменями; розмірну компактність і рухливість пристрою відносно габаритних розмірів свердловин різного призначення; оперативність корегування гідравліко-силових характеристик активованого потоку робочої рідини; застосування пристрою в техніко-технологічних схемах буріння свердловин та послідовного розширення останніх в інтервалі продуктивних горизонтів; підвищення ступеня та досконалості використання гідравлічної й механічної потужності поверхневих бурових насосів; збільшення механічної й рейсової швидкості буріння; удосконалення системи розробки родовищ корисних копалин; зниження амортизації самого пристрою та основного й допоміжного бурового інструменту і за рахунок цього створюються умови безперервності процесу формування стовбура свердловини при зниженні енергоємності.

Поставлене завдання було вирішено тим, що у відомому гідромоніторному бурі, який включає корпус, циркуляційний канал з гідромоніторною насадкою та буровий постав, його циркуляційний канал виконаний як гідромоніторна розгінна камера, охоплена кільцевим проточним електродом, та по центру якої встановлено стрижневий електрод в ізоляційній оболонці з можливістю поздовжнього переміщення в ній та формування розгінної контактної електрогідравлічної ділянки,

до того ж корпус гідромоніторної розгінної камери закріплено рухливо до бурового поставу.

На рис. 2.8 (а) наведена загальна компоувальна схема пропонованого до застосування гідромоніторного бура, де 1 – буровий став, утворено бурильними трубами, зібраними у колону 2, з'єднаних замками 3, а в нижній частині завершуваних поворотним механізмом 4 із гідромоніторною розгінною камерою 5, з підключенням до останньої електричного кабелю 6. На рис. 2.8 (б) наведено розріз гідромоніторної розгінної камери 5 по лінії А-А, де 10 – кільцевий проточний електрод. Корпус 7, завершуваний циркуляційним соплом 14, рухливо з'єднаний з буровим поставом 1. В корпусі 7 гідромоніторної розгінної камери 5 по центру встановлено стрижневий електрод 9 з утворенням розгінного контуру 8 між ним, ізоляційною оболонкою 11, контактною електрогідравлічною ділянкою 15 та внутрішньої поверхні корпусу 7. Контактна електрогідравлічна ділянка 15 формується поздовжнім переміщенням ізоляційної оболонки 11 накидною гайкою 12 із захватами 16 та підключенням стрижневого електрода 9, за допомогою електричного кабелю 6, до електричної загальнопромислової мережі бурової. Каналом потрапляння робочої рідини до розгінного контуру 8 – виступає вхідний отвір 13.

Пристрій працює так. Руйнування породного масиву здійснюють за спуску бурового ставу 1, утвореного бурильними трубами 2, з'єднаних замками 3, у свердловину та підключення, за допомогою електричного кабелю 6, змонтованої у поворотному механізмі 4 гідромоніторної розгінної камери 5 до електричної загальнопромислової мережі бурової. Щільне магнітне поле, що рухає та різко прискорює рух рідини в розгінному контурі 8, формується таким чином. Розрядний струм тече в радіальному напрямку між електродами, одним з яких слугує позитивний стрижневий електрод 9 (сталевий стрижень з конусоподібним наконечником), розташований на осі розгінної камери 5, а іншим – кільцевий проточний електрод 10. Радіальний розрядний струм взаємодіє з концентричним магнітним полем. Сила, спрямована уздовж вісі системи, сприяє прискоренню руху рідини, що поступає до розгінної камери 5 через вхідний отвір 13. З

міжелектродного простору, через циркуляційне сопло 14, активований струмінь рідини викидається зі швидкістю понад 100 м/с, захоплюючи за собою і рідину, що рухається стовбуром свердловини та із значним швидкісним напором врізається в породний масив, тим самим проводячи руйнування останнього. Підвищення рівня сили впливу активованого струменя рідини та його швидкості, враховуючи задані руйнівні характеристики породного масиву, здійснюють за допомогою поздовжнього переміщення ізоляційної оболонки 11 накидною гайкою 12 із захватами 16, що супроводжується зростанням площі контактної електрогідролічної ділянки 15, тобто збільшенням напруженості магнітного поля. Безперервний перехід від циклу буріння до циклу розширення свердловини та зворотно, забезпечується рухливістю встановлення розгінної камери 5.

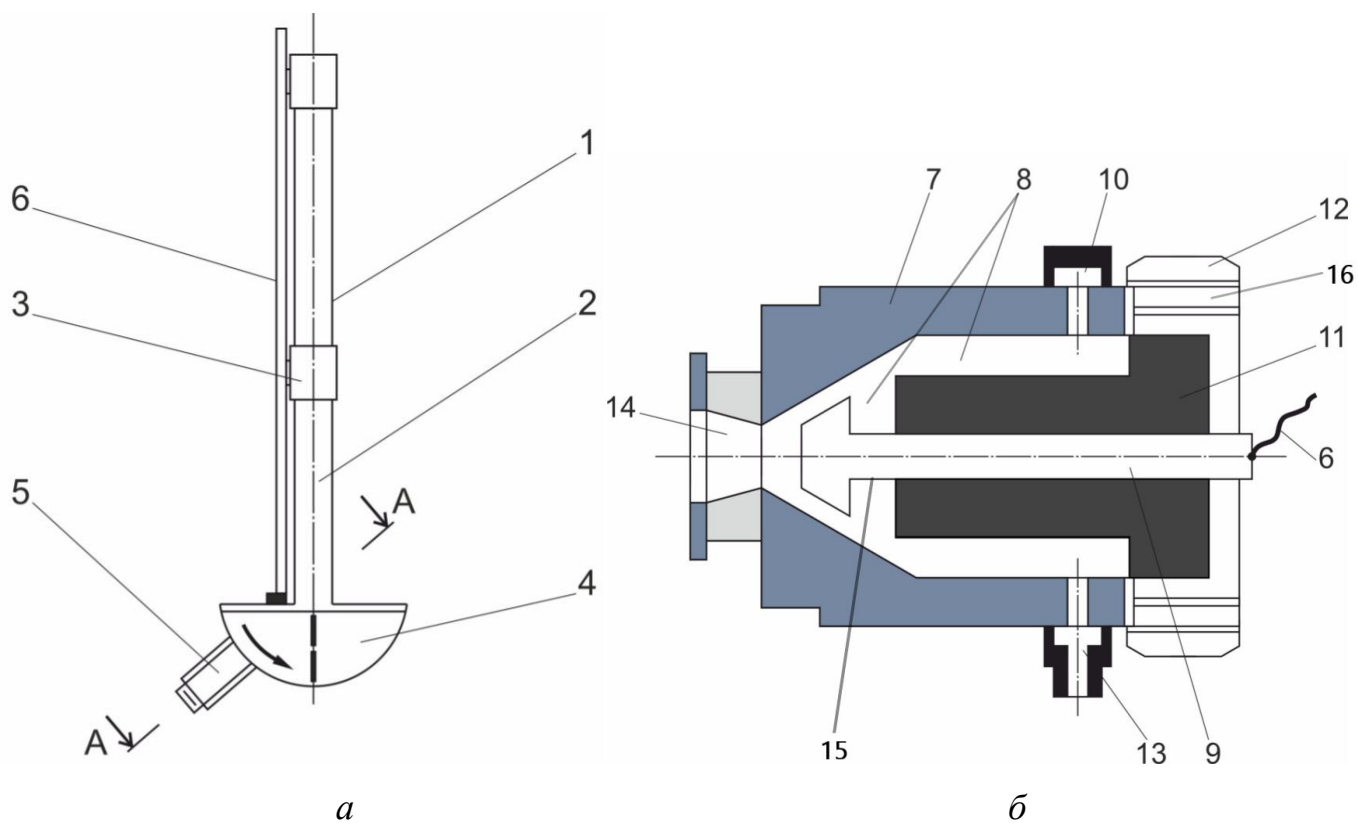


Рисунок 2.8 – Загальна схема гідромоніторного бура (а) і розріз гідромоніторної розгінної камери 5 по лінії А-А (б)

На рис. 2.9 представлено робоче креслення гідромоніторного бура, де 1 – корпус; 2 – монтажна кришка корпусу; 3 – отвір для кабелю; 4 – різьба для з'єднання з бурильними трубами діаметром 89 мм; 5 – насадка з дифуззором 30 град,

яка з'єднується з корпусом по посадці на конус 6 градусів; 6 – електромагнітна котушка з внутрішнім об'ємом 100 см³; 7 – струмопровідний з'єднувальний кабель електромагнітної котушки; 8 – болт М20х60 (3 шт.).

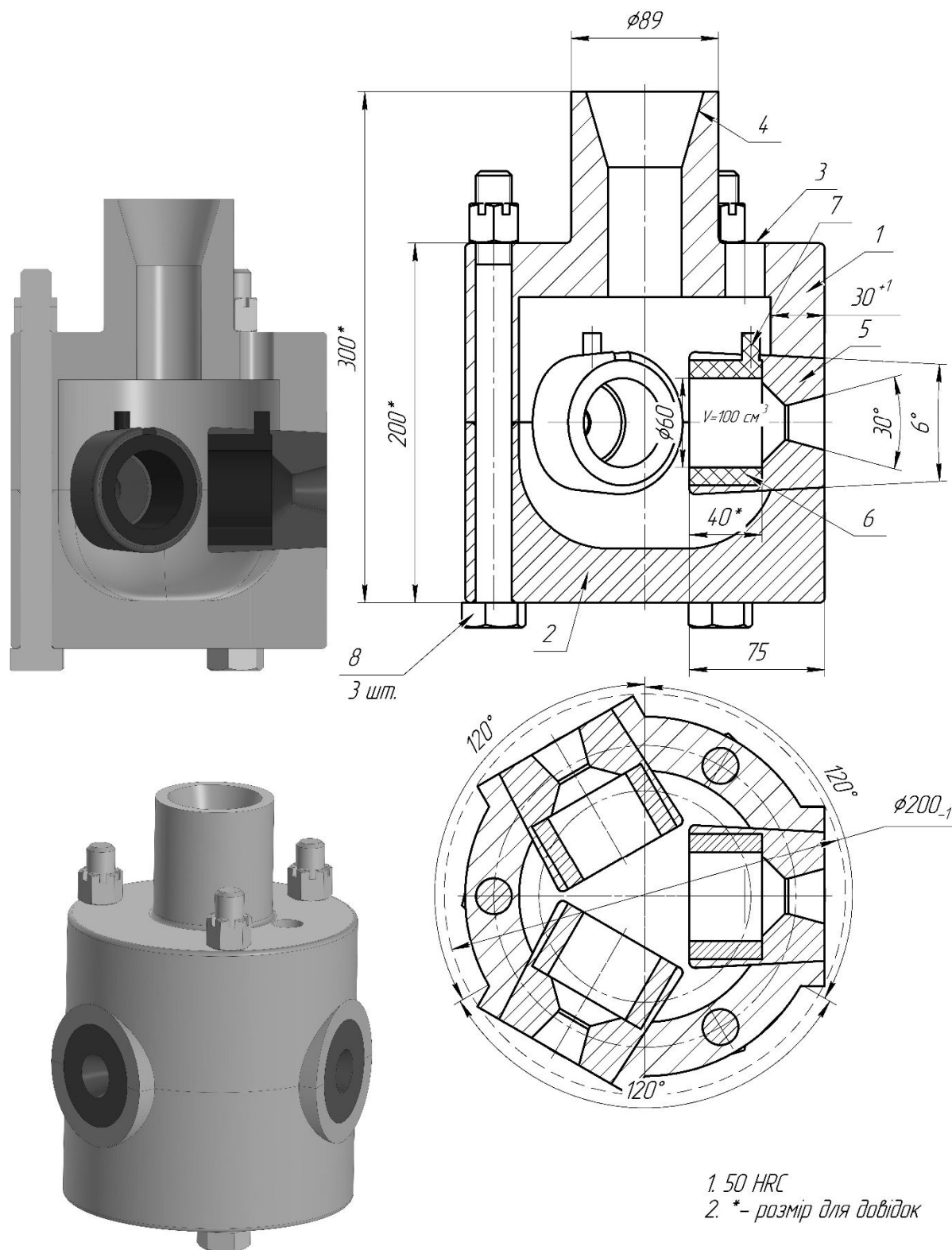


Рисунок 2.9 – Робоче креслення гідромоніторного бура

Вказане виконання бура дозволяє ефективно формувати стовбур свердловини навіть в м'яких породах, схильних до набрякань, що виключає необхідність додаткових проробок, сприяє загальному зниженню енергоємності і часу на спорудження свердловин в безперервному управлінні процесом поглиблення вказаних гірничих виробок різного призначення, ускладнених проявом гірничо-геологічних умов.

Проведення розрахунку раціональних параметрів гідравлічного руйнування гірської породи потрібне для обґрунтованого вибору обладнання для забезпечення реалізації процесу руйнування в свердловинних умовах. Параметри вказаного процесу гідравлічного руйнування значною мірою буде залежати від фізичних і механічних властивостей гірських порід, які підлягають руйнуванню, і характеристик використовуваного технологічного обладнання [3].

При руйнуванні гірського масиву [28] нормальне навантаження на пласт породи, що знаходиться під впливом активного струменя, визначається наступною залежністю:

$$G = \gamma_n \cdot g \cdot H, \text{ Па}, \quad (2.20)$$

де γ_n – щільність гірських порід, кг/м^3 ; g – швидкість вільного падіння, м/с^2 ; H – глибина залягання пласта, м.

Тиск в просторі пор гірської породи [29], що піддається впливу струменя:

$$P_{\text{зідр}} = \gamma_v \cdot g \cdot H, \text{ Па}, \quad (2.21)$$

де γ_v – густина ґрунтових вод, кг/м^3 .

Величина ефективних напруг в гірській породі:

$$G_e = G - P_{\text{зідр}}, \text{ Па}. \quad (2.22)$$

Величина опору зсуву водонасичених порід:

$$\tau_s = C_0 + G_e \cdot \text{tg}\varphi, \text{ Па}, \quad (2.23)$$

де C_0 – коефіцієнт зчеплення гірських порід, Па; φ – кут внутрішнього тертя гірської породи, град.

Мінімальна питома напруга удару активного струменя, що потрібна для

здійснення руйнування гірської породи:

$$P_{y \min} > \tau_s \cdot \quad (2.24)$$

Тиск рідин при вході в гідравлічні насадки:

$$P_0 = P - \Delta P_c + \gamma_{pp} \cdot g \cdot H - \Delta P_T, \text{ Па}, \quad (2.25)$$

де P – тиск рідини, що розвиває застосований насос (відповідно до його технічної характеристики), Па; ΔP_c – орієнтована втрата напору в технологічній циркуляційній схемі (гідравлічному обв’язуванні свердловини), $\Delta P_c = (0,020 - 0,050) \cdot 10^6$ Па; γ_{pp} – густина робочої рідини (до прикладу технічної води) $\gamma_{pp} = 1000$ кг/м³; ΔP_T – орієнтовані втрати тиску рідини в гідромоніторі, $\Delta P_T = (0,4 - 0,7) \cdot 10^6$ Па.

Початкова швидкість витікання струменя рідини з насадки:

$$U_0 = k_u \sqrt{2 \cdot 10^{-3} \cdot P_0}, \text{ м/с}, \quad (2.26)$$

де k_u – коефіцієнт швидкості потоку, $k_u = 0,92 - 0,96$.

Витрата рідини в гідромоніторі:

$$Q = 0,25 \cdot \pi \cdot d_n^2 \alpha U_0, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.27)$$

де α – коефіцієнт стиснення струменя рідини; приймається $\alpha = 1$; d_n – номінальний діаметр насадки гідромонітора, м.

Таблиця 2.1 – Розрахункові коефіцієнти структури активного потоку струменя гідромонітора

Тиск в просторі пор гірської породи $P_{зідр}$, МПа	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
Параметр n	1,87	1,471	1,002	0,561	0,2

Коефіцієнт структури активного потоку гідромоніторного струменя:

$$\alpha = \frac{1}{16 - 10^{-6} n P_{зідр}}, \quad (2.28)$$

де n – величина, що залежить від тиску гідромонітора (табл. 2.1).

Відстань від гідравлічної насадки до вибою свердловини, на якій можливе ефективне руйнування гірської породи:

$$l = \frac{d(1060U_0^2 - 0,29\tau_s)}{2\alpha\tau_s}. \quad (2.29)$$

Розрахункова продуктивність гідравлічного руйнування гірських порід:

$$П = \frac{10^{-3} K \cdot P_0}{g}, \quad (2.30)$$

де K – деякий коефіцієнт, який залежить від діаметра насадки (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Розрахункові коефіцієнти продуктивності гідравлічного руйнування гірського масиву

Діаметр насадки гідромонітора d_H , м	11	15	23
Коефіцієнт K	1,2	2,0	4,8

Приймаючи до уваги наведене, можна стверджувати, що розрахунок гідравлічного руйнування гірських порід [30] при гідравлічному видобуванні зводиться до визначення деякої мінімальної довжини струменя активного потоку, витрати робочої рідини і продуктивності свердловинного гідробура.

2.4 Обґрунтування технологічних параметрів гідромоніторного бура для умов буріння геотехнологічних свердловин

Конструкція гідромоніторного бура, що була розроблена на кафедрі нафтогазової інженерії та буріння Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», передбачає в своїй роботі застосування ефекту «гаус-гармати», але замість твердого снаряда в ній використовується рідина. Оболонкою насадок гідромоніторного бура є «міні-гідропушка». Новизна конструкції розробленого гідродинамічного бура підтверджена патентом України.

«Гідропушка» – це пристрій, який використовує силу електромагнітного поля для прискорення потоку води або водяного снаряда. Основний принцип роботи такого пристрою аналогічний принципу дії рейсотрону або гаус-пушки.

Гідромоніторна насадка має в конструкції потужні котушки (соленоїди), які створюють змінне магнітне поле. Коли вода, що містить розчинені іони, проходить через це поле, на неї впливає електромагнітна сила, що штовхає її в заданому напрямку. Для створення сильного магнітного поля необхідне імпульсне джерело високої напруги. Зазвичай використовується конденсаторний блок, який

заряджається та розряджається на котушки, створюючи потужний імпульс. Електромагнітне поле в котушці штовхає та прискорює воду вздовж каналу, щоб мінімізувати тертя та турбулентність. Керується режим роботи спеціальною електронікою, яка синхронізує імпульси для отримання максимального прискорення води.

Переваги такої конструкції: висока точність та керованість; швидка реакції у часі; можливість регулювання сили потоку шляхом зміни напруги та частоти імпульсів.

Недоліки конструкції: складність у розробці та високі вимоги до матеріалів; висока споживана потужність, особливо при великих швидкостях потоку; знос корпусу через взаємодію води при великих швидкостях потоку.

Розрахунок гідродинамічної насадки з електромагнітним прискоренням води містить кілька етапів: визначення сили впливу електромагнітного поля на воду, розрахунок кінцевої швидкості потоку, а також розрахунок необхідної потужності до створення електромагнітного імпульсу.

Для опису дії електромагнітного поля на іонізовану рідину (воду з розчиненими іонами) необхідно розрахувати щільність сили Лоренца \vec{f} для кожної частини рідини. Щільність сили Лоренца визначається як:

$$\vec{f} = \rho_q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B}), \quad (2.31)$$

де ρ_q - об'ємна щільність заряду рідини (залежить від концентрації іонів); \vec{E} – напруженість електричного поля; \vec{v} - Швидкість руху води; \vec{B} – магнітна індукція.

Інтегруючи щільність сили по всьому об'єму рідини V , отримаємо повну силу, що діє на воду:

$$\vec{F} = \int_V \rho_q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B}) dV. \quad (2.32)$$

Якщо рідина рухається паралельно до поля B (вздовж осі), то основна сила буде створюватися за рахунок компонента $(\vec{v} \cdot \vec{B})$. Вода під впливом сили \vec{F} буде прискорюватись.

Рівняння руху для рідини виражаємо через рівняння Нав'є-Стокса:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \Delta \vec{v} + \vec{F}, \quad (2.33)$$

де ρ – густина води; p – тиск усередині потоку води; μ – в'язкість води; \vec{F} – електромагнітна сила, розрахована раніше.

Для котушки з опором R та індуктивністю L струм через котушку і сила, створювана полем, залежать від електричного ланцюга. Рівняння струму $I(t)$ через котушку з урахуванням імпульсного живлення записуємо як:

$$V = L \frac{dI}{dt} + IR, \quad (2.34)$$

де V – напруга джерела.

Розв'язавши це рівняння, знаходимо залежність струму від часу $I(t)$ і підставивши до рівняння сили, отримаємо:

$$\vec{F} = I \cdot B \cdot L. \quad (2.35)$$

Для обчислення кінцевої швидкості рідини v при виході з котушки використаємо рівняння роботи та енергії. Потужність, що передається рідині, дорівнює добутку сили на швидкість і, інтегруючи її за часом, можна знайти швидкість:

$$\int F \cdot dt = m \cdot v. \quad (2.36)$$

Також з урахуванням роботи:

$$W = \int F \cdot dt. \quad (2.37)$$

де W – кінетична енергія рідини при виході.

Розрахунки диференціальних рівнянь, були проведені за допомогою програмного пакету MATLAB.

Вихідні дані для розрахунку:

Маса води вибирається з геометричного розрахунку об'єму гідромоніторної насадки – розрахунки виконані для двох видів насадок з масою води 0,1 кг та 0,05 кг.

Магнітна індукція до 0,5 Тл (при більших значеннях магнітної індукції собівартість зростає в геометричній прогресії).

Імпульсний струм – 1000 А.

Після виконання коду MATLAB ми отримали значення кінцевої швидкості води на виході з дії магнітного поля.

Кінцева швидкість в кінці кожного імпульсу (час кожного імпульсу 0,01 с необхідний для заряджання поверхневих конденсаторів установки керування гідродинамічним буром) становить відповідно 50 м/с та 100 м/с.

Приклад коду MATLAB наведено на рис. 2.10.

```

% Параметри задачі
m = 0.1;           % Маса води (кг)
V = 0.5;          % Магнітна індукція (Тл)
I = 1000;         % Струм через воду (А)
L = 1;            % Довжина області дії магнітного поля (м)
t_total = 0.01;   % Загальний час моделювання (с)
dt = 0.0001;     % Крок часу (с)

% Ініціалізація змінних
num_steps = t_total / dt; % Кількість часових кроків
v = zeros(1, num_steps); % Швидкість рідини (м/с)
x = zeros(1, num_steps); % Положення рідини (м)

% Розрахунок сили Лоренца
F = I * V * L;     % Сила Лоренца (Н)
a = F / m;         % Прискорення (м/с^2)

% Чисельне моделювання руху
for n = 1:num_steps - 1
    % Рівняння руху
    v(n + 1) = v(n) + a * dt; % Оновлення швидкості
    x(n + 1) = x(n) + v(n) * dt; % Оновлення положення
end

% Виведення результатів
fprintf('Кінцева швидкість: %.2f м/с\n', v(end));
fprintf('Пройдена відстань: %.2f м\n', x(end));

% Побудова графіків
figure;
subplot(2,1,1);
plot((0:num_steps-1) * dt, v);
title('Швидкість рідини в часі');
xlabel('Час (с)');
ylabel('Швидкість (м/с)');

subplot(2,1,2);
plot((0:num_steps-1) * dt, x);
title('Положення рідини в часі');
xlabel('Час (с)');
ylabel('Положення (м)');

```

Рисунок 2.10 – Приклад коду MATLAB

Таким чином, нами виконано розрахунок швидкості прискорення промивальної рідини сила електромагнітного поля для двох типорозмірів насадок об'ємом $0,0001 \text{ м}^3$ та $0,00005 \text{ м}^3$ – максимальна швидкість на вході в насадку складе відповідно 100 м/с та 50 м/с. Ці швидкості були взяті за основу при розрахунку основних параметрів роботи гідромоніторного бура.

Розробка моделі впливу параметрів роботи гідромоніторного бура на ефективність спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин потребувала створення стендового зразка з насадками різної конфігурації: діаметром мінімального (критичного) перерізу та різними кутами розкриття дифузору.

Однак, вважаючи на російську агресію проти України, електромагнітні котушки для створення змінного магнітного поля підпали під Закон про «Товари подвійного використання», що унеможливило їх придбання без спеціального дозволу. Товари подвійного використання – окремі види виробів, обладнання, матеріалів, програмного забезпечення і технологій, які можуть бути використані як у цивільних, так і військових цілях.

Було прийнято рішення розробку моделі впливу параметрів роботи гідромоніторного бура на ефективність спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин провести використанням програми загального параметричного моделювання потоку Solidworks Flow Simulation, що використовує метод кінцевого обсягу (FVM), який дозволяє розраховувати параметри за допомогою різних сценаріїв та використовувати отримані результати для оптимізації.

На рис. 2.11 наведено схему параметричного моделювання потоку Solidworks Flow Simulation, де V_0 – швидкість на вході у гідромоніторну насадку (50 або 100 м/с); d – діаметр критичного перетину гідромоніторної насадки, для моделювання використовувались два типорозміри – 20 мм та 40 мм; кут розкриття дифузору A .

Метою параметричного моделювання потоку Solidworks Flow Simulation гідромоніторної насадки є обґрунтування раціональних параметрів роботи гідромоніторного бура:

- дослідження впливу діаметра критичного перетину на швидкість гідромоніторного струменя;
- дослідження впливу кута розкриття дифузора на швидкість гідромоніторного струменя.

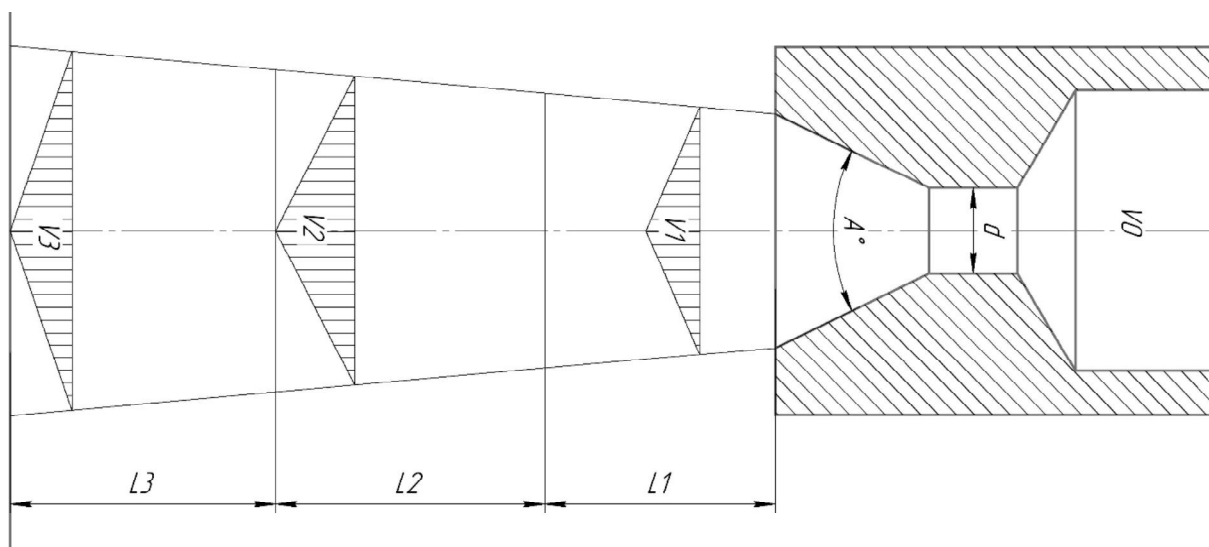


Рисунок 2.11 – Схема параметричного моделювання потоку Solidworks Flow Simulation

Швидкість гідромоніторного струменя буде виступати параметром оптимізації, тому що напрям впливає на ефективність спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин за рахунок швидкісного напору (або швидкісний тиск) затопленого струменя.

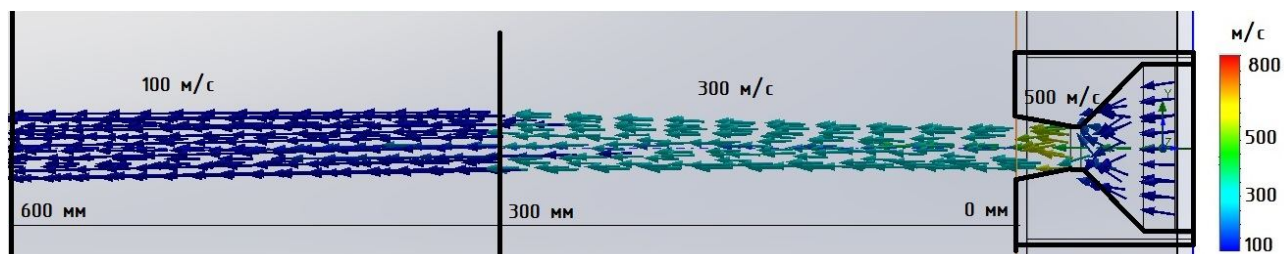


Рисунок 2.12 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 20 мм; кут розкриття дифузору насадки – 20 град

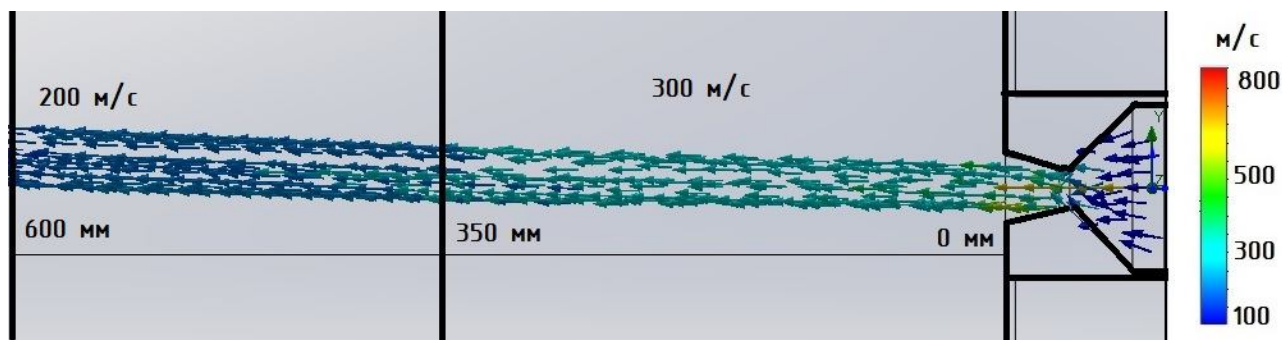


Рисунок 2.13 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 20 мм; кут розкриття дифузору насадки – 24 град

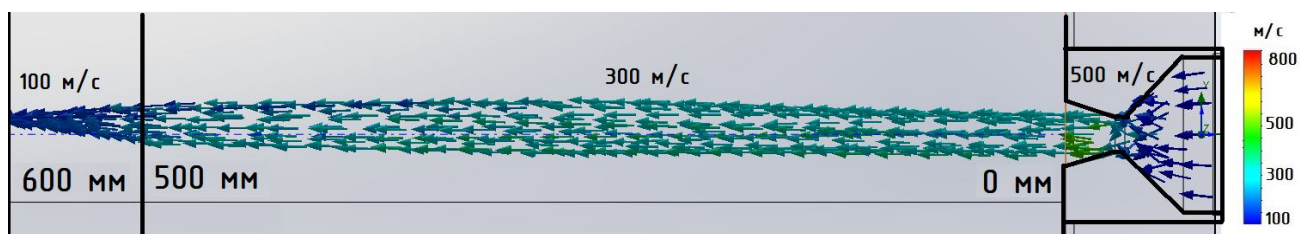


Рисунок 2.14 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 20 мм; кут розкриття дифузора насадки – 30 град

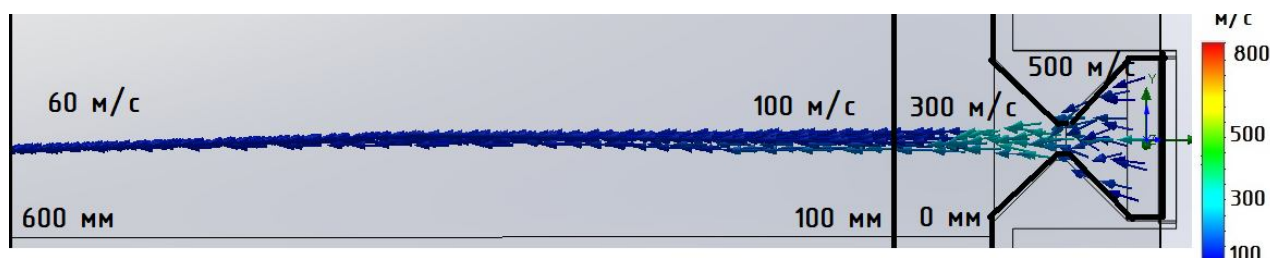


Рисунок 2.15 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 20 мм; кут розкриття дифузора насадки – 90 град

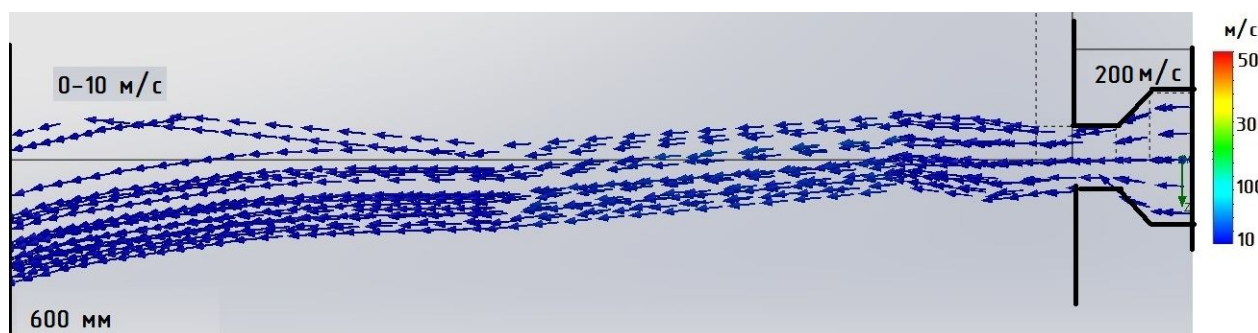


Рисунок 2.16 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 20 мм; кут розкриття дифузору насадки – 0 град

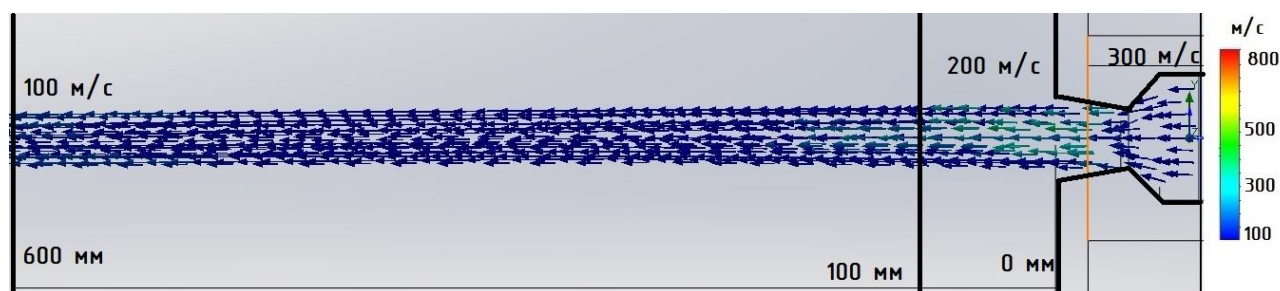


Рисунок 2.17 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 40 мм; кут розкриття дифузора насадки – 20 град

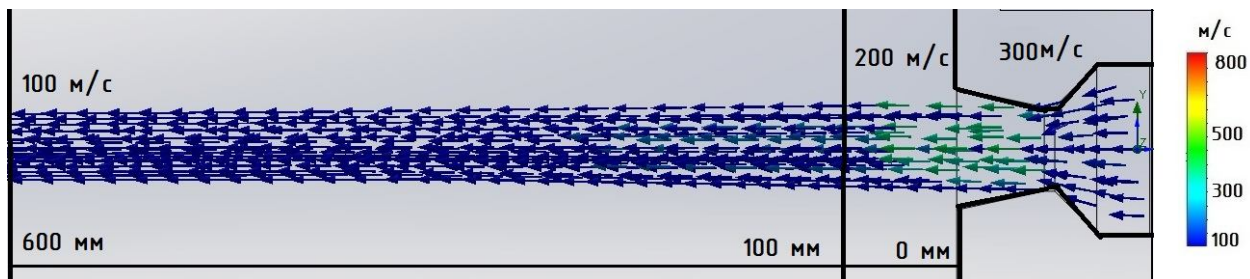


Рисунок 2.18 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 40 мм; кут розкриття дифузора насадки – 24 град

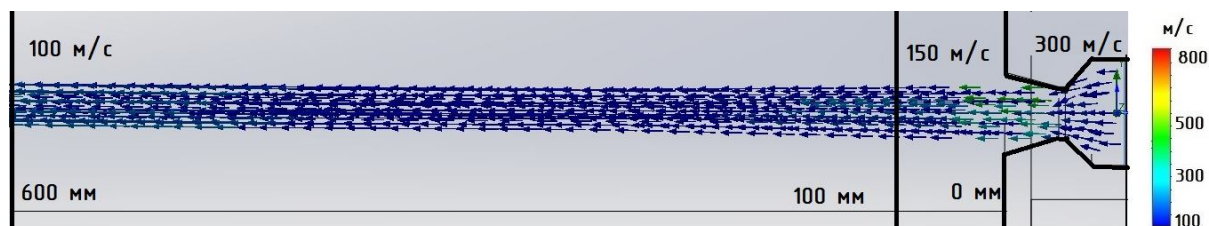


Рисунок 2.19 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 40 мм; кут розкриття дифузора насадки – 30 град

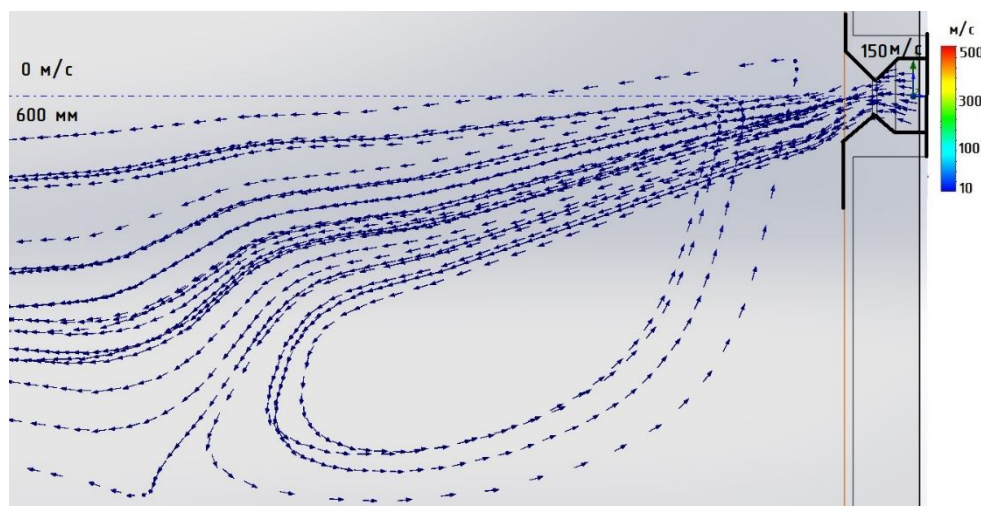


Рисунок 2.20 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 100 м/с; діаметр насадки – 40 мм; кут розкриття дифузора насадки – 90 град

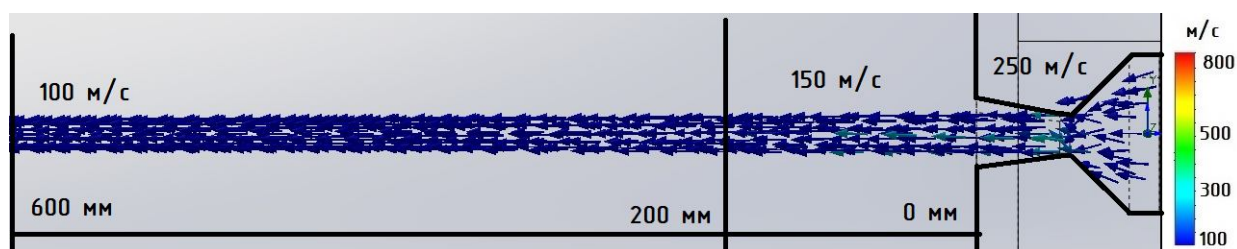


Рисунок 2.21 – Візуалізація роботи гідромоніторної насадки: вхідна швидкість – 50 м/с; діаметр насадки – 10 мм; кут розкриття дифузора насадки – 20, 24 та 30 град

Результати моделювання, що наведені на рис. 2.12-2.21, було зведено в графіки (рис. 2.22 - 2.24), які демонструють закономірності зміни швидкостей від діаметрів та кутів розкриття.

Таблиця 2.3 – Швидкість розгону потоку початкова – 100 м/с ($d_{кр}=20\text{мм}$)

Кут розкриття дифузора, град	Швидкість потоку, м/с				
	0 мм	100 мм	300 мм	500 мм	600 мм
Критичний діаметр 20 мм					
0	200	100	50	20	10
20	500	400	300	200	100
24	500	420	320	250	200
30	500	450	360	280	150
90	200	100	60	50	40

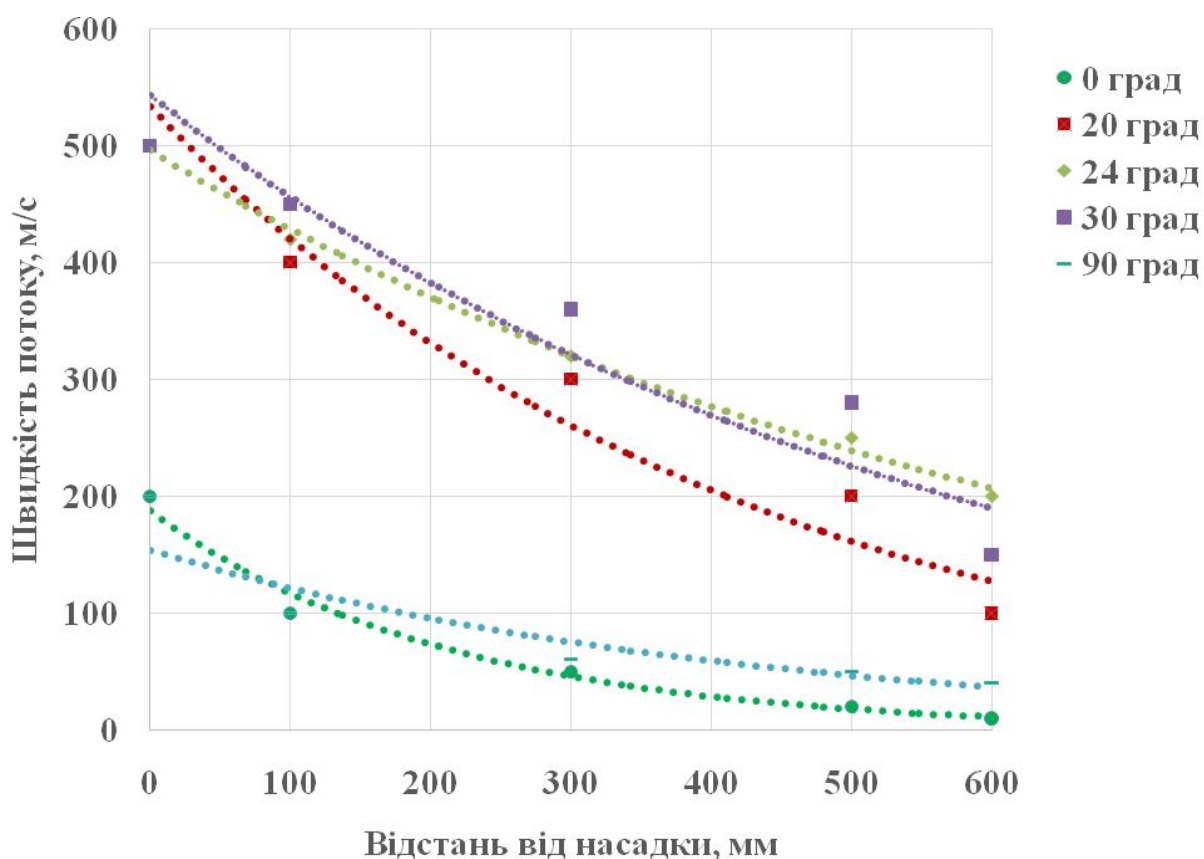
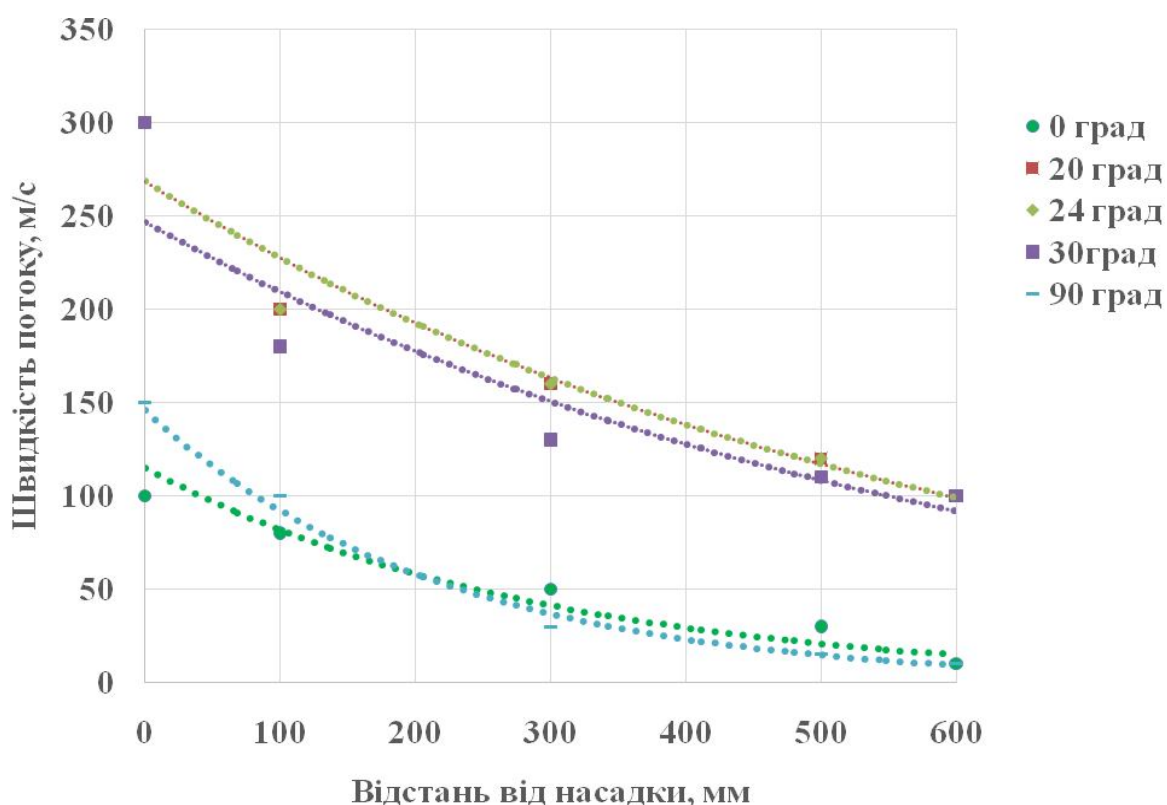


Рисунок 2.22 – Залежності швидкості потоку від відстані до насадки для швидкості розгону 100 м/с ($d_{кр} = 20\text{ мм}$)

Для швидкості потоку 100 м/с та $d_{кр} = 20\text{мм}$ при куті розкриття дифузору отримали наступні залежності: 0 град – $y = 205,85e^{-0,001x}$; 20 град – $y = 205,85e^{-0,001x}$; 24 град – $y = 205,85e^{-0,001x}$; 30 град – $y = 205,85e^{-0,001x}$; 90 град – $y = 205,85e^{-0,001x}$.

Таблиця 2.4 – Швидкість розгону потоку початкова – 100 м/с ($d_{кр} = 40$ мм)

Кут розкриття дифузора, град	Швидкість потоку, м/с				
	0 мм	100 мм	300 мм	500 мм	600 мм
Критичний діаметр 40 мм					
0	100	80	50	30	10
20	300	200	160	120	100
24	300	200	160	120	100
30	300	180	130	110	100
90	150	100	30	15	10

Рисунок 2.23 – Залежності швидкості потоку від відстані до насадки для швидкості розгону 100 м/с ($d_{кр} = 40$ мм)

Для швидкості потоку 100 м/с та $d_{кр}=40$ мм при куті розкриття дифузора отримали наступну залежність: 0 град – $y = 114,89e^{-0,003x}$; 20 град – $y = 268,31e^{-0,002x}$; 24 град – $y = 268,31e^{-0,002x}$; 30 град – $y = 246,64e^{-0,002x}$; 90 град – $y = 153,98e^{-0,002x}$.

Таблиця 2.5 Швидкість розгону потоку початкова -50 м/с ($d_{кр} = 10$ мм)

Кут розкриття дифузора, град	Швидкість потоку, м/с				
	0 мм	100 мм	300 мм	500 мм	600 мм
Критичний діаметр 10 мм					
20; 24; 30	250	150	130	120	100

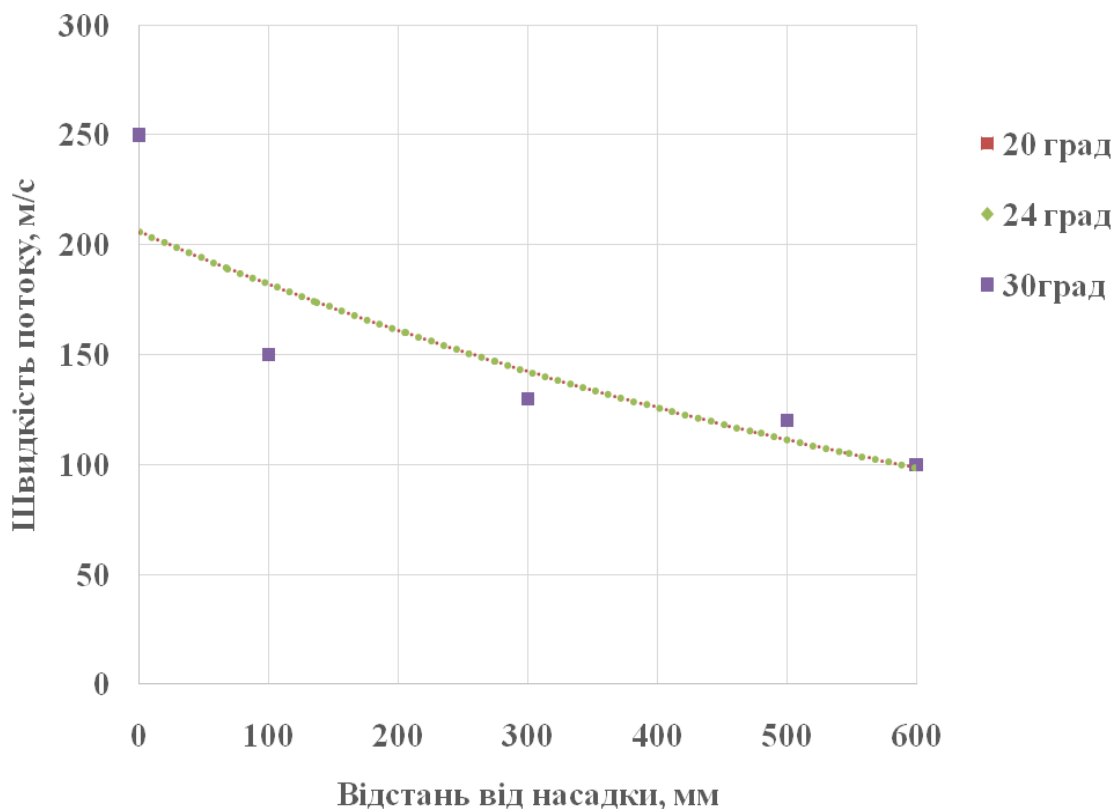


Рисунок 2.24 – Залежності швидкості потоку від відстані до насадки для швидкості розгону 50 м/с ($d_{кр}=10$ мм).

Для швидкості потоку 50 м/с та $d_{кр}=10$ мм при куті розкриття дифузору 20, 24 та 30 град. отримали наступну залежність: $y = 205,85e^{-0,001x}$.

Аналізуючи представлені залежності визначено раціональні параметри гідромоніторної насадки:

1) при швидкості електромагнітного прискорення 100 м/с:

- діаметр насадки повинен бути 20 мм; оптимальний кут розкриття дифузора – 30 гра., що забезпечує швидкість 500 м/с в критичному перетині та на виході з дифузора 280 м/с на максимальну відстань 500 мм (в порівнянні з іншими кутами розкриття); потім швидкість зменшується до 100 м/с;

2) для швидкості електромагнітного прискорення 50 м/с:

- діаметр насадки – 10 мм; оптимальний кут розкриття дифузора може бути у межах 20 - 30 град., що забезпечує швидкість в критичному перетині 250 м/с та на виході з дифузора 150 м/с на максимальну відстань 200 мм; потім швидкість зменшується до 100 м/с.

На рис. 2.25 наведено 3Д залежність швидкості потоку від відстані до насадки $d_{кр}=20$ мм для швидкості розгону 100 м/с при різних кутах розкриття дифузора.

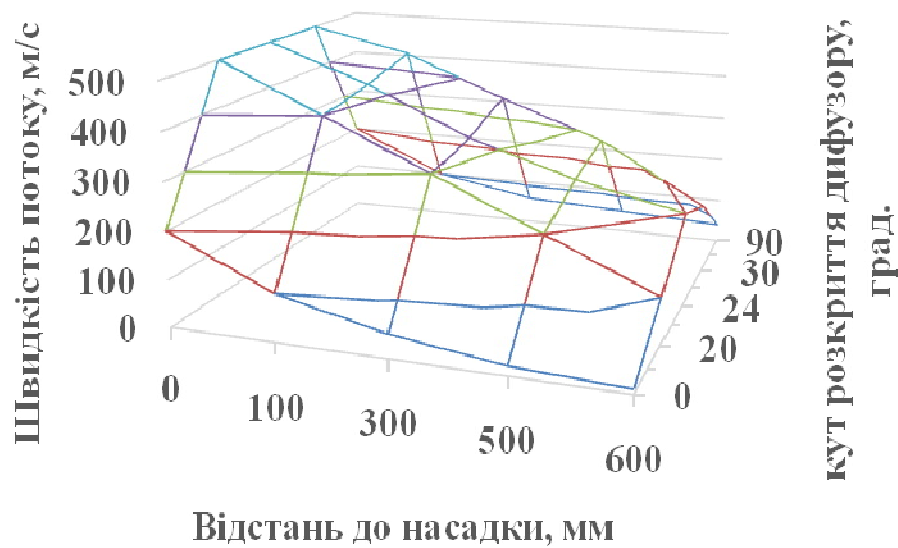


Рисунок 2.25 – Залежності швидкості потоку від відстані до насадки $d_{кр}=20$ мм для швидкості розгону 100 м/с при різних кутах розкриття дифузора

Параметри розрахунку гідромоніторного бура

Швидкісний напір затопленого струменя можна розрахувати за формулою:

$$q = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (2.38)$$

де q – швидкісний напір (Па); ρ – щільність рідини (води 1000 кг/м³); V – швидкість струменя (м/с).

Для затоплених струменів щільність рідини можна змінити залежно від середовища, але методика розрахунку залишиться такою самою.

Для руйнування гірської породи струменем води, що виходить із насадки гідромонітора, потрібна певна швидкість води, яка залежить від міцності породи.

Швидкість води для руйнування породи можна розрахувати виходячи з умов міцності породи та сили напору, що створюється струменем:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma}{\rho}} \quad (2.39)$$

де V – необхідна швидкість води (м/с); σ – межа міцності гірської породи на розмив або ерозію (Па); ρ - густина води (приблизно 1000 кг/м³).

Межа міцності породи на розмив чи ерозію – це показник, що характеризує стійкість гірської породи впливу потоку води чи рідини під тиском. Цей параметр часто використовується при гідромоніторному видобутку, бурінні та інших операціях, де необхідне руйнування породи водяним струменем. Значення межі міцності на розмив і ерозію залежить від типу породи, її щільності, пористості, структури, наявності тріщин та інших чинників.

Зразкові значення межі міцності на розмив для різних порід:

- глинисті та пухкі породи 0,1 - 1 МПа;
- вапняки та м'які осадові породи 1 - 5 МПа;
- буре вугілля 5 - 15 МПа;
- пісковики 5 - 20 МПа;
- кам'яне вугілля 10 - 70 МПа;
- тверді породи (граніт, базальт) 20 - 100 МПа.

Згідно формули (2.39) та визначених раціональних параметрів насадки гідромоніторного бура з критичним діаметром 20 мм та кутом розкритті дифузора 30 град отримано наступну лінійну залежність (рис. 2.26):

$$\sigma = 0,0005V^2, \text{ МПа та } \sigma = -0,179L + 121,99, \text{ МПа}$$

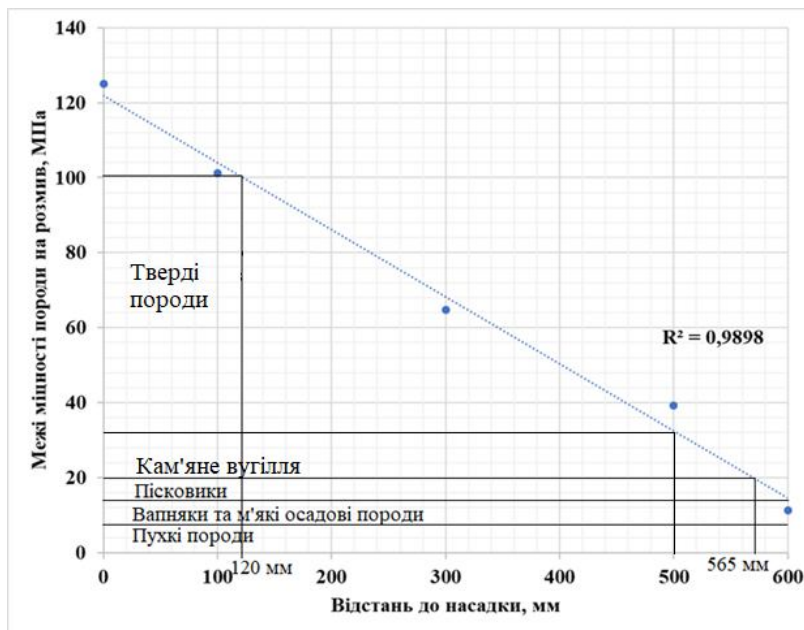


Рисунок 2.26 – Залежність руйнуючої здатності насадки з критичним діаметром 20 мм та кутом розкритті дифузора 30 град від відстані до неї (з урахуванням межі міцності породи)

Висновки до другого розділу

1. Розглянуто принципи побудови системи забезпечення свердловинних видобувних робіт за допомогою гідравлічного руйнування гірських порід; наведено характеристику основних процесів свердловинного гідравлічного видобутку; здійснено аналіз способів та технічних засобів буріння і експлуатації видобувних свердловин; розроблено елементи комплексного підходу до проектування ефективних систем гідравлічного руйнування і транспортування корисної копалини.

2. Представлено результати розрахунку активних струменів рідини за допомогою програмного пакету MATLAB, при застосуванні якого проведено чисельне моделювання динаміки руху рідини при електромагнітній взаємодії для поточного розрахунку гідромоніторного бура.

3. Виконано теоретичні дослідження активних потоків рідини із використанням програми загального параметричного моделювання потоку Solidworks Flow Simulation, що використовує метод кінцевого обсягу (FVM), який дозволяє розраховувати параметри за допомогою різних сценаріїв та використовувати отримані результати для оптимізації.

Обґрунтування використання данного програмного комплексу в роботі полягає в тому, що SolidWorks Simulation дозволяє виконувати аналіз безпосередньо всередині інтерфейсу SolidWorks, без необхідності переходити в інше програмне забезпечення (швидко вносити зміни до геометрії моделі та миттєво бачити вплив на результати симуляції). SolidWorks пропонує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить його більш доступним для користувачів з мінімальним досвідом в області чисельного аналізу. Він виграє у простоті, інтеграції та доступності, тоді як ANSYS більш потужний для складних та багатозадачних розрахунків.

4. Визначено раціональні параметри насадки: швидкість електромагнітного прискорення 100 м/с, діаметр насадки – 20 мм оптимальний кут розкриття дифузора – 30 град, що забезпечує швидкість 500 м/с в критичному перетині та на виході з дифузора 280 м/с на максимальну відстань 500 мм (межа міцності на розмив гірської породи складає 32 МПа); потім швидкість зменшується до 100 м/с.

Перелік використаних джерел у розділі 2

1. Мала гірнича енциклопедія: в 3-х т. / За ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Донбас. – Т. 1. – 2004. – 640 с., Т. 2. – 2007. – 652 с., Т. 3. 2013. – 644 с.
2. Маланчук З.Р., Маланчук Є.З., Корнієнко В.Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин. – Рівне: НУВГП, 2017. – 266 с.
3. Фізико-хімічна геотехнологія / М.М. Табаченко, О.Б. Владико, О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 310 с.
4. Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2022). *Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice Hall PTR.
5. Institution of Civil Engineers (Great Britain) Staff & Laloui, L. (2014). *Bio- and Chemo- Mechanical Processes in Geotechnical Engineering: Géotechnique Symposium in Print 2013*. I C E Publishing.
6. Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. Монографія. А.В. Павличенко, Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов, О.М. Давиденко; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ "ДП", 2021. – 201 с.
7. Drilling Fluids Processing (2004). Publisher: Gulf Professional Publishing. ISBN 10: 0750677759.
8. Pavlychenko, A., Ihnatov, A., Koroviaka, Ye., Bartashevskiy, S., Korotka, I., & Mekshun, M. (2021). Osnovy orhanizatsii systemy hidravlichnoho ochyshchennia sverdlovyh [Fundamentals of organizing a hydraulic well cleaning system]. *Collection of research papers of the NMU*, 4(67), 136 – 152.
9. Davydenko, O.M., Ihnatov, A.O., & Naumenko, M.O. (2019). Otsinka vlastyvostei aktyvovanykh promyvalnykh ridyn [Estimation of properties of the activated washings liquids]. *Porodorazrushayuschiy i metalloobrabatyivayuschiy instrument-tehnika i tehnologiya ego izgotovleniya i primeneniya - Rock destruction and metal-working instrument-technique and technology of his making and application*, 22, 157-163.
10. Bansal, R.K. (2010). *Hydraulics and fluid mechanics*. Laxmi Publications LTD.

11. Kumar, D.S. (2009). Fluid mechanics and fluid power engineering. Publisher: S K Kataria and Sons.
12. Modi, P.N., & Seth, S.M. (2004). Fluid mechanics and hydraulic machines. Publisher: Standard Book House.
13. Babu, K. K., Raji, A. K., & Beena, K. S. (2022). Geotechnical Engineering. I.K. International Publishing House Pvt. Ltd.
14. Sarsby, R. (2019). *Environmental Geotechnics in Practice: Introduction and case studies*. <https://doi.org/10.1680/egip.63631>.
15. Маланчук З.Р., Боблях С.Р., Маланчук Є.З. Гідровидобуток корисних копалин. – Рівне: НУВГП, 2009. – 280 с.
16. Mavko, G., Mukerji, T. & Dvorkin, J. (2020). *The Rock Physics*. Publisher: Cambridge University Press.
17. Kumar, S.K.H. (2020). *Introduction to Mineralogy and Petrology*. Publisher: Elsevier Science Publishing Co Inc.
18. Tiab, D. & Donaldson, E.C. (2015). *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*. Publisher: Gulf Professional Publishing.
19. Skalle, P. (2015). *Drilling fluid engineering*. Publisher: bookboon.com isbn 978-87-403-1139-6.
20. Aadnoy, B.S., & Looyeh, R. (2019). *Petroleum Rock Mechanics: Drilling Operations and Well Design*. Publisher: Gulf Professional Publishing.
21. Aadnoy, B.S., & Reza, L. (2011). *Petroleum Rock Mechanics: Drilling Operations and Well Design*. Publisher: Gulf Professional Publishing.
22. Wang, J. (2021). *Waterflooding Sandstone Reservoirs: Methods, Design and Analysis*. Publisher: Springer.
23. Zhang, Z.X. (2016). *Rock fracture and blasting. Theory and applications*. Elsevier Inc. Publishing.
24. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos publishing.
25. Skalle, P. (2015). *Drilling Fluid Engineering*. Publisher: bookboon.com ISBN 978-87-403-1139-6.

26. Pavlychenko, A., Ihnatov, A., Koroviaka, Ye., Rastsvietaiev, V., Zatkhey, N. & Dmytruk, O. (2021). Vyvchennia osoblyvostei sporudzhennia hidroheolohichnykh sverdlovyn v riznykh umovakh [Study features of the hydrogeological wells construction in various conditions]. *Collection of research papers of the NMU*, 3(66), 205-219.

27. Азюковський О.О., Павличенко А.В., Ігнатів А.О., Коров'яка Є.А., Хоменко В.Л., Пащенко О.А., Мекшун М.Р., Шипунов С.О. (2022). Гідромоніторний бур. Патент на корисну модель № 151461, Україна.

28. Strilets O. P., Pcholkin H. D., Mekshun M. R. (2018) Features of formation of technogenic limestone deposits. *Збірник наукових праць НГУ*, 56, 101-115.

29. Strilets O. P., Pcholkin H. D., Zhmura D. S., Mekshun M. R. (2018) Investigation and substantiation of efficiency of working out of a draft with dragline from one position with moving of a ground to an angle to 220 degrees at working out of smooth deposits. *Збірник наукових праць НГУ*, 54, 117-127.

30. Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O., Pavlychenko, A.V., Valouch, Karel, Rastsvietaiev, V.O., Matyash, O.V., Mekshun, M.R. and Shypunov, S.O. (2023). Studying the Performance Features of Drilling Rock Destruction and Technological Tools. *Journal of Superhard Materials*, 45(6), 466-476. <https://doi.org/10.3103/S1063457623060059>.

Розділ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ГІДРОМОНІТОРНИХ БУРІВ З ОПТИМАЛЬНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Даний розділ присвячений визначенню впливу параметрів термообробки сталей на їх ударну в'язкість, а також оптимізації технологічних параметрів для забезпечення найкращих механічних властивостей гідромоніторних бурів [1].

У процесі роботи гідромоніторний бур піддається впливу різних знакозмінних навантажень, наприклад гідродару [2]. Присутність гідродару при експлуатації гідромоніторних бурів з часом призводить до появи тріщин, течій, збоїв балансу тиску, серйозних проривів, аж до повного руйнування корпусу, що в умовах вибою свердловини призведе до серйозної аварії [3]. Основним параметром, що впливає на здатність сталевго корпусу гідромоніторного бура витримувати знакозмінні навантаження є ударна в'язкість [4].

З іншого боку гідромоніторний бур піддається впливу частинок зруйнованої породи (шламу), які піддають корпус абразивному зношуванню. Основним параметром, що впливає на здатність сталевго корпусу гідромоніторного бура чинити опір абразивному зношуванню є зносостійкість [5]. Зносостійкість корпусу гідромоніторного бура це похідний показник від твердості його поверхні.

Дослідження різних типів сталей для виготовленні гідромоніторного бура проводились на базі лабораторії заводу гірничого та бурового обладнання ТОВ «Техпоставка» на підставі договору про співпрацю.

3.1 Аналіз термічної обробки сталей

На сьогоднішній день термічна обробка є найбільш поширеним способом зміни структури та властивостей металів і сплавів. Під термічною обробкою сталі мають на увазі процес її нагрівання до визначеної температури, витримування при цій температурі й подальше охолодження із заданою швидкістю з метою зміни структури та властивостей [6].

Технологія термічної обробки металу складається з наступного регламенту [7]:

- 1) відпал (проводиться за необхідності);
 - 2) максимальна температура нагрівання T_{\max} ;
 - 3) допустима швидкість нагрівання t_{\max} ;
 - 4) час витримки при температурі нагрівання t_{\max} ;
 - 5) режим охолодження, а також належне технологічне обладнання й засоби контролю;
- б) відпуск.

Під час нагрівання відбуваються початкові фазові перетворення, продиктовані кінцевою метою термообробки. З огляду на продуктивність процесу швидкість нагрівання повинна бути максимально допустимою. Її вибирають залежно від теплопровідності сталі, форми та розмірів заготовок, що нагріваються, їх розташування у печі тощо. Чим менше в сталі легувальних елементів і простіша конфігурація заготовки, то більша допустима швидкість нагрівання [8]. Швидке нагрівання зменшує утворення оксидів і зневуглецьовування на поверхні заготовки, а також затримує ріст зерен аустеніту. Водночас швидке нагрівання збільшує перепад температур у тілі заготовки, а отже, спричинює неодноразовість фазових перетворень, що може призвести до виникнення значних залишкових напружень. Останні нерідко спричиняють жолоблення заготовок і навіть утворення в них тріщин. Для вуглецевих сталей орієнтовна швидкість нагрівання в печах становить 0,8 - 1 мм/хв. Нагрівання у соляних ваннах скорочує швидкість нагрівання удвічі. Швидкість нагрівання легованих сталей зменшують на 25 - 40 % через їх низьку теплопровідність [9].

Час витримки при температурі нагрівання t_{\max} потрібен, щоб вирівняти температуру в тілі заготовки та закінчити фазові перетворення. Це приблизно 20% загального часу нагрівання. Точніше час витримки можна визначити за емпіричними формулами, що їх знайдемо в спеціальній літературі [10].

Найчастіше нагрівають і витримують заготовки в полумєневих і електричних печах різної конструкції або в соляних ваннах; рідше для цієї мети використовують установки опору з безпосереднім нагріванням електричним струмом, установки з

нагріванням струмами високої частоти, з нагріванням електронними або лазерними променями та інші.

Під час охолодження з аустеніту формується нова структура: рівноважна (феритно-перлітна, перлітна чи перлітно-цементитна) або не рівноважна (сорбітна, трооститна чи мартенситна). До найпоширеніших видів термічної обробки сталі належать: відпал, нормалізація, гартування і відпуск [11].

Відпал – термообробка, під час якої доевтектоїдну сталь нагрівають до температури $A_{C3} + 30 - 50$ °С, евтектоїдну й заевтектоїдну сталі – до температури $A_{C1} + 30 - 50$ °С, витримують при цій температурі і повільно охолоджують (переважно разом з піччю) [12].

Надмірне підвищення температури нагрівання порівняно з зазначеним вище призводить до росту зерен аустеніту й погіршення механічних властивостей сталі. Вихідними фазами перед нагріванням здебільшого є ферит і цементит. Під час нагрівання й витримки вихідні структури – феритно-перлітна доевтектоїдної сталі й перлітна евтектоїдної сталі переходять в аустенітну, а перлітно-цементитна структура заевтектоїдної сталі – в аустенітно-цементитну.

Мала швидкість охолодження (30 - 200°С/год) уможлиблює зворотні дифузійні фазові перетворення, коли аустеніт доевтектоїдної сталі знову переходить у ферит + перліт, а аустеніт евтектоїдної і заевтектоїдної сталі – в перліт. Отже, новоутворені рівноважні структури (або близькі до них) після закінчення відпалу відрізняються від аналогічних за фазовим складом вихідних структур дрібнішими зернами, оскільки останні утворились із дрібнозернистого аустеніту під час повільного охолодження [10].

Відпал застосовують, щоб усунути не рівноважні структури і залишкові напруження, які виникають під час таких технологічних процесів як лиття, холодна обробка тиском, зварювання. Після відпалу сталь має низьку твердість і міцність, але підвищену пластичність. Розрізняють повний і неповний відпал. Повним називають відпал з повною перекристалізацією вихідних низькотемпературних фаз, а неповним – відпал з повною перекристалізацією одної фази й частковою перекристалізацією другої. Повний відпал застосовують переважно для

доевтектоїдних, а неповний – для заевтектоїдних сталей. Під час неповного відпалу заевтектоїдну сталь, як уже зазначено, нагрівають на 30 - 50 °С вище від A_y так, що в її структурі після нагрівання поруч з аустенітом зберігається вторинний цементит [7].

Під час неповного відпалу із аустеніту можна отримати зернистий (а не пластинчастий) перліт. Відпал на зернистий перліт називають сфероїдизацією. Центрами кристалізації в дещо переохолодженому (нижче від A_q) аустеніті є частинки цементиту, що не перейшли в твердий розчин, а також ділянки аустеніту з підвищеною концентрацією вуглецю. Якщо заевтектоїдна сталь була нагріта значно вище від A_{Ci} , тобто так, що цементит здебільш перейшов у твердий розчин, а в аустеніті вирівнявся склад, то під час охолодження утвориться не зернистий, а пластинчастий перліт.

Сталь зі зернистим перлітом порівняно зі сталлю з пластинчастим перлітом менш тверда і міцна, але пластичніша. Сталі зі структурою зернистого перліту добре обробляються різанням. Під час гартування вони отримують структуру мартенситу з рівномірно розподіленими в ньому дрібними глобулами цементиту, що підвищує міцність і в'язкість загартованої сталі.

Щоб скоротити тривалість охолодження, нерідко застосовують ізотермічний відпал, під час якого заготовку, нагріту до температури вище від A_{C3} , переохолоджують на 50 - 100 °С нижче від A_{C3} і витримують при цій температурі до повного розпаду аустеніту. Далі заготовку вже можна охолоджувати швидко, наприклад, на повітрі. Ізотермічний відпал застосовують переважно до легованих сталей зі стійким переохолодженим аустенітом. Розпадаючись, аустеніт утворює однорідну двофазову феритно-карбідну структуру при практично однаковій по всій заготовці температурі. Зазначимо, що температуру контролювати легше, ніж швидкість охолодження.

Відпуском називають нагрівання загартованої сталі до температури меншої від A_c , витримання при цій температурі й подальше охолодження [6].

Мета відпуску – зменшення залишкових напружень, зниження твердості й підвищення пластичності сталі. Під час відпуску розпадаються мартенсит

гартування і залишковий аустеніт, а також укрупнюються й сфероїдизуються карбіди. Зазначені структурні перетворення змінюють механічні властивості відпущених сталей. З підвищенням температури відпуску t_B (рис. 3.1) міцність ($\delta_{0,2}$, δ_B) і твердість НВ сталей зменшуються, а їх відносне видовження δ і відносне звуження Ψ , а також ударна в'язкість KCU зростають. Залежно від температури нагрівання розрізняють низькотемпературний, середньотемпературний і високотемпературний відпуск.

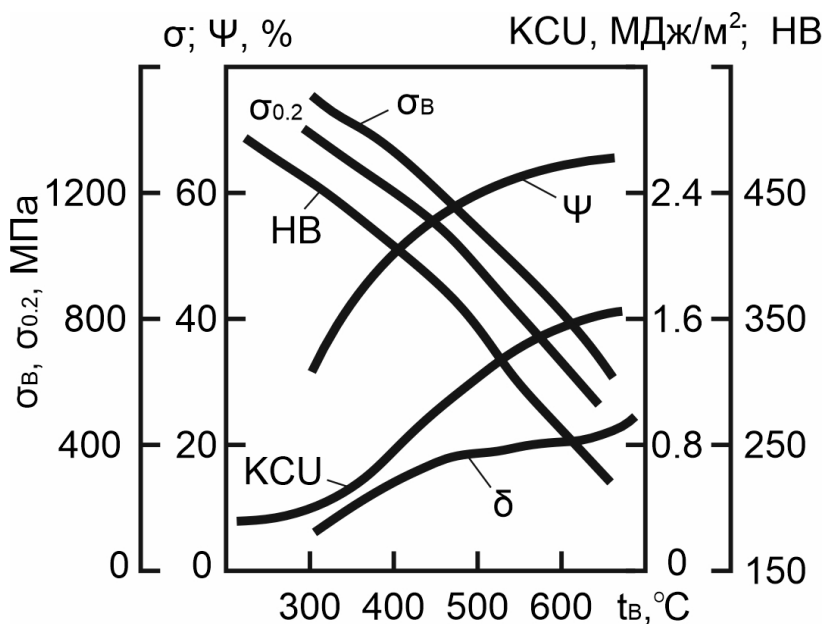


Рисунок 3.1 – Залежність механічних властивостей ($\delta_{0,2}$, δ_B , НВ, δ , Ψ , KCU) загартованої сталі із вмістом вуглецю 0,4 % від температури відпуску t_B

Низькотемпературний відпуск полягає у нагріванні загартованої сталі до температур 150 - 250 °C звичайно протягом 1 - 3 год. В результаті отримують відпущений мартенсит і частково знімають напруження гартування. Пластичність низьковідпущеної сталі дещо зростає, а твердість майже не змінюється. Низькотемпературний відпуск застосовують як кінцеву термообробку для різальних і вимірювальних інструментів, а також до цементованих і поверхнево загартованих виробів, умови роботи яких вимагають значної поверхневої твердості й високої зносостійкості [8].

Під час середньотемпературного відпуску загартовану сталь нагрівають до 350 - 500°C. У межах зазначених температур нагрівання мартенсит гартування і залишковий аустеніт повністю розпадаються на дисперсну феритно-цементну

структуру – троостит відпуску. Така структура поєднує високі границі міцності, пружності й витривалості. Твердість сталі після середньотемпературного відпуску становить 40 - 50 HRC. Цей вид термообробки застосовують для пружин, ресор, а також ударного інструменту.

Високотемпературний відпуск вимагає нагрівання загартованої сталі до температур 500 - 650°C забезпечує повний розпад структур гартування й подальшу коагуляцію продуктів розпаду. Утворена зерниста структура – сорбіт відпуску – має високу пластичність та ударну в'язкість при задовільній міцності. Високотемпературний відпуск застосовують для деталей, які сприймають значні ударні та знакозмінні навантаження.

Цементация – це поверхнєве насичення мало вуглецевої сталі (0,1 - 0,25%) або легованих сталей (типу 18ХГТ, 15ХФ, 20ХГР, 12ХНЗА, 20ХН та ін.) вуглецем з метою одержання високої твердості поверхні та в'язкої серцевини виробів. Насичуючі суміші (карбюризатори), багаті на вуглець, можуть бути у твердому, рідкому і газоподібному стані. При призначенні режимів цементации (температура, час) враховують хімічний склад сталі та умови експлуатації деталі [10].

За глибину цементации умовно приймають відстань від поверхні деталі до половини зони, у структурі якої спостерігається приблизно однакова кількість перліту та фериту (1 - 2 мм).

Азотування – це процес дифузійного поверхневого насичення сталевих виробів азотом у газоподібному або рідкому середовищі. Температурний діапазон азотування становить 470 - 600°C [12].

Азотування для підвищення поверхневої твердості проводять при 500 - 520°C протягом 24 - 90 год, вміст азоту в поверхневому шарі біля 10 - 12%, глибина насичення 0,3 - 0,6 мм.

Ізотермічне загартування або загартування у гарячих середовищах – це гартування, яке полягає у тому, що охолодження об'єкта гартування ведеться не до нормальної (кімнатної) температури, а у середовищі, нагрітому до температур порядку 200°C або вище.

Провівши аналіз найпоширеніших видів термічної обробки сталей були визначені основні напрямки досліджень та висновки:

1. Виходячи с того що цементация та азотування призводять тільки к підвищенню зносостійкості поверхні на незначну глибину 0,6 мм та 2 мм відповідно – ці види обробки не задовольняють основні технічні показники по зносостійкості гідромоніторних бурів.

2. Для виготовлення гідромоніторних бурів приймаємо такий регламент термічної обробки:

- відпал (проводиться за необхідності);
- загартування сталі;
- відпуск.

Відпал проводимо для отримання дрібнозернистої структури сталі, що особливо важливо для отримання хороших показників ударної в'язкості.

Загартування сталі буде проводитись згідно рекомендації довідкової літератури. Для порівняння характеристик загартованої сталі загартування будемо проводити на різні розчини: полімерні розчини, масло та розплав солі.

Відпуск сталей буде проводитись на різну температуру для отримання оптимальної ударної в'язкості при максимальній зносостійкості.

3.2 Методика дослідження впливу термічної обробки на ударну в'язкість та зносостійкість сталі для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів

Для проведення експерименту були прийняті вуглецеві сталі з різними легуючими добавками: сталь 40Х, сталь 35ХГСА та сталь 40ХН2МА. На сьогодні це найдоступніші сталі, які виробляються вітчизняними металургійними підприємствами в умовах обмеженого імпорту під час воєнного стану в Україні.

Вартість цих сталей на тепер складає:

40Х – 38000 за тонну;

35ХГСА – 90000 за тонну;

40ХН2МА - 140000 за тонну.

Характеристики та опис сталі 40Х [8]:

Вид виробу – коло

Марка сталі - 40Х

Покриття - без покриття

Міцність - звичайна

Точність виготовлення - звичайна

Спосіб виготовлення - гарячекатаний

Круглий прокат по сталі 40Х – це легована вуглецева сталь із вмістом вуглецю близько 0,4% та добавками хрому, молібдену та марганцю. Ці добавки надають сталі підвищену міцність, твердість та стійкість до зносу. Використовується для виготовлення: осі, вали, вал-шестірні, плунжери, штоки, колінчасті та кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправки, рейки, губчасті вінці, болти, втулки та інші покращувані деталі підвищеної міцності.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад у % матеріалу сталі 40Х

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8-1,1	до 0,3

Таблиця 3.2 – Технологічні властивості матеріалу сталі 40Х

Зварюваність	важкозварювана
Флокеночутливість	чутлива
Схильність до відпускнуї крихкості	схильна

Характеристики та опис сталі 35ХГСА

Вид виробу - коло

Марка сталі - 35ХГСА

Покриття - без покриття

Міцність - підвищена

Точність виготовлення - звичайна

Спосіб виготовлення - гарячекатаний

Круглий прокат по сталі 35ХГСА широко також використовується практично у всіх галузях машинобудування для виробництва таких деталей як фланці, кулачки,

пальці, валики, важелі, осі, деталі зварних конструкцій та інші деталі складної конфігурації, що покращуються, працюють в умовах знакозмінних навантажень.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад у % матеріалу сталі 35ХГСА

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>
0,32-0,39	1,1-1,4	0,8-1,1	до 0,3	до 0,025	до 0,025	1,1-1,4	до 0,3

Таблиця 3.4 – Технологічні властивості матеріалу сталі 35ХГСА

Зварюваність	обмежено зварювана
Флокеночутливість	чутлива
Схильність до відпускнуої крихкості	схильна

Характеристики та опис сталі 40ХН2МА

Вид виробу - коло

Марка сталі - 40ХН2МА

Покриття - без покриття

Міцність - підвищена

Точність виготовлення - звичайна

Спосіб виготовлення - гарячекатаний

Круглий прокат по сталі 40ХН2МА широко використовується практично у всіх галузях машинобудування для виробництва колінчастих валів, клапанів, шатунів, кришок шатунів, відповідальних болтів, шестерні, кулачкові муфти, дисків, валків для холодної прокатки металів та інших важконавантажених деталей.

Таблиця 3.5 – Хімічний склад у % матеріалу сталі 40ХН2МА

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Cu</i>
0,37-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	1,25-1,65	до 0,025	до 0,025	0,6-0,9	0,15-0,25	до 0,3

Таблиця 3.6 – Технологічні властивості матеріалу сталі 40ХН2МА

Зварюваність	важковарювана
Флокеночутливість	чутлива
Схильність до відпускнуої крихкості	не схильна

З кожного виду сталі будуть виготовлені спеціальні зразки, форма яких буде залежати від типу випробувань, методом фрезерної обробки на станках з ЧПК.

3.2.1 Планування експерименту

Сучасні методи планування експерименту й обробки його результатів, розроблені на основі теорії ймовірностей і математичної статистики, дозволяють істотно (найчастіше в кілька разів) скоротити кількість необхідних дослідів. Знання та використання цих методів робить роботу експериментатора більш цілеспрямованою і організованою, істотно підвищує як продуктивність його праці, так і надійність одержуваних ним результатів [13].

Обсяг експериментального дослідження безпосередньо залежить від кількості й характеру досліджуваних параметрів. Кожне експериментальне дослідження може містити від однієї до десятка й більше серій дослідів. Щоб виявити функціональні зв'язки між змінними величинами, варто оцінити, по-перше, необхідну кількість дослідів в одній серії, а по-друге, кількість повторних серій, необхідних для забезпечення вагомості кожної дослідної точки графіка. Наприклад, якщо є впевненість у тім, що вийде лінійна залежність, то для побудови графіка досить двох точок; якщо дослідна крива являє собою коло, то можна обмежитися трьома точками. У випадку ж графічного вираження не тільки загальної закономірності, але й можливо більш точного чисельного значення, функції для обґрунтування кожного перегину кривої потрібно збільшувати як кількість точок, так і повторність випробувань [14].

Отже, даними для визначення обсягу експериментальних досліджень є:

- 1) перелік досліджуваних параметрів;
- 2) кількість дослідів у даній серії, що залежить від обраного діапазону зміни досліджуваного фактора;
- 3) повторність вимірів, що залежить від похибки окремого виміру й заданої точності результату;
- 4) кількість факторів і прийнята послідовність варіювання.

Під повним факторним експериментом (ПФЕ) розуміють такий експеримент, у якому реалізуються всі можливі комбінації рівнів факторів. У факторних експериментах (на відміну від пасивного, тобто не спланованого, експерименту) відбуваються одночасно варіювання всіма незалежними змінними. Експеримент, у

результаті якого всі незалежні змінні варіюються на всіх вибраних рівнях, називається повним факторним експериментом. Як вже вказувалось вище, якщо число факторів x , а число рівнів кожного з них p , то кількість незалежних дослідів відповідає числу комбінацій $N = p^x$.

Мінімальне число рівнів, що зазвичай використовують на першій стадії роботи, рівне 2. Це верхній і нижній рівні, що позначаються в кодованих координатах через +1 і -1. Варіювання факторів на двох рівнях використовується у експериментах, на стадії руху в область оптимуму і при описі об'єкта дослідження лінійними моделями. При нелінійній залежності мінімальне число рівнів буде 3, але для більш точного прогнозування залежності приймаємо число рівнів 4 й зважаючи на число факторів 1 (температура відпуску) загальне число експериментів для кожного типу гартувальної рідини буде дорівнювати – 4.

Температура відпуску буде змінюватись в наступних межах для різних сталей:

- низькотемпературний відпуск 150 - 250°C;
- середньотемпературний відпуск 350 - 500°C;
- високотемпературний відпуск 500 - 650°C.

3.2.2 Методика визначення ударної в'язкості сталі для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів

Для визначення ударної в'язкості сталі для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів в лабораторії ТОВ «Техпоставка» було використано копер (рис. 3.2).

Під час випробовування зразок з надрізом, який лежить посередині на двох контролерах, руйнується одним ударом маятника за умов, викладених нижче. В результаті випробовування визначають повну роботу, затрачену під час удару (роботу удару) у джоулях. Ця витрачена робота удару є мірою тривкості матеріалів проти ударного навантаження.

Копер складається з чавунної станини у вигляді масивної плити 2 з двома вертикальними колонами 3. У верхній частині колон на горизонтальній осі підвішений укріплений у шарикопідшипниках маятник з вантажем у вигляді

сталевий плоского диска з вирізом 5, в якому закріплений сталевий загартований ніж, що слугує бойком при випробуванні. Внизу на рівні вертикально висить маятник, до колон станини прикріплені дві сталеві загартовані опори 10, на які поміщають зразок 11. Під опорами між колонами проходить гальмівний ремінь 12, який, притискаючись до маятника, що гойдається після удару, викликає його гальмування. Гальмівний ремінь приводиться в дію за допомогою педалі 1.

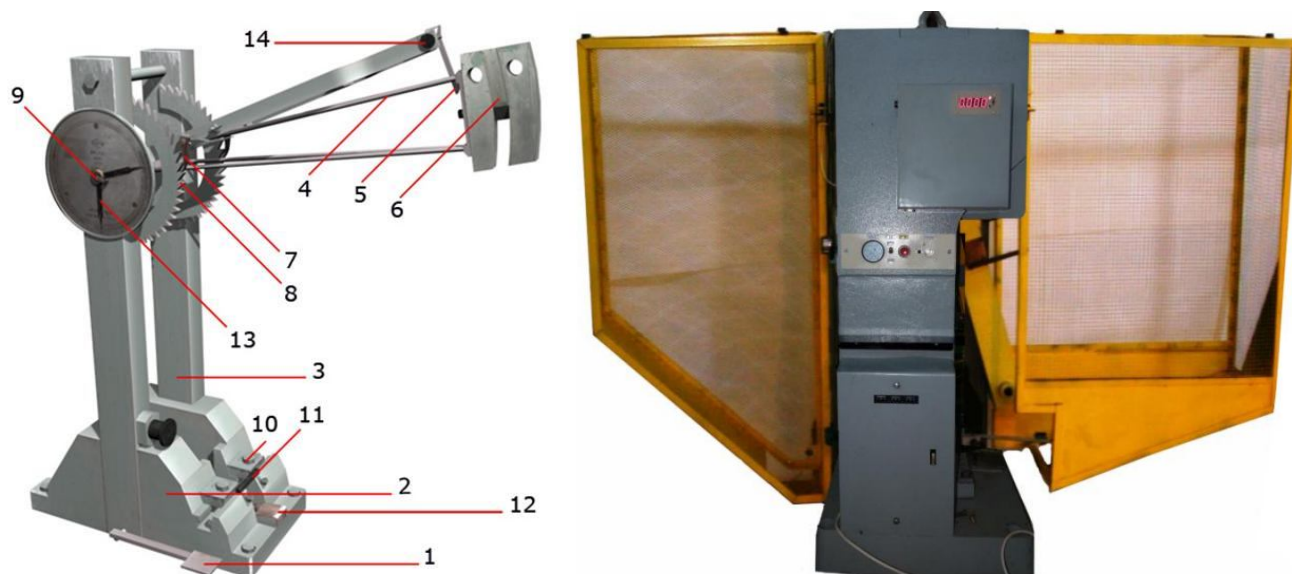


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд копра

Перед випробуванням маятник піднімають на вихідну висоту та утримують його в цьому положенні клямкою 6. У копрі ця висота залежить від того, в якому положенні встановлена клямка підйомної рами 7 у храповику.

При випробуванні зразка маятник звільняється від клямки 6, падаючи, вдаряє зразок, руйнує його і злітає на деякий кут, яким визначається робота, витрачена на руйнування зразка. У копрі на осі маятника жорстко закріплений повідець 9. При прямому та зворотному русі маятника повідець захоплює за собою відповідно одну або іншу стрілку шкали 13 і залишає їх у положенні, що фіксує ніж, що служить бойком при випробуванні. Внизу на рівні вертикально висить маятника до колон станини прикріплені дві сталеві загартовані опори (10), на які поміщають зразок (11). Під опорами між колонами проходить гальмівний ремінь (12), який, притискаючись до маятника, що гойдається після удару, викликає його гальмування. Гальмівний ремінь приводиться в дію педаллю (1).

При записі значення максимальної енергії удару маятника у джоулях слід округлювати відповідно до 5; 10; 50; 100; 150 та 300 Дж.

Максимальна енергія удару маятника повинна бути такою, щоб значення роботи удару становило не менше 10 % від максимальної енергії удару маятника, що застосовується.

Вид зразків, а також їх кількість та розташування і місце вирізування вказують у відповідному стандарті на металопродукцію. Основний зразок має довжину 55 мм і квадратний поперечний переріз зі стороною 10 мм. На середині всієї довжини зразок має надріз.

Встановлено дві форми надрізу:

- V-подібний надріз з кутом 45° , з глибиною 2 мм і радіусом 0,25 мм;
- U-подібний надріз або надріз у вигляді замкової шпари глибиною 5 мм та радіусом 1 мм.

Технічні характеристики копра:

Тип копра – маятниковий.

Вид випробування – двоопорний ударний вигин (метод Шарпі).

Підйом пам'ятника – автоматичний після руйнування зразка.

Тип приводу підйомного пристрою – пневматичний.

Спосіб встановлення зразків на опори: оператор за допомогою пристрою.

Найбільший запас потенційної енергії 300 Дж.

Номінальні значення потенційної енергії маятником – 150; 200; 250; 300 Дж.

Допустиме відхилення запасу потенційної енергії маятників від номінального значення $\pm 0,5\%$.

Діапазони вимірювання енергії:

- для маятника з номінальним значенням потенційної енергії 150 Дж – від 15 до 120 Дж;

- для маятника з номінальним значенням потенційної енергії 300 Дж – від 30 до 240 Дж

Тип відлікового пристрою – цифровий.

Межі абсолютної похибки вимірювання енергії, що допускається, по цифровому відліковому пристрої:

- для маятника з номінальним значенням потенційної енергії 150 Дж $\pm 1,5$ Дж;
- для маятника з номінальним значенням потенційної енергії 200 Дж $\pm 2,0$ Дж;
- для маятника з номінальним значенням потенційної енергії 250 Дж $\pm 2,5$ Дж;
- для маятника з номінальним значенням потенційної енергії 300 Дж $\pm 3,0$ Дж.

Втрати енергії при вільному коливанні маятників за половину повного коливання трохи більше $\pm 0,5\%$.

Швидкість руху маятника у момент удару ($5 \pm 0,5$) м/с.

Габаритні розміри випробувальної установки з огорожами зон польоту маятника, не більше:

- довжина 2100 мм;
- ширина 800мм;
- висота 1620 мм.

Потужність установки випробувального і цифрового відлікового пристрою не більше 0,38 кВА.

Маса установки випробувальної – 750 кг.

Всі зразки повинні бути повністю оброблені, за винятком зразків з точного лиття, у яких обидві паралельні площині симетрії надрізу поверхні можуть залишатись необробленими (торцеві поверхні).

Площина симетрії надрізу повинна лежати перпендикулярно до поздовжнього напрямку зразка. Граничні відхилення розмірів зразків наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Допустимі відхилення розмірів зразків

Параметр	Зразок з U-подібним надрізом		Зразок з V-подібним надрізом	
	Номінальний розмір	Граничні відхилення	Номінальний розмір	Граничні відхилення
Довжина зразка	55 мм	$\pm 0,60$ мм	55 мм	$\pm 0,60$ мм
Висота зразка	10 мм	$\pm 0,11$ мм	10 мм	$\pm 0,06$ мм
Ширина зразка	10 мм	$\pm 0,11$ мм	10 мм	$\pm 0,11$ мм
Кут надрізу			45°	$\pm 2^\circ$
Висота у основі надрізу	5 мм	$\pm 0,09$ мм	8 мм	$\pm 0,06$ мм
Радіус надрізу	1 мм	$\pm 0,07$ мм	0,25 мм	$\pm 0,025$ мм
Відстань між серединою надрізу і торцевими поверхнями зразка	27,5 мм	$\pm 0,42$ мм	27,5 мм	$\pm 0,42$ мм

Результати контролювання можна порівнювати між собою тільки тоді, коли ці випробовування проводили на зразках, які мають однакову форму і розмір.

Під час виготовлення зразків необхідно звертати увагу на те, щоб на стан металу впливало якомога менше чинників, наприклад, нагрівання або зміцнювання. У основі надрізу не повинно бути ніяких видимих неозброєним оком рисок, які проходять паралельно дну надрізу. Зразки можна маркувати на поверхнях, які не повинні торкатись опор або контропор, маркування наносять на відстані не меншій ніж 5 мм від надрізу, щоб уникнути впливу зміцнювання.

Випробовуванням за нормальних умов вважають такі, за яких використовують основний зразок і кінетична енергія маятникового копра становить (300 ± 10) Дж. Можна також використовувати випробувальне устаткування з іншими значеннями кінетичної енергії, тоді короткі позначки KU і KV повинні мати відповідні доповнення, які вказують кінетичну енергію маятникового копра.

Наприклад: $KU 100 = 65$ Дж означає: кінетична енергія 100 Дж; нормальний зразок з U-подібним надрізом; витрачена під час руйнування робота удару 65 Дж.

Якщо випробовують зразки зі зменшеними розмірами з V-подібним надрізом, то коротку позначку KV потрібно доповнити визначенням кінетичної енергії та ширини зразка.

Наприклад: $KV 150/7,5 = 85$ Дж означає: кінетична енергія маятникового копра 150 Дж; зразок зі зниженим значенням ширини 7,5 мм; витрачена під час руйнування робота удару 85 Дж.

Зразок розміщують проти контропор таким чином, щоб відстань між площиною симетрії надрізу і площиною симетрії опор та контропор становила не більше 0,5 мм [15]. Зразок розміщують на опорах таким чином, щоб по протилежній надрізу стороні поверхні вдаряла ударна крайка бойка (рис. 3.3 - 3.4).

Якщо у відповідному стандарті на продукцію температура випробовування не вказана, то випробовування проводять за температури (23 ± 5) °С.

Якщо температура випробовування у відповідному стандарті на продукцію визначена без допуску, то її потрібно дотримуватись з похибкою до ± 2 °С.

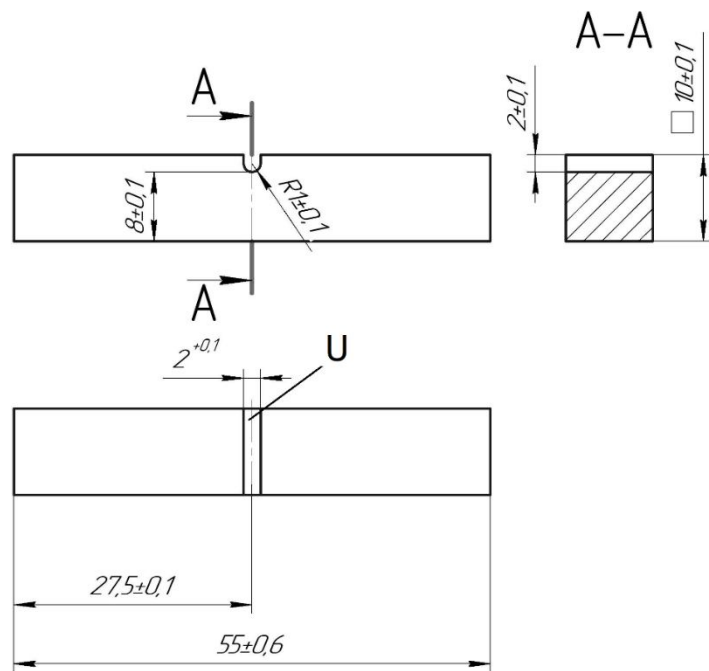


Рисунок 3.3 – Зразок типу U для випробовування на ударний вигин за Шарпі

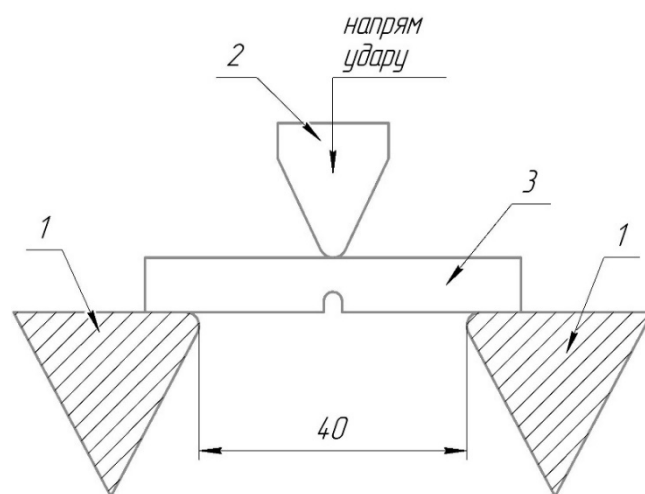


Рисунок 3.4 – Схема розміщення зразка типу U для випробовування на ударний вигин за Шарпі: 1 – опора копра; 2 – ударник копра; 3 – зразок сталі

За температури випробовування, яка відрізняється від кімнатної, зразок повинен перебувати у температурному устаткуванні доти, доки не буде встановлено, що необхідна температура випробовування досягнута по всьому поперечному перерізу (наприклад, в рідкому середовищі щонайменше 10 хв, а в газоподібному середовищі щонайменше 30 хв).

Випробовування потрібно проводити протягом 5 с після виймання зразка з температурного устаткування.

Інструмент для виймання зразка повинен мати таку саму температуру. При його використанні температура зразка повинна зберігатися у визначених межах.

Можна порівнювати між собою тільки результати випробовувань зразків з однаковими розмірами. Не існує загальновизнаних методик для перерахування результатів, які одержані під час використання різних розмірів зразків.

3.2.3 Методика визначення зносостійкості сталі для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів

Зносостійкість корпусу гідромоніторного бура це похідний показник від твердості його поверхні та може бути визначена за методом Роквелла. Метод є найпоширеніший для загартованої сталі.

Випробування на твердість за Роквеллом – це метод оцінки твердості матеріалів, що базується на вимірюванні глибини проникнення твердого наконечника (вістря, індентора) під заданим навантаженням у досліджуваний матеріал [16]. Твердість потрібно вимірювати не менш ніж у трьох точках. Для обчислення беруть середнє значення результатів другого і третього вимірювань. Шкали для вимірювання твердості сталі за методом Роквелла наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Шкали для вимірювання твердості сталі за методом Роквелла

Назва	Шкали	Сила	Індентор	Використання
A	HRA	60 кгс	120 град алмазний конус	Карбід вольфраму
B	HRB	100 кгс	1,58 мм сталева кулька	Алюмінієві сплави, латунь, м'які конструкційні сталі
C	HRC	150 кгс	120 град алмазний конус	Гартовані сталі
D	HRD	100 кгс	120 град алмазний конус	Матеріали після поверхневого зміцнення
E	HRE	100 кгс	3,16 мм сталева кулька	Чавун, алюмінієві та магнієві сплави
F	HRF	60 кгс	1,58 мм сталева кулька	Тонкі листи та відпалені мідні сплави
G	HRG	150 кгс	1,58 мм сталева кулька	Бронзи та мідь
H	HRH	60 кгс	1,58 мм сталева кулька	Алюміній, цинк та свинець
K	HRK	150 кгс	1,58 мм сталева кулька	Олово, бабіти, тверді пластики

Згідно табл. 3.8 для гартованої сталі приймаємо шкалу «С». Для вимірювання твердості сталі за методом Роквелла використовувався твердомір ТК-2М (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд твердоміра ТК-2М

Твердомір ТК-2М призначений для вимірювання твердості металів і сплавів за методом Роквелла, належить до стаціонарних твердомірів, які реалізують прямий метод вимірювання твердості.

Твердомір ТК-2М дає вимірювати твердість деталей і зразків із металів і конструкційних пластмас. Прилад має електромеханічний привод нагрудження. Зміна навантажень забезпечується поворотом ручки. Вимірювання твердості за допомогою твердоміра ТК 2 М забезпечується за 3 шкалами інденторами з алмазним наконечником і сталеву кулькою діаметром 1,588 мм. Пристрій відліку твердості – аналоговий (індикатор годинникового типу).

Технічні характеристики твердоміра ТК-2М:

Випробувальні навантаження:

- попередня – 10 кгс;
- загальні – 60; 100; 150 кгс;

Допускна похибка випробувальних навантажень:

- попередньої $\pm 2\%$;
- загальних $\pm 0,5\%$;

Варіація за навантаженнями в межах похибки:

- за попереднім 2%;
- за загальними 0,5%;

Межі вимірювання твердості:

шкала А – 70 - 90 HRA у разі навантаження 60 кгс;

шкала В – 25 - 100 HRB у разі навантаження 100 кгс;

шкала С – 20 - 67 HRC у разі навантаження 150 кгс;

Тривалість циклу застосунку та зняття основного навантаження 5 ± 1 сек;

Відстань від центру відбитка до корпусу, не менш ніж 130 мм;

Відстань від столу до наконечника, не менш ніж 200 мм;

Споживана потужність – не більш ніж 100 Вт;

Габаритні розміри: 500 x 240 x 760 мм.

Маса, не більш ніж: 78 кг.

Параметри живлення: 220 В, 50 Гц.

При цьому твердість можна визначати як на спеціальних зразках, так і на самому виробі. Для вимірювання твердості за методом Роквелла не потрібна особлива підготовка поверхні.

3.3 Результати дослідження впливу термічної обробки на ударну в'язкість та зносостійкість сталі для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів

Для проведення експерименту з кожного виду сталі було виготовлено зразки (рис. 3.7) заданої форми 10x10x55 мм [17], промарковані номерами з кожного кінця для спрощення їх ідентифікації після руйнування на копрі.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд експериментального зразка

Загальна кількість прийнятих зразків становила 12: по 3 на кожен тип відпуску (кожен рівень). Перед вимірюванням твердості на кожному етапі проводилось очищення від окалини. Результати експериментів та розрахункові величини заносились до таблиць відповідно до етапу термічної обробки та виду сталі.

Для кожної з трьох видів сталі 40X, 35ХГСА та 40ХН2МА термообробка проводилась в три етапи: 1 - відпал; 2 - загартування згідно нормативної літератури на максимальну твердість; 3 - відпуск (низько-, середньо- та високотемпературний).

Досліджування технологічних властивостей сталі відбувалися в два етапи: 1) вимірювання твердості зразка; 2) вимірювання ударної в'язкості зразка.

Результати вимірювання після відпалу сталі наведено в табл. 3.9 - 3.11.

Таблиця 3.9 – Відпал сталі 35ХГСА

№ з/п	Відпал	
	Температура, °С	Твердість середня, HRC
1	850, з 300 градусів охолодження на повітрі	11
2		12
3		10
4		15
5		15
6		14
7		12
8		10
9		14
10		10
11		11
12		11

Таблиця 3.10 – Відпал сталі 40X

№ з/п	Відпал	
	Температура, °С	Твердість середня, HRC
1	830, охолодження з піччю	10
2		10
3		11
4		12
5		14
6		12
7		11
8		10
9		12
10		10
11		11
12		11

Таблиця 3.11 – Відпал сталі 40ХН2МА

№ з/п	Відпал	
	Температура, °С	Твердість середня, HRC
1	840, охолодження з піччю	12
2		11
3		11
4		12
5		12
6		11
7		12
8		11
9		12
10		11
11		12
12		12

На рис. 3.8 показана структура сталі після відпалу. На фото видно, що мікроструктура з відпалом має дрібніше зерно і меншу структурну напругу. Тобто мета першого етапу термічної обробки сталі була досягнута.

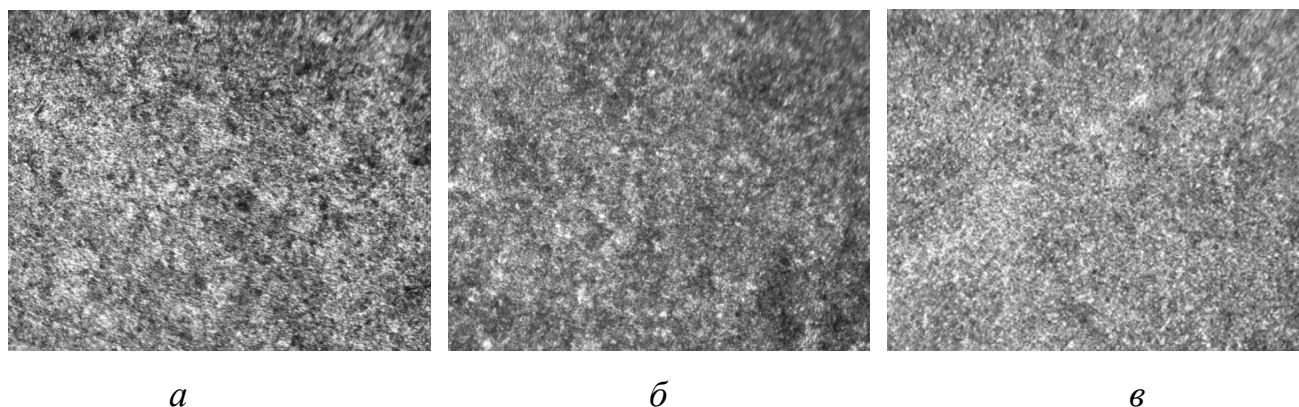


Рисунок 3.8 – Мікроструктура сталей з відпалом: *а* – 35ХГСА; *б* – 40Х; *в* – 40ХН2МА

Після відпалу зразків кожної сталі було проведено загартування сталей на максимальну твердість, згідно з рекомендаціями виробників. Залежно від типу сталі використовували різні гартувальні рідини. Перед зануренням в гартувальну рідину вона підігрівалась до температури 80 градусів. Результати вимірювання та технологія загартування наведені в табл. 3.12 - 3.14.

Таблиця 3.12 – Загартування сталі 35ХГСА

№ з/п	Загартування		Твердість середня, HRC
	Температура, °С	Гартувальна рідина	
1	890	Олія індустріальна I-20	51
2			52
3			51
4			51
5			53
6			54
7			53
8			52
9			53
10			51
11			52
12			52

Таблиця 3.13 – Загартування сталі 40Х

№ з/п	Загартування		Твердість середня, HRC
	Температура, °С	Гартувальна рідина	
1	860	Олія індустріальна I-20	51
2			51
3			50
4			52
5			51
6			51
7			51
8			51
9			52
10			53
11			51
12			53

Таблиця 3.14 – Загартування сталі 40ХН2МА

№ з/п	Загартування		Твердість середня, HRC
	Температура, °С	Гартувальна рідина	
1	890	Олія індустріальна I-20	52
2			52
3			51
4			53
5			54
6			52
7			51
8			53
9			52
10			51
11			53
12			52

У процесі охолодженні зразків в гартувальній рідині її температура підтримувалась на постійному рівні (допустиме максимальне збільшення температури склало +20 градусів), що забезпечило стабільність показників при загартуванні. Якщо загартування сталі проводиться в зимовий період, то гартувальну рідину слід замінити на більш в'язку, наприклад масло індустриальне І-40.

На останньому етапі термічної обробки проводився відпуск в три етапи. Відпуск проводився при охолодженні на воду. Результати експерименту наведено в таблицях 3.15 - 3.17.

Таблиця 3.15 – Відпуск сталі 35ХГСА

№ з/п	Відпуск		Твердість середня, HRC	Ударна в'язкість, середня, Дж/см ²
	Температура, °С	Охолоджувальна рідина		
1	200	Вода	51	47
2				
3				
4	300		50	58
5				
6				
7	400		46	44
8				
9				
10	500		42	43
11				
12				

Таблиця 3.16 – Відпуск сталі 40Х

№ з/п	Відпуск		Твердість середня, HRC	Ударна в'язкість, середня, Дж/см ²
	Температура, °С	Охолоджувальна рідина		
1	200	Вода	50	29
2				
3				
4	300		49	20
5				
6				
7	400		42	45
8				
9				
10	500		32	67
11				
12				

Таблиця 3.17 – Відпуск сталі 40ХН2МА

№ з/п	Відпуск		Твердість середня, НРС	Ударна в'язкість, середня, Дж/см ²
	Температура, °С	Охолоджувальна рідина		
1	200	Вода	51	59
2				
3				
4	300		46	49
5				
6				
7	400		41	57
8				
9				
10	500		32	80
11				
12				

Таким чином, з підвищенням температури відпуску бачимо зниження твердості для всіх видів сталей [18]. В той самий час ударна в'язкість для 35ХГСА має оптимальне значення при середньотемпературному відпуску.

Ударна в'язкість для 40ХН2МА при середньотемпературному відпуску має мінімальне значення.

Наступним етапом експериментальних досліджень було проведення ізотермічного загартування (табл. 3.18 - 3.19). Такий вид загартування є більш енерговитратним та більш дорогим за рахунок використання спеціальних розплавів солей різних типів в залежності від необхідної температури.

Ізотермічне загартування не проводиться для сталі 40Х, тому нижче в табл. 3.17 та 3.18 наведені результати тільки для сталей 35ХГСА та 40ХН2МА.

Для порівняння ізотермічного та стандартного загартування на рис. 3.9 наведено структури сталі 35ХГСА.

Як видно з фото, при ізотермічному загартуванні сталь має більш дрібнозернисту троститну пластинчасту структуру, що й обумовлює зростання ударної в'язкості [19] при ізотермічному загартуванні.

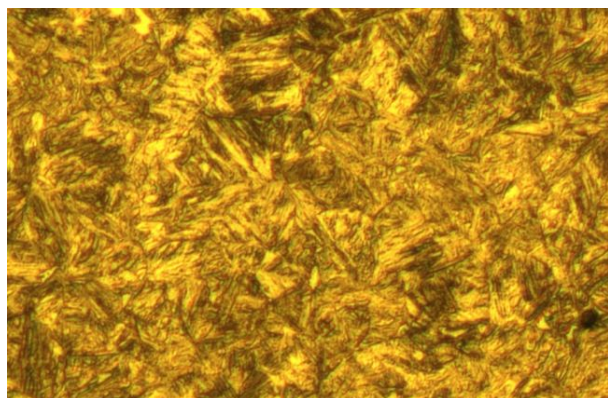
Для візуалізації результатів експериментальних досліджень було створено графічні залежності твердості та ударної в'язкості в залежності від температури відпуску та типу. Результати наведено на рис. 3.10 - 3.13.

Таблиця 3.18 – Ізотермічне загартування сталі 35ХГСА

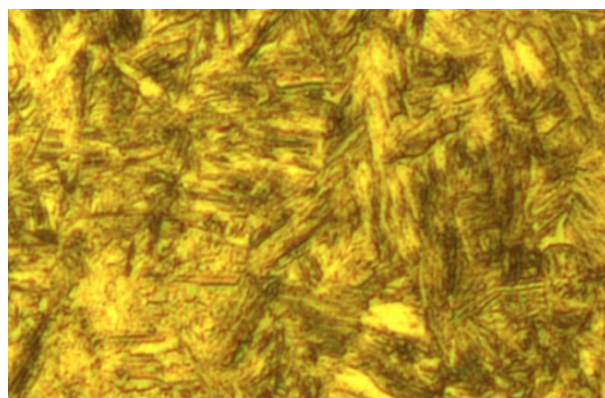
№ з/п	Ізотермічне загартування		Твердість середня, HRC	Ударна в'язкість, середня, Дж/см ²
	Температура розплаву солі, °С	Температура ізотермічного загартування °С		
1	200	890 після витримки в розплаві солі охолодження на воду	50	58
2				
3				
4	300		50	69
5				
6				
7	400		46	51
8				
9				
10	500		42	40
11				
12				

Таблиця 3.19 – Ізотермічне загартування сталі 40ХН2МА

№ з/п	Ізотермічне загартування		Твердість середня, HRC	Ударна в'язкість, середня, Дж/см ²
	Температура розплаву солі, °С	Температура ізотермічного загартування °С		
1	200	890 після витримки в розплаві солі охолодження на воду	50	62
2				
3				
4	300		48	55
5				
6				
7	400		42	69
8				
9				
10	500		33	81
11				
12				



а



б

Рисунок 3.9 – Порівняння структури ізотермічного (а) та стандартного (б) загартування

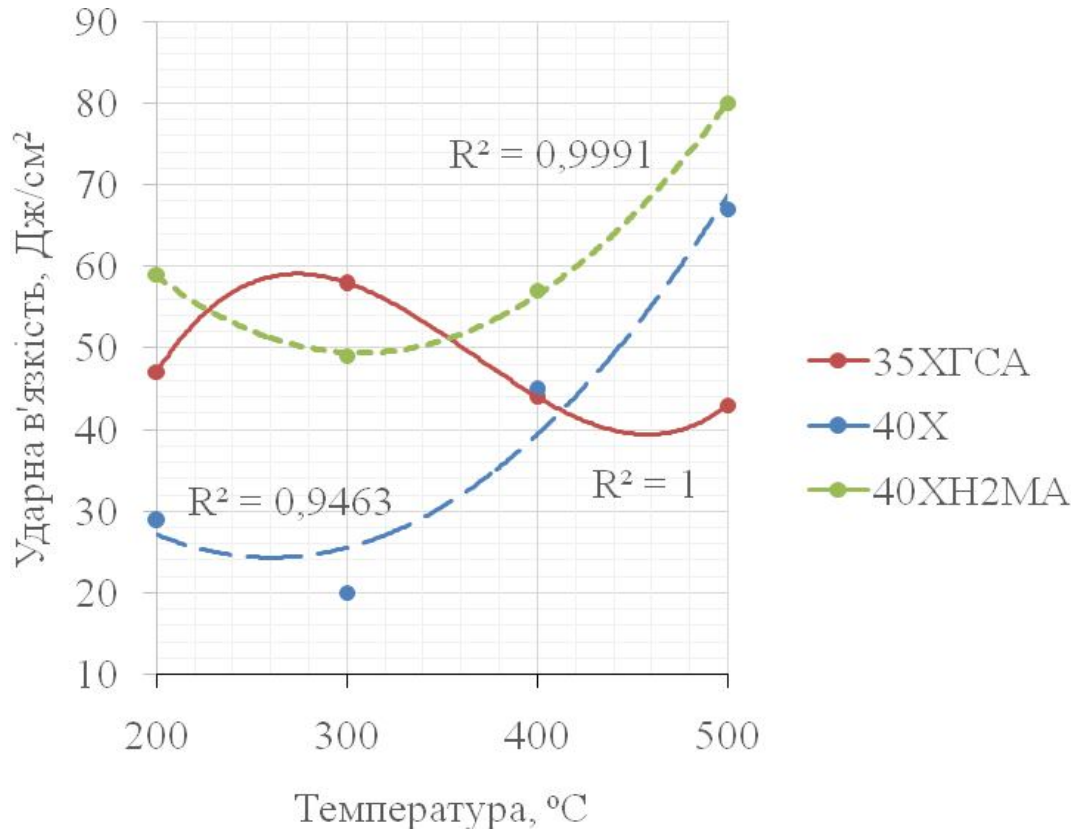


Рисунок 3.10 – Залежності ударної в'язкості від температури відпуску при стандартному загартуванні

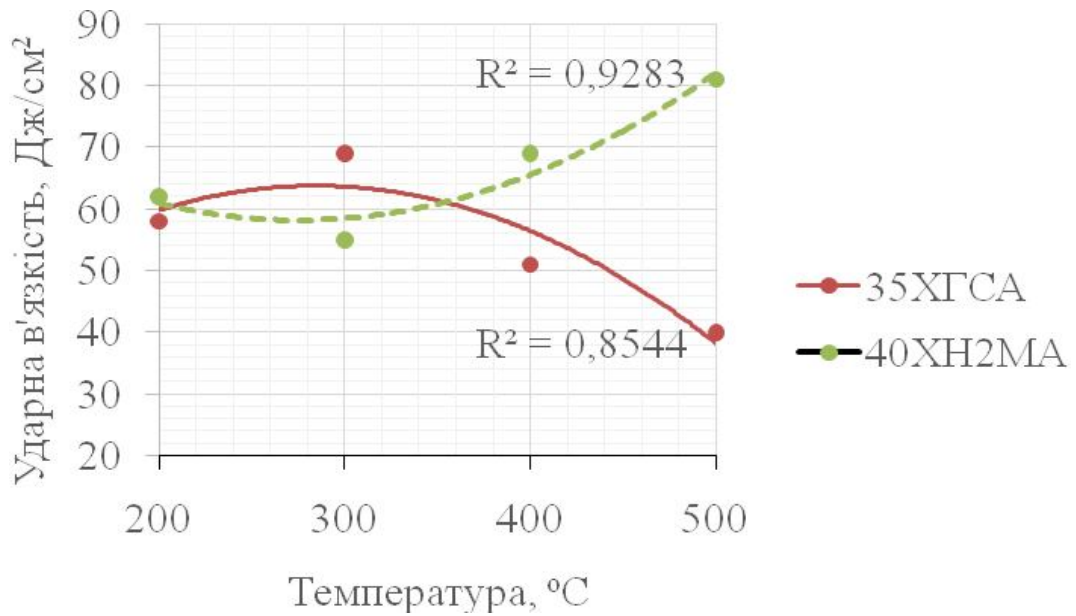


Рисунок 3.11 – Залежності ударної в'язкості від температури відпуску при ізотермічному загартуванні

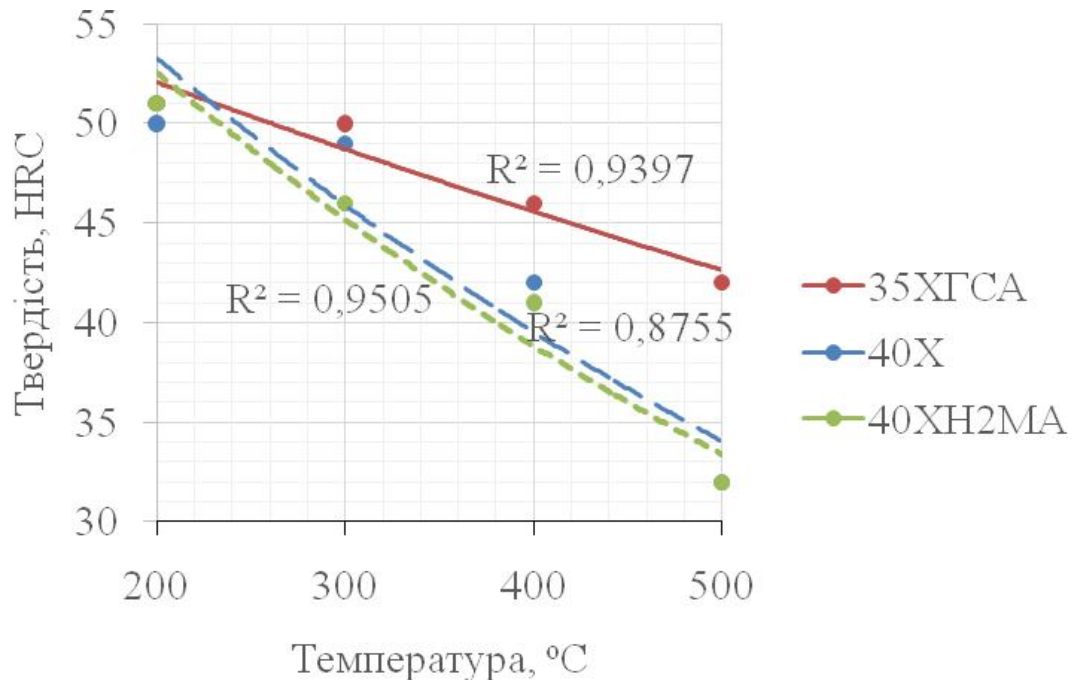


Рисунок 3.12 – Залежності твердості від температури відпуску при стандартному загартуванні

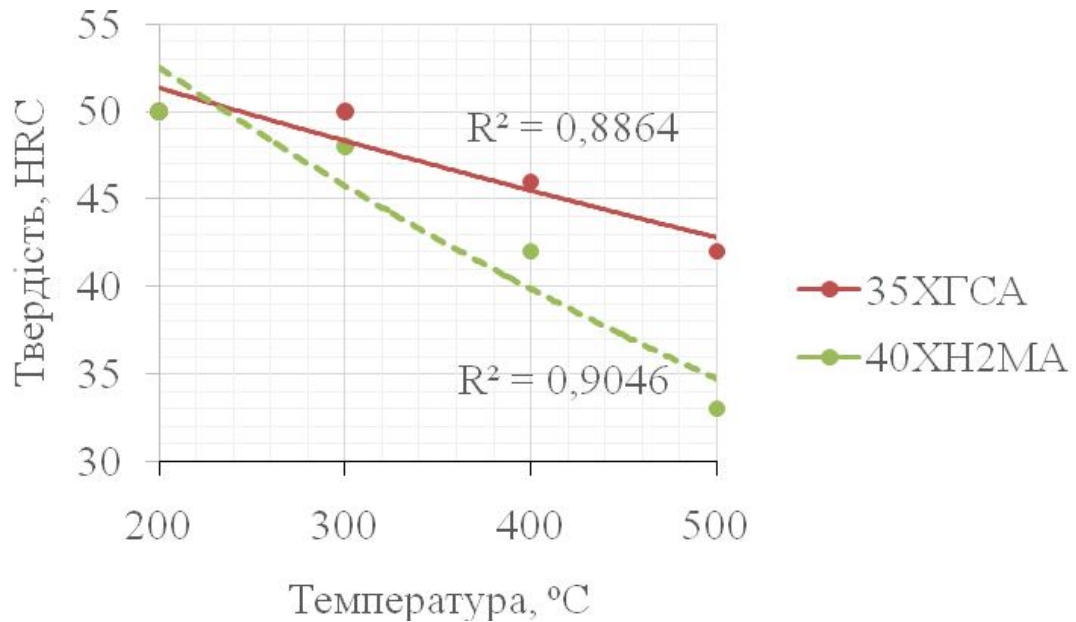


Рисунок 3.13 – Залежності твердості від температури відпуску при ізотермічному загартуванні

По графікам рис. 3.10 та 3.11 видно, що максимальну ударну в'язкість ми отримали при високотемпературному відпуску для сталі 40ХН2МА. При цьому незалежно стандартне це загартування чи ізотермічне – ударна в'язкість знаходиться на однаковому рівні – 80 Дж/см^2 . Однак при високотемпературному відпуску твердість цієї сталі знаходиться на низькому рівні 32-33 HRC, що призведе до швидкого виходу зі строю корпусу гідромоніторного бура [20].

По графікам рис. 3.12 та 3.13 бачимо, що максимальну твердість (зносостійкість) ми отримали при низько- та середньотемпературному відпусках для сталі 35ХГСА. Однак для низькотемпературного відпуску сталі 35ХГСА характерне падіння ударної в'язкості. Тому для виготовлення гідромоніторного бура рекомендуємо вибрати сталь вітчизняного виробництва марки 35ХГСА. В якості режиму термічної обробки приймаємо ізотермічне загартування на розплав солі: ударна в'язкість 69 Дж/см^2 при твердості корпусу 50 HRC.

Висновки до третього розділу

1. Доведено, що в процесі роботи корпус гідромоніторного буру буде піддаватися впливу різних навантажень, причому основним параметром, який впливає на здатність сталевго корпусу гідромоніторного бура витримувати знакозмінні навантаження є ударна в'язкість; з огляду на позначене були проведені експериментально-аналітичні дослідження проєктованого технологічного процесу щодо підвищення показника ударної в'язкості.

2. Надано характеристику методам термічної обробки різних сталей, якою переслідується мета зміни структури та властивостей оброблюваних матеріалів для підвищення показників їх міцності; в розглядуваних умовах під термічною обробкою розуміють процес її нагрівання до визначеної температури, витримування при цій температурі та подальше охолодження із заданою швидкістю з метою зміни структури та контрольованих властивостей.

3. Позначені основні етапи промислової методики визначення ударної в'язкості досліджуваних сталей для виготовлення корпусу гідромоніторних бурів, порядку математичної статистичної обробки експериментальних даних та формулювання практичних висновків.

4. В результаті проведених досліджень встановлено, що для виготовлення гідромоніторного бура доцільно застосовувати сталь вітчизняного виробництва марки 35ХГСА; причому в якості режиму термічної обробки необхідно приймати ізотермічне загартування на розплав солі, після якого ударна в'язкість буде складати 69 Дж/см^2 при твердості корпусу 50 HRC.

Перелік використаних джерел у розділі 3

1. Азюковський О.О., Павличенко А.В., Ігнатов А.О., Коровяка Є.А., Хоменко В.Л., Пащенко О.А., Мекшун М.Р., Шипунов С.О. (2022). Гідромоніторний бур. Патент на корисну модель № 151461, Україна.
2. Bansal, R.K. (2010). *Hydraulics and fluid mechanics*. Laxmi Publications LTD.
3. Мала гірничча енциклопедія: в 3-х т. / За ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Донбас. – Т. 1. – 2004. – 640 с., Т. 2. – 2007. – 652 с., Т. 3. 2013. – 644 с.
4. Rao, T.D.G., & Andal, M. (2018). *Strength of Materials*. Publisher: Cambridge University Press.
5. Мекшун М.Р., Коровяка Є.А. (2021). Аналіз відомих конструкцій твердосплавних бурових коронок армованих твердосплавними вставками. Молодь: наука та інновації: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 11–12 листопада 2021 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – С. 462 – 464.
6. Городжа А.Д. *Матеріалознавство та електротехнічні матеріали*. Київ: КНУБА, 2006. – 300 с.
7. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. *Способи зміцнення металів*. Дніпро: НМетАУ, 2021. – 89 с.
8. Атаманюк В.В. *Технологія конструкційних матеріалів*. Київ: Кондор, 2006. – 528 с.
9. Вакарчук, С. О., Демків, Т. М., & Мягкота, С. В. (2010). *Фізика*. ЛНУ ім. І. Франка.
10. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. *Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів*. Київ: «Либідь», 2002. – 326 с.
11. Odeh A. A. *Metallurgy & heat treatment: The pocket book*. Rockford: ATRONA Metallurgical Services, 2000. – 153 p.

12. Totten G. E. Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. CRC, 2006. – 848 p.
13. Datta, S. & Davim, J.P. (2019). Optimization in Industry. Springer publishing.
14. Curry, G.L. & Feldman, R.M. Manufacturing systems. Modeling and analysis. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – 338 p.
15. ДСТУ ISO 148-1:2022 Металеві матеріали. Випробування на ударний вигин за Шарпі на маятниковому копрі. Частина 1. Метод випробування (ISO 148-1:2016, IDT) (на заміну ДСТУ EN 10045-1:2006).
16. ДСТУ ISO 6508-1:2013 Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, Е, F, G, Н, К, N, Т) (ISO 6508-1:2005, IDT).
17. Bansal, R. K. (2005). A Textbook of Strength of Materials. Laxmi Publications.
18. Bhavikatti, S. (2002). Strength of Materials. Vikas Publishing House Pvt Limited.
19. Слободянюк О.В. Механіка : підручник / О.В. Слободянюк. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. – 478.
20. Коровяка, Є.А., Мекшун, М.Р. (2024). Дослідження технології виготовлення корпусів гідромоніторних бурів з оптимальними експлуатаційними характеристиками. Інструментальне матеріалознавство: Збірник наукових праць ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, (27), 99-105.

Розділ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИВАННЯ ГЕОТЕХНОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН

4.1 Режимно-технологічні параметри процесу буріння геотехнологічних свердловин при використанні активованих промивальних рідин

На даний час можна стверджувати [1], що існуючі практичні рекомендації з технології буріння свердловин (особливо геотехнологічних), вибору раціонального способу буріння, типу бурового устаткування і породоруйнівного інструменту, а особливо методики проєктування параметрів режиму буріння носять достатньо загальний характер, що сильно гальмує освоєння нової техніки буріння свердловин і прогресивних технологій їх поглиблення.

Спрямований вибір раціонального типу промивальної рідини [2], яка буде найбільш повно відповідати конкретній геологічній обстановці (особливої уваги тут заслуговують геотехнологічні свердловини), повинен здійснюватися з урахуванням різноманітних вимог, що пред'являються до промивальних рідин; повне виконання таких вимог буде забезпечуватися достатньо великою кількістю функцій робочого середовища у вигляді промивальної рідини, а саме: 1) своєчасне очищення вибою свердловини від зруйнованої гідромоніторним потоком гірської породи і стабільне винесення її на поверхню; 2) надійне утримування частинок зруйнованої струменем гірської породи в зваженому стані в стовбурі свердловини при раптовому припиненні циркуляції; 3) закріплення нестійких стінок верхніх інтервалів свердловини і оберігання стовбура від обвалення без застосування обсадних колон, що характерно для методів гідравлічного видобутку корисних копалин; 4) певний фізико-хімічний вплив на гірські породи, що має за мету полегшення їх руйнування струменем рідини та ін.

Для забезпечення ефективного виконання визначених функцій в різних геолого-технічних умовах буріння геотехнологічних свердловин [3] застосовувані промивальні рідини повинні володіти такими значеннями показників властивостей, які забезпечать спорудження свердловин в складних гірничо-геологічних умовах з високими техніко-економічними показниками [4].

Проведений аналіз передового досвіду спорудження геотехнологічних свердловин [5] показав, що тільки раціональні технологічні властивості промивальних рідин і технологія промивання (іноді застосовують термін – гідравлічна програма промивання свердловин), у поєднанні з сучасним прийомом руйнування гірського масиву і відповідним устаткуванням, в комплексі дозволять досягти прийнятних техніко-економічних показників при спорудженні геотехнологічних свердловин [6].

Показники якості нині широко застосовуваних глинистих розчинів істотно змінюються під впливом ПАР (поверхнево-активних речовин) [7], що обумовлює необхідність попередньої, лабораторної розробки складів і способів приготування з урахуванням якості глини, природи ПАР, а також вимог щодо раціоналізації руйнування гірських порід при спорудженні геотехнологічних свердловин і підтримки стінок цих свердловин в стійкому стані. Найбільш помітно вплив ПАР може позначатися на показниках статичної напружки зсуву і в'язкості глинистих розчинів [8].

Метою проведених лабораторних досліджень стало вивчення механізму впливу добавок деяких ПАР на властивості глинистих розчинів [9]. Для їхнього лабораторного приготування застосовувалася дніпровська водопровідна вода. У процесі досліджень вимірювалися наступні, контрольовані за допомогою польових методів, показники властивостей глинистих розчинів: умовна в'язкість (Т, с), водовіддача (В, см³ за 30 хв) і статична напружка зсуву (мГ/см²) [10]. Для зниження зайвої водовіддачі приготованих вказаним чином глинистих розчинів застосовувався відомий вуглелужний реагент (ВЛР).

В якості іоногенних ПАР [11] досліджено сульфонол, диталан і «Прогрес», з неіоногенних – спеціальний активатор.

Сульфонол. При додаванні до оброблюваних глинистих розчинів, необроблених ВЛР до 2% сульфонолу, зменшується їх в'язкість від 30 с до 19 с і статична напружка зсуву за 10 хв від 78,5 до 27,2 мГ/см². При додаванні досліджуваного реагента до глинистих розчинів, оброблених ВЛР, навпаки, спостерігається незначне збільшення параметра в'язкості від 29 с до 40 с і показника

статичної напруги зсуву від 7,9 до 3,5 мГ/см². Додавка сульфонолу також сприяє помірному зниженню водовіддачі глинистих розчинів, оброблених ВЛР, від 46 до 34 см³ за 30 хв. Таким чином, додавання сульфонолу до глинистого розчину до 2% значно не погіршують їх властивостей. Графічна візуалізація залежності основних властивостей оброблюваних глинистих розчинів від концентрації сульфонолу наведена на рис. 4.1 [12].

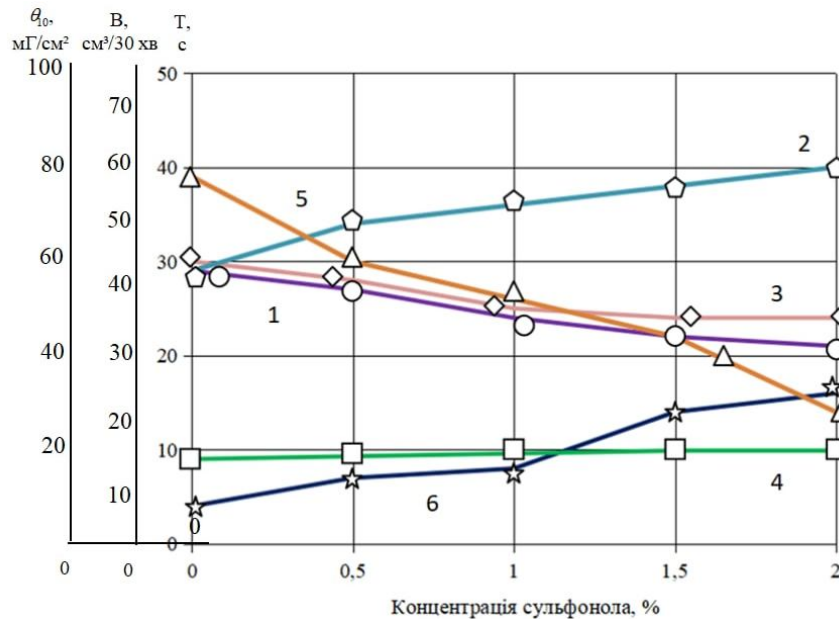


Рисунок 4.1 – Залежності зміни властивостей глинистих розчинів від концентрації сульфонолу: 1 - в'язкість розчину без ВЛР; 2 - в'язкість розчину з ВЛР; 3 - водовіддача розчину без ВЛР; 4 - водовіддача розчину з ВЛР; 5 - СНЗ розчину без ВЛР; 6 - СНЗ розчину з ВЛР

Диталан. Додавання зазначеного реагента диталану до глинистих розчинів, попередньо необроблених ВЛР, до 0,5% викликає помітне збільшення в'язкості від 30 с до так званого «не тече» і підвищення показника статичної напруги зсуву від 78,5 до 121,3 мГ/см²; при цьому водовіддача бурових розчинів практично не змінюється. Природно, вказані розчини практично непридатні для застосування при реалізації геотехнологічних методів спорудження і експлуатації свердловин. Додавання диталану до глинистих розчинів, оброблених ВЛР, істотно не змінює показників їх властивостей. Водовіддача оброблених розчинів залишається майже постійною, а їх в'язкість зростає від 29 с до 35 с. Статична напруга зсуву також значно збільшується від 7,9 до 17,3 мГ/см².

Досліджені глинисті розчини, з добавкою диталану, можна рекомендувати при бурінні свердловин в різних умовах проведення геологорозвідувальних робіт та спорудження геотехнологічних свердловин. В загальному випадку, глинистий розчин для обробки має наступні технологічні параметри, а саме: умовну в'язкість 18 - 20 с за приладом СПВ-5, водовіддачу 24 - 28 см³ за 30 хв за прибором ВМ-6. При додаванні в цей розчин 0,4 - 0,6% диталана, в'язкість цього розчину збільшується до 24 с, а водовіддача дещо зменшується до 23 - 25 см³ за 30 хв, отже, властивості глинистих розчинів при добавці диталану значно не погіршуються. На підставі цього можна зробити висновок про те, що розчини, які підлягають обробці реагентом диталаном, повинні мати вихідну умовну в'язкість нижче 30 с, в іншому випадку добавки диталану зроблять розчин непридатним до застосування в умовах геотехнологічних свердловин. Залежності умовної в'язкості, водовіддачі і статичної напруги зсуву (за 10 хв) від концентрації диталану для глинистих розчинів, необроблених і оброблених ВЛР, наведено на рис.4.2.

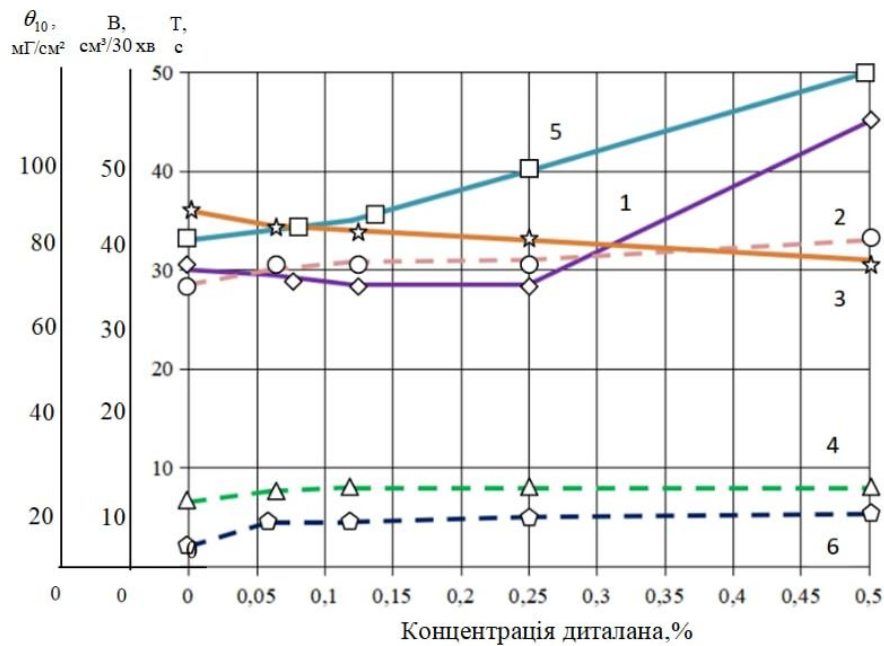


Рисунок 4.2 – Залежності зміни властивостей глинистих розчинів від концентрації диталану: 1 - в'язкість розчину без ВЛР; 2 - в'язкість розчину з ВЛР; 3 - водовіддача розчину без ВЛР; 4 - водовіддача розчину з ВЛР; 5 - СНЗ розчину без ВЛР; 6 - СНЗ розчину з ВЛР

«Прогрес». Добавки реагента «Прогрес» до оброблюваних глинистих розчинів, що не містять ВЛР, до 2% викликають помітне зниження умовної в'язкості від 30 с до 20 с і статичної напруги зсуву від 11,3 до 15,7 мГ/см². Величина водовіддачі розчинів знижується від 46 до 35 см³ за 30 хв. Таким чином, добавки «прогресу» до оброблюваних глинистих розчинів до 2% за об'ємом не викликають помітного погіршення їх властивостей. Дані рис. 4.3 ілюструють залежності основних технологічних властивостей глинистих розчинів від концентрації реагента «Прогрес».

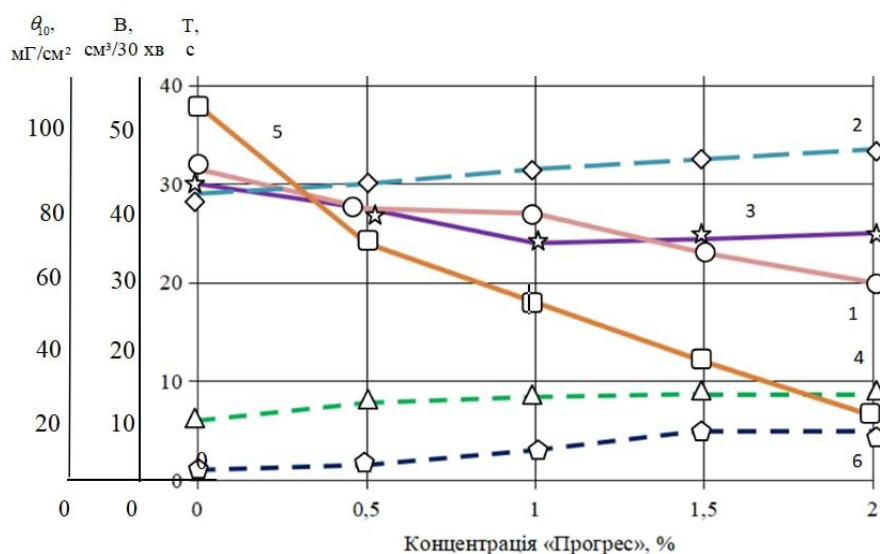


Рисунок 4.3 – Залежності зміни властивостей глинистих розчинів від концентрації «Прогресу»: 1 - в'язкість розчину без ВЛР; 2 - в'язкість розчину з ВЛР; 3 - водовіддача розчину без ВЛР; 4 - водовіддача розчину з ВЛР; 5 - СНЗ розчину без ВЛР; 6 - СНЗ розчину з ВЛР

При додаванні спеціального активатора до глинистих розчинів, що не містять ВЛР, до 2% знижується їх умовна в'язкість від 30 с до 22 с, і статична напруга зсуву від 8,5 до 37,8 мГ/см²; при цьому значення водовіддачі таких розчинів зменшується незначно – від 46 до 35 см³ за 30 хв. Додавання спеціального активатора до досліджуваних глинистих розчинів, оброблених ВЛР, збільшує їх умовну в'язкість від 29 с до 36 с, разом з тим, показник водовіддачі розчинів залишається практично постійним. Залежності основних технологічних властивостей хімічно оброблених глинистих розчинів від концентрації спеціального активатора наведено на рис. 4.4.

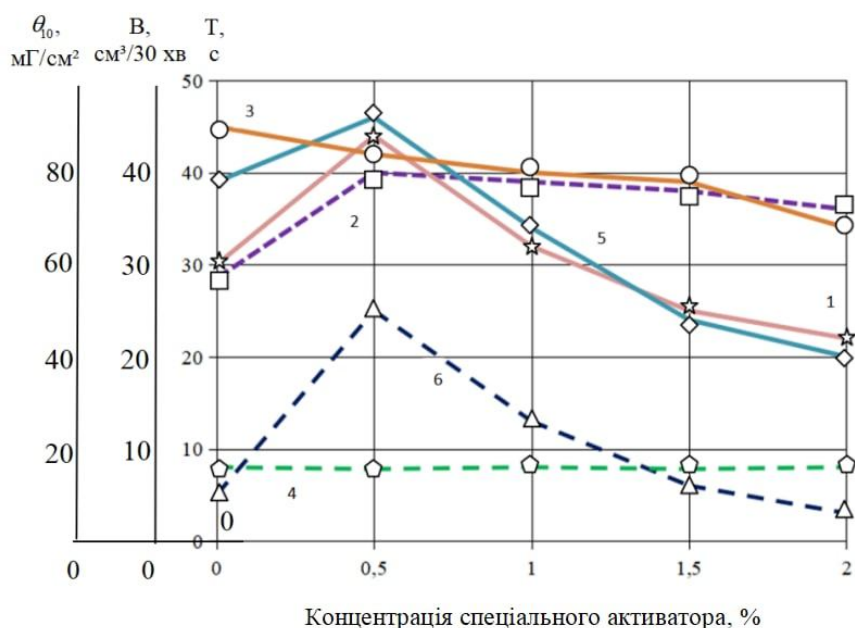


Рисунок 4.4 – Залежності зміни властивостей глинистих розчинів від концентрації спеціального активатора: 1 - в'язкість розчину без ВЛР; 2 - в'язкість розчину з ВЛР; 3 - водовіддача розчину без ВЛР; 4 - водовіддача розчину з ВЛР; 5 - СНЗ розчину без ВЛР; 6 - СНЗ розчину з ВЛР

Перспективною добавкою себе показав реагент ПЕГ (поліетиленгліколь) [13], який має безліч практичних застосувань від миючих засобів та фарб до лікарських засобів та очищення білків. На сьогоднішній день існує думка, що це найважливіший водорозчинний синтетичний полімер [14]. Приклад впливу ПЕГ на технологічні властивості глинистого розчину наведено на рис. 4.5.

Поліетиленгліколь зазвичай позначають як ПЕГ-М, де М це його середня молекулярна маса. ПЕГ являє собою простий, синтетичний, неіоногенний, лінійний, розчинний у воді полімер з регульованими молекулярною масою та фізичними властивостями, наприклад, в'язкістю. ПЕГ має хімічну формулу $(C_2H_4O)_nH_2O$ [15]. Вперше він був вивчений та охарактеризований у 1860-х роках і досі вважається унікальним полімером. ПЕГ має нижню критичну температуру розчинення [16] - при підвищенні температури розчинність ПЕГ знижується. У зв'язку з тим, що ПЕГ має гідрофобні сегменти (атоми вуглецю) та гідрофільні сегменти (атоми кисню), він розчинний у водних та органічних розчинниках. Крім того, полярність ПЕГ змінюється залежно від полярності розчинника: у полярних розчинниках,

макромолекули ПЕГ віддають перевагу полярним конформаціям, а в неполярних розчинниках – неполярні [17].

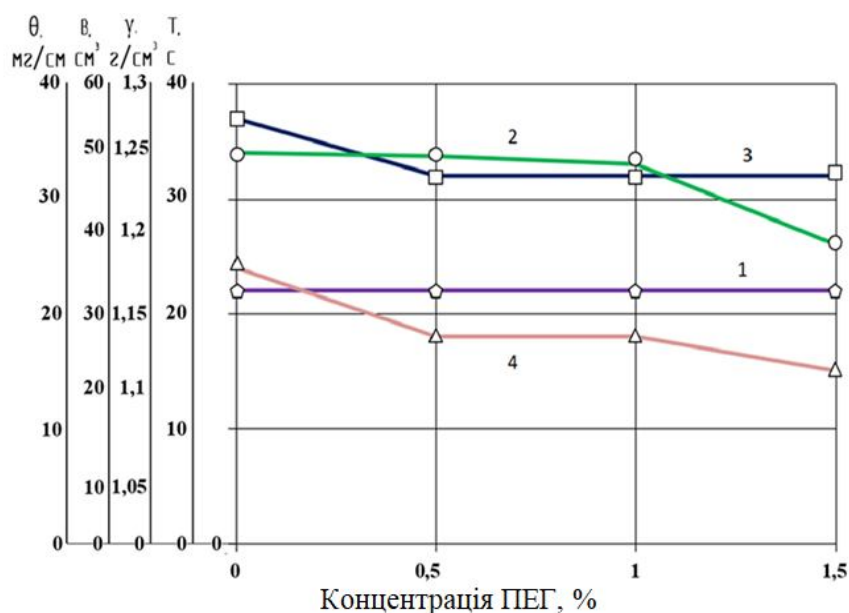


Рисунок 4.5 – Залежності якості глинистого розчину від концентрації ПЕГ: 1, 2, 3, 4 – відповідно в'язкість, водовіддача, питома вага та статична напруга зсуву

Можна зробити висновок про те, що добавки ПЕГ в межах 0,5% дозволяють отримати прийнятні властивості із паралельним зниженням витрати глинистого порошку. Залежно від типу породи та концентрації полімеру швидкість рідини може бути нижчою, ніж для звичайної води, оскільки полімерна добавка покращує проникнення та зчеплення струменя з породою [18]. Отже, щоб зруйнувати породу з використанням структурованих рідин при гідромоніторному бурінні, орієнтовні швидкості можуть бути такими: для м'яких та середніх порід (глина, вапняк): $V \approx 5-15$ м/с; для твердих порід (піщаник, граніт): $V \approx 20 - 60$ м/с.

Проведений аналіз наявних даних свідчить про те, що найбільш суттєвим чинником, що визначає вибірні умови руйнівних процесів при застосуванні геотехнологічних методів є густина бурової промивальної рідини, дещо менш значний вплив чинять в'язкість і водовіддача [19].

В табл. 4.1 наведено експериментальні дані щодо аналізу впливу різних ПАР на властивості глинистих розчинів. Речовини, які практично не впливають на властивості бурових глинистих розчинів відносяться до аніонактивних і неіоногенних [20]. Помітну негативну коагуляцію бурових глинистих розчинів

можуть викликати катіонактивні і неіоногенні ПАР, причому, одна і та сама речовина, при різних своїх концентраціях, має доволі неоднаковий вплив, збільшуючи, зменшуючи або не змінюючи досліджувані показники основних структурно-механічних властивостей бурових розчинів [21].

Таблиця 4.1 – Дані щодо впливу ПАР на властивості розчинів з гідрослюдистих і монтморилонітових глин

Клас досліджених речовин	ПАР	Параметри дослідженого бурового розчину		
		В'язкість, с	Водовіддача см ³ за 30 хв	СНЗ, мГ/см ²
Аніонактивні	Очищений контакт Петрова	До 0,2% збільшує, вище 0,2% - зменшує	Практично не змінює	Збільшує
	Сульфол	Зменшує	Не змінює	Зменшує
	ДС РАС	Практично не змінює		
	Сопаль			
	Проксанол			
	Проксамін			
	Змочувач НБ	Збільшує	Зменшує	Збільшує
Катіонактивні	Катапін А	Добавки 0,2-0,3% спричиняють інтенсивну коагуляцію розчинів		
Неіоногенні	УФЕ-8, КАУФЕ-14	Практично не змінює		
	ОП-7, ОП-10	Добавки 0,5-1,0% викликають активну коагуляцію глинистих розчинів		

Бурові силікатні розчини – це розчини на основі силікатів лужних металів (Na, K), які під дією, наприклад, хлористих солей дво- і тривалентних металів в результаті хімічних реакцій утворюють гель кремнієвої кислоти [22]. Водний лужний розчин силікатів натрію $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ та/або калію $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ називають рідким склом. Рідке скло достатньо широко використовується у бурових розчинах (наприклад для закріплення і водоізоляції гірських порід), воно утворює нерозчинні хімічні з'єднання (так звана силікатизація поверхні) [23].

При проходці бурінням доволі нестійких глинистих сланців та інших глинистих різниць достатньо позитивно зарекомендували себе силікатні і силікатно-гумінові бурові розчини [24]. Саме тому лабораторному дослідженню був підданий вплив добавок раніше досліджених поверхнево-активних речовин на основні технологічні властивості (умовна в'язкість, питома вага і поверхневий натяг) означених бурових розчинів [25].

Силікатний розчин, який за складом містив 20% содового рідкого скла і 80% води, мав такі технологічні параметри: умовна в'язкість – 16 с, питома вага – 1,08 г/см³ і поверхневий натяг – 69,1 мДж/м².

Силікатно-гуміновий розчин, який за хімічним складом містив 4% рідкого скла, 16% ВЛР і 80% води, мав наступні технологічні параметри: умовна в'язкість 16 с, питома вага – 1,02 г/см³ і поверхневий натяг – 64 мДж/м². У всіх випадках хімічної обробки бурових розчинів застосовувалося содове рідке скло питомої ваги 1,4 г/см³.

Проведеними лабораторними дослідженнями було переконливо встановлено, що додавання до бурових розчинів до 2% превацелу і до 1% КАУФЕ, диталану і неонолу не змінює їх в'язкість і питому вагу. При цьому спостерігається достатньо значна зміна поверхневого натягу (ізотерми поверхневого натягу рідини – криві, що характеризують зміну поверхневого натягу у разі підвищення концентрації активної речовини) цих бурових розчинів.

Приймаючи до уваги графіки, наведені рис. 4.6, можна констатувати, що добавки хімічного реагента КАУФЕ знижують поверхневий натяг силікатного бурового розчину до 38,8 мДж/м², а силікатно-гумінового бурового розчину до 37,0 мДж/м².

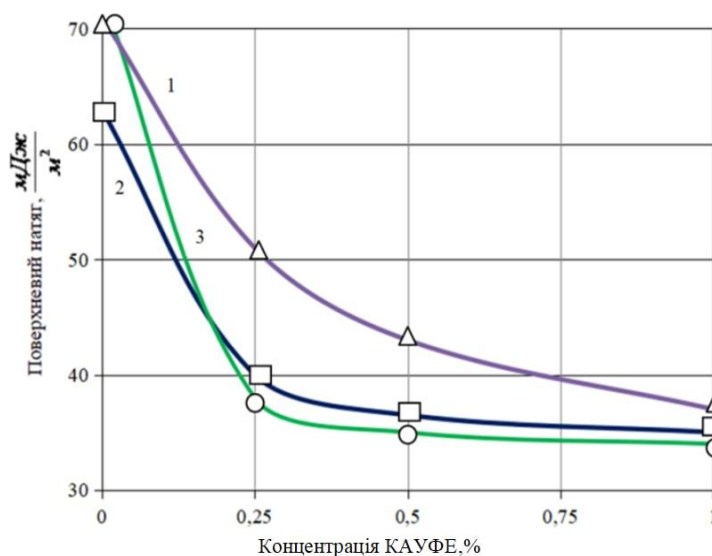


Рисунок 4.6 – Залежності поверхневого натягу бурових розчинів від концентрації КАУФЕ: 1 – силікатний розчин; 2 – силікатно-гуміновий розчин; 3 – водний розчин

На основі результатів експериментальних досліджень, наведених на рис. 4.7, можна зробити наступний практичний висновок: добавки реагентів превацелу до силікатно-гумінового і силікатного розчинів знижують їх поверхневий натяг відповідно до 41,4 і 33,0 мДж/м²; у свою чергу додавання диталану (рис. 4.8) до силікатного бурового розчину призводить до зменшення його поверхневого натягу до 51 мДж/м², а силікатно-гумінового розчину – до 35,4 мДж/м².

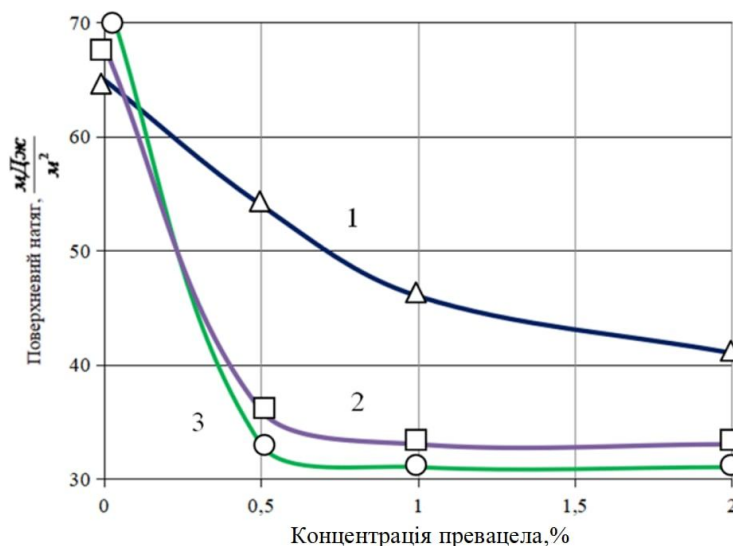


Рисунок 4.7 – Залежності поверхневого натягу бурових розчинів від концентрації превацелу: 1 – силікатно-гуміновий розчин; 2 – силікатний розчин; 3 – водний розчин

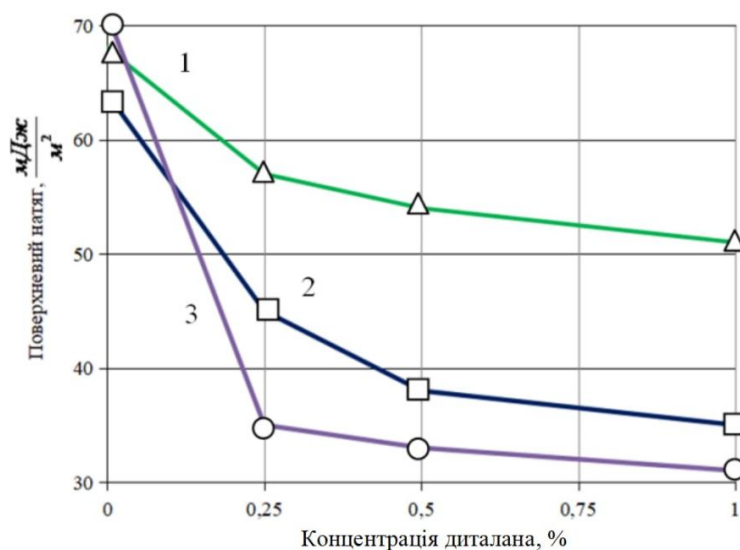


Рисунок 4.8 – Залежності поверхневого натягу бурових розчинів від концентрації диталану: 1 – силікатний розчин; 2 – силікатно-гуміновий розчин; 3 – водний розчин.

Результати експериментальних досліджень, що представлені на рис. 4.9 показують, що добавки реагента неонолу (із робочою концентрацією, яка не перевищує 1%) до силікатних і силікатно-гумінових розчинів, знижують їх поверхневий натяг, відповідно до 30,8 і 37,2 мДж/м².

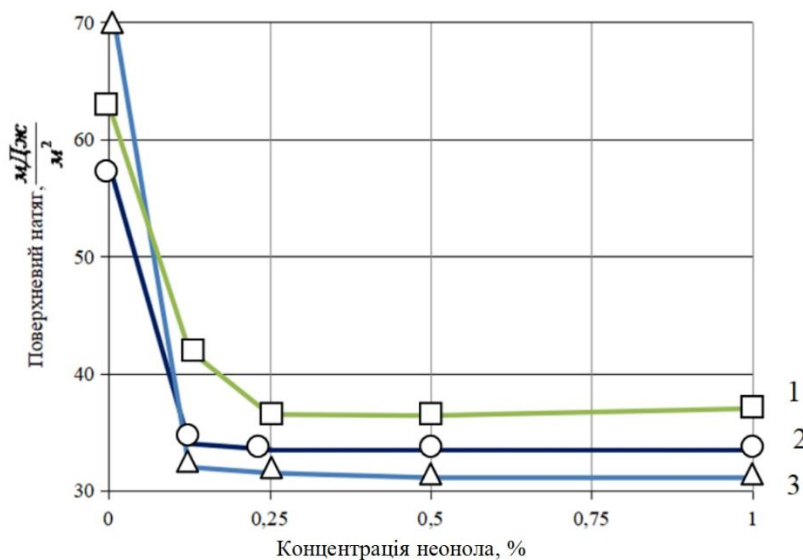


Рисунок 4.9 – Залежності поверхневого натягу бурових розчинів від концентрації неонолу: 1 – силікатно-гуміновий розчин 2 – водний розчин; 3 – силікатний розчин

Таким чином, встановлено, що добавки превацелу, КАУФЕ, диталану і неонолу не змінюють параметрів силікатних і силікатно-гумінових розчинів, але зменшують їх поверхневий натяг, що призводить до збільшення швидкості проходки свердловин гідромоніторним способом за рахунок надавання цим розчинам структурних властивостей; крім того, застосування вказаних бурових розчинів сприятиме підтриманню стінок геотехнологічних свердловин в стійкому стані без проведення їх кріплення обсадними трубами.

Позначимо, що застосування деяких неіоногенних ПАР (а саме ОП-7 і ОП-10) в кількості до 0,5% (за об'ємом) викликає певне збільшення в'язкості бурових розчинів гідрослюдистої глини і бентоніту [26].

Для бурових розчинів з каолінітових глин коагуляція під впливом реагента ОП-7 проявляється помітно слабкіше, ніж у гідрослюдистих. Коагуляції бурових глинистих розчинів під впливом ОП-7 можна запобігти керованою обробкою

спеціальними хімічними реагентами: пірофосфат натрію, вуглелужний реагент (ВЛР). Хімічний вплив вуглелужного реагента на буровий розчин можна пояснити тим, що він дещо збільшує заряд глинистих частинок і викликає достатньо інтенсивну стабілізацію розчинів. Реагент ОП-7 (тобто неіоногенна ПАР) не змінює заряд глинистих частинок, проте він, адсорбуючись на їх поверхні, дещо підсилює активність взаємодії поверхні глинистих мінералів. Саме через активний прояв коагуляції бурових глинистих розчинів під впливом ОП-7 його рекомендується застосування тільки за умови попередньої обробки бурових глинистих розчинів активними стабілізаторами, такими як ВЛР (його доцільно застосовувати при відсутності мінералізації пластових вод), пірофосфат натрію, а також окислений лігнін і карбоксиметилцелюлоза (КМЦ) [27].

Широко застосовуваний катіоноактивний ПАР – катапін, викликає достатньо інтенсивну коагуляцію бурових глинистих розчинів, незалежно від мінералогічного складу застосовуваних глин. У всіх означених випадках, при додаванні реагента катапіну, показники в'язкості і водовіддачі різко збільшуються. Доволі інтенсивна коагуляція, що викликається катапіном, змушує дуже обережно підходити до його застосування при обробці глинистих розчинів [28].

Доволі значного поширення в практиці спорудження свердловин [29] набули аніоноактивні ПАР. При додаванні означених реагентів до глинистого розчину, а саме 0,01 - 0,03% сульфону, зменшується його в'язкість і статична напруга зсуву. Для обертального механічного буріння важливим є те, що також зменшується коефіцієнт тертя при обертанні колони бурильних труб. Показане явище може з успіхом бути використано для запобігання затяжок бурильної колони і зменшення можливості її прихватів в потужних глинистих товщах. Проте при високих температурах (які складають близько 120⁰С) добавки сульфону помітно збільшують в'язкість і статичну напругу зсуву глинистих бурових промивальних рідин. В означеному випадку добавка сульфону разом із рідким склом буде призводити до розрідження бурового розчину і деякого зниження водовіддачі. Достатньо позитивні результати хімічної обробки бурових розчинів були отримані при введенні в буровий розчин 0,2 - 0,3% сульфону і 0,5 - 0,1% рідкого скла.

При додаванні до бурових рідин 1,5 - 2,0 % сульфату і етансульфонату целюлози забезпечується стійкість, до негативного впливу свердловинних умов, прісних мінералізованих розчинів з неглинистих порід та підвищується їх термостійкість. Бурові розчини, оброблені сульфатом целюлози, достатньо стійкі до негативного впливу мінералізованих підземних вод. Завдяки ефективній хімічній дії цих реагентів, достатньо легко регулюється в'язкість обважнених бурових розчинів, і при цьому різко зменшується витрата реагентів-обважнювачів і їдкого натру. До інших реагентів, що застосовуються для обробки термостійких бурових розчинів, є неіоногенні ПАР – поліоксіетильований фенол і монооксіетильований алкіл фенол [30].

Спираючись на отримані експериментальні дані, можна зробити висновок про те, що добавки ПАР до бурової промивальної рідини можуть як покращувати, так і погіршувати структурно-механічні властивості, що потрібно враховувати при розробці гідравлічної програми промивання геотехнологічних свердловин. Слід позначити, що процентний вміст розглянутих ПАР в бурових промивальних рідинах повинен бути цілком визначеним і відповідати геолого-технічним умовам спорудження геотехнологічних свердловин [31].

4.2 Промивка геотехнологічних свердловин в складних гірничо-геологічних умовах

Ефективна підтримка стінок свердловини від обвалення гірських порід є одним з основних завдань, які потрібно вирішувати при спорудженні геотехнологічних свердловин. Показна нестійкість стовбура свердловин може проявлятися по різному: м'які пластичні гірські породи видавлюються в стовбур свердловини, обвалюються і обсипаються; тверді та крихкі гірські породи схильні до свого обвалення під дією знакозмінних статичних і гідродинамічних навантажень. Усе перелічене закономірно призводить до суттєвого збільшення поперечного розміру стовбура свердловини, утворення пробок і заповнення окремих уширених інтервалів свердловини породою під час виконання спуско-підіймальних

операцій. Перелічені ускладнення, особливо у випадку спорудження геотехнологічних свердловин, сильно впливають на тривалість і вартість спорудження свердловин [32].

У процесі буріння свердловин різного призначення кількість поверхнево-активної речовини в буровому розчині поступово зменшується за рахунок явища адсорбції такої речовини на гірських породах, продуктах руйнування гірських порід (буровому шлам) та глинистих частинках [33]. Через зазначене значно знижується ефективність дії поверхнево-активної речовини, як понижувача твердості, стабілізатора стійкості стінок свердловини, структуроутворювача при реалізації геотехнологічних методів буріння [34]. Саме тому періодично необхідно вимірювати концентрацію ПАР у розчині та, додаючи до нього новий буровий розчин, підтримувати необхідну концентрацію ПАР.

Проводити оцінку рівня вмісту поверхнево-активної речовини у виробничих умовах зручно проводити за ізотермою, періодично вимірюючи величину поверхневого натягу фільтрату бурового розчину для промивання відомим та апробованим сталагмометричним методом [35].

В якості практичної рекомендації можна зазначити, що в тому випадку, коли буровий розчин має значну умовну в'язкість і не фільтрується через сітчастий фільтр, зручно отримати фільтрат бурового розчину за допомогою відомого приладу ВМ-6. Можна також застосовувати метод вимірювання поверхневого натягу за допомогою пружинних ваг (так званий метод відриву кільця), що дозволяє аналізувати нефільтровану бурову промивальну рідину.

Практична методика визначення потрібної кількості ПАР, що підлягає додаванню до бурової промивальної рідини, а також конкретний порядок роботи при визначенні концентрації ПАР достатньо докладно описані у відповідній лабораторній і виробничій літературі. Прийнята до широкого застосування методика достатньо добре себе зарекомендувала під час проведення досліджень щодо визначення впливу поверхнево-активних речовин на швидкість буріння свердловин [36].

При взаємодії породоруйнівного інструменту (або активного струменя) з гірською породою поряд із закономірним відділенням окремих частинок гірської породи від масиву також утворюється зона, в якій активно розвивається макро-і мікротріщинуватість. В цьому випадку під мікротріщиною розуміють такі позитивні деформаційні порушення, відстань між берегами яких має розміри потрібного молекулярного порядку. Вказані тріщини, після зняття прикладеного навантаження стуляються і, таким чином, робота, яка була витрачена на їх утворення, зовсім не використовується для руйнування гірських порід [37].

Проте при адсорбції ПАР на поверхнях розглянутих мікротріщин проявляється явище запобігання змиканню їх берегів і вони зберігаються розкритими навіть після зняття навантаження [38].

Розгляд позитивного механізму полегшення деформацій і зниження міцності тіла (в даному випадку гірської породи), що деформується, під впливом проникнення адсорбційних, а також так званих сольватних шарів молекул або іонів з навколишньої рідини (бурових розчинів) в мікротріщини, які розвиваються, присутні наступні чинники [39]:

1. Певне екранування сил зчеплення, що мають місце між протилежними поверхнями зародкових мікрощілин за допомогою прошарків, утворених окремими адсорбційними шарами; вказане екранування присутнє тоді, коли адсорбційні шари активно проникають у зародкові ділянки мікрощілин, в яких ще продовжують діяти достатньо значні молекулярні сили зчеплення між окремими шарами гірської породи, що піддається руйнівному впливу.

2. Специфічна розсувна дія адсорбційних прошарків у всіх найвужчих ділянках утворених мікрощілей, куди означені прошарки можуть проникати.

3. Деяке уповільнення процесу змикання зародкових ділянок утворених мікрощілин під впливом сформованих адсорбційних шарів та сольватних плівок активованої ПАР промивальної рідини після зняття прикладених зовнішніх зусиль. Вказана важлива обставина набуває свого особливого значення при повторному, наприклад, періодичному прикладанні руйнівних зусиль.

Присутнє на вибої свердловини поверхнево-активне середовище істотно впливає на характер деформації і процес руйнування твердих тіл головним чином на околицях гострих (тобто тупикових) кінців тріщин, що розвиваються з певною швидкістю. У вказаних областях твердого тіла (гірської породи) адсорбційний вплив наявного середовища призводить до значної зміни ефективної поверхневої енергії, що і обумовлює помітну зміну властивостей міцності деформованого твердого тіла і, зокрема, гірської породи.

Таким чином, отримувана величина адсорбційного ефекту зниження міцності твердого тіла буде суттєво залежати від температури взаємодіючих фаз, природи та інтенсивності присутнього напруженого стану, хімічного складу контактуючих фаз, структури та форми пористості полікристалічного тіла, кінетики процесу деформацій та часу дії розглядуваного напруженого стану.

Доведено, що найбільші адсорбційні ефекти будуть мати місце тоді, коли новоутворені поверхні, що закономірно виникають у процесі руйнування, встигають достатньо щільно покритися адсорбційними шарами, при сприятливих для процесу адсорбції механічних умовах руйнування [40]. Таким чином, тепер стає ясным, що існуючі питання про наявність і значення прояву ефекту адсорбційного зниження міцності пов'язані з тим питанням, якою мірою адсорбційні шари ПАР з навколишнього циркуляційного середовища встигають проникнути в дефекти, що постійно розвиваються (мікротріщини), покриваючи певним чином утворені в них нові поверхні твердого тіла (гірської породи) [41].

4.3 Використання хімічної обробки при створенні раціональних умов очищення геотехнологічних свердловини від продуктів руйнування

Наявна практика виконання бурових робіт доводить, що присутність у зоні контакту з гірською породою промивальної рідини певних хімічних і фізичних властивостей, або її фільтрату, викликає фізико-хімічні процеси на межі розділу означених фаз, а саме: різні осмотичні явища, поверхневу гідратацію, процеси розчинення, капілярне проникнення тощо [42].

Науковцями НТУ «Дніпровська політехніка» запропоновано та випробувано різні рецептури бурових промивальних рідин, призначених для спорудження свердловин в нестійких гірських породах, які в переважній більшості присутні в геологічних розрізах геотехнологічних свердловин. Основою проведених досліджень слугували лабораторні і промислові відомості щодо застосування наступних типів бурових промивальних рідин [43].

Промивальні рідини, що містять в певній кількості в якості активного реагента хлористий кальцій (CaCl_2), причому хімічна дія таких бурових промивальних рідин визначається, загалом, здатністю присутніх іонів кальцію вступати у позитивну взаємодію з породами розповсюдженого глинистого комплексу і викликати їх активну коагуляцію, в результаті чого значно підвищується зв'язність і знижується ефект прояву явища набрякання означених гірських порід. Вказаний процес носить об'ємний характер із супутнім утворенням певних конденсаційно-кристалізаційних структур, які достатньо ефективно зміцнюють стінки споруджуваної свердловини. При вказаній взаємодії іонів кальцію досліджуваних розчинів з глинистими гірськими породами має важливе значення також і швидкість протікання їх адсорбції, тобто, чим швидше триватиме процес адсорбування іонів кальцію, тим швидше настане коагуляційне зміцнення перебудованих глинистих порід. Необхідно обов'язково підкреслити, що швидкість ефекту адсорбції закономірно зростає при підвищенні рН бурового розчину, тому обов'язковим компонентом доволі високоякісних хлоркальцієвих розчинів повинно бути вапно.

Промивальні рідини, що мають за основу ФХЛС (ферумхромлігносульфонат), який в хімічному відношенні являє собою специфічний полімер нерегулярної будови [44]; в цьому реагенті хром і залізо знаходяться в тривалентному стані, а крім того, вони також пов'язані в макромолекулі лігносульфонату у вигляді певних складних комплексів [45].

На основі класифікованого ФХЛС розроблена рецептура промивальної рідини і лабораторно досліджено її основні технологічні властивості (табл. 4.2).

Проведені лабораторні дослідження стійкості зразків гірської породи, виготовлених з натурних кернів аргілітів і алевролітів в пропонованих

промивальних рідинах, дали позитивні результати, тобто зразки досліджуваних гірських порід не розмокали більш ніж після 48 годин витримки у відповідних промивальних рідинах, в той час як у воді процес набрякання відбувався протягом 30 хв. Крім того, запропоновані до застосування промивальні рідини, оброблені ФХЛС, є достатньо стійкими по відношенню до солей кальцію та інших полівалентних металів (це говорить про їх позитивну стійкість до впливу високо-мінералізованих ґрунтових вод, що обов'язково мають місце в геологічних розрізах геотехнологічних свердловин).

Таблиця 4.2 – Компонентний склад пропонованих промивальних рідин на основі ФХЛС та їх основні технологічні показники

№ з/п	Назва технологічного показника досліджуваної промивальної рідини	Одиниця вимірювання	Компонентний склад промивальної рідини, у %	
			ФХЛС - 2% рідке скло (силікат натрію - 2%, сульфатне мило - 1,5%, вода – інше)	ФХЛС - 4% рідке скло (силікат натрію - 3%, сульфатне мило - 2%, вода – інше)
1	Густина (за ареометром АГ-3ПП)	кг/м ³	1050	1050
2	Умовна в'язкість (за віскозиметром СПВ-5)	с	15	16
3	Водовіддача (за приладом ВМ-6)	см ³ за 30 хв.	7	4
4	Товщина фільтраційної кірки	мм	відсутня	відсутня
5	Статична напруга зсуву (за пластометром СНС-2)	мГс/см ²	0	0

Промивальні рідини, що мають у своєму складі поліакрилі, а саме ГПАН (гідролізований поліакрилонітрил), цей реагент є продуктом хімічного омилення поліакрилонітрилу каустиком. Пропоновані до застосування акрилові полімери дозволяють створювати так звані безглинисті промивальні рідини, які відрізняються достатньо низькою величиною водовіддачі і володіють необхідними структурно-механічними властивостями. Проте основним недоліком пропонованих промивальних рідин є їх достатньо висока вартість і певна чутливість до солей кальцію та інших полівалентних металів, обов'язково присутніх у пластових водах свердловин геотехнологічної групи. Саме тому, для деякого зниження вартості

промивальних рідин і отримання для них необхідних властивостей у відношенні протистояння впливу солей кальцію та інших полівалентних металів в якості акрилового полімеру був узятий ГШАН, а для деякого зниження його витрати в промивальні рідини додатково уведена бентонітова глина і ВЛР (вуглелужний реагент). В результаті встановлено, що при запропонованій спільній хімічній обробці проявляється так званий синергетичний ефект і досягається достатньо високий ступінь стабілізації системи. Вказане особливо важливо при наявності жорстких вод геологічних розрізів геотехнологічних свердловин [46]. В результаті проведених лабораторних досліджень рекомендовано наступний склад багатокомпонентної промивальної рідини (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Рецептатура та основні технологічні властивості багатокомпонентної промивальної рідини на основі ГШАНу

№ з/п	Технологічний показник досліджуваної ПР	Одиниця вимірювання	Склад ПР, у % глина 3 - 5%; ГШАН (10% розчин) 0,2 - 0,5%; ВЛР 1 - 2%; вода – інше
1	Питома вага (за АГ-3ПП)	кг/м ³	1020 - 1050
2	Умовна в'язкість (за СПВ-5)	с	25
3	Водовіддача (за ВМ-6)	см ³ за 30 хв.	6 - 5
4	Товщина фільтраційної кірки	мм	менш 1 мм
5	Статична напруга зсуву (за СНС-2)	мГс/см ²	$\theta_1=4,23$; $\theta_{10}=4,55$

У повній відповідності до викладеного вище, у лабораторно-виробничих умовах встановлено, що для обробки 1 м³ багатокомпонентного глинистого розчину з умовною в'язкістю 25 с, необхідно 0,01 - 0,02 м³ ВЛР і 0,002 - 0,005 м³ ГШАНу; запропонована хімічна обробка дозволяє отримати промивальні рідини з технологічними параметрами, близькими до зазначених в табл. 4.3.

Необхідно позначити, що застосовувані в практиці спорудження свердловин промивальні рідини різного призначення повинні відповідати важливим додатковим технологічним вимогам, а саме: мати достатньо низький поверхневий натяг і задовільні мастильні властивості; знижувати гідравлічні опори (ця обставина є першочерговою у забезпеченні раціональності процесу свердловинного

гідровидобутку за допомогою гідромоніторного буру); ефективно попереджати обвали та осипання стінок свердловини (характерні для геотехнологічних свердловин), а також не утворювати рихлу кірку глинистого матеріалу на її стінках [47].

Спрямоване застосування промивальних рідин із скеровано поліпшеними структурно-механічними властивостями в процесах буріння (а геотехнологічних – також і при їх експлуатації) свердловин неможливо без попередніх лабораторних досліджень наслідків прояву таких факторів, що обумовлюють рух рідин та стосуються фізико-хімічних властивостей гірських порід, коливань свердловинного тиску і багатьох інших обставин [48].

Головною відмітною властивістю поверхнево-активних речовин є те, що, сприяючи збільшенню швидкості буріння, вони одночасно знижують рівень гідравлічних втрат при прокачуванні рідини. Вказаний фактор важливий тим, що дозволяє підвищити інтенсивність ведення робіт при геотехнологічних методах освоєння родовищ корисних копалин. Для досягнення позначених факторів необхідно прагнути до істотного зниження поверхневого натягу промивальних рідин, відповідно до чого проведено дослідження поверхневого натягу водних розчинів ПАР (табл. 4.4). Поверхневий натяг вимірювали широко застосовуваним сталагмометричним способом, як найпростішим і досить точним. Перед початком вимірювань було проведено відповідне калібрування приладу, для чого використовуваний сталагмометр закріплювали вертикально на жорсткому штативі, визначали температуру досліджуваної рідини, здійснювали не менше п'яти вимірів кількості крапель і знаходили середнє арифметичне значення [49].

Таблиця 4.4 – Поверхневий натяг розчинів поверхнево-активних речовин, розчинних у воді

№ з/п	Досліджувана речовина (ПАР)	Поверхневий натяг (мДж/м ²) при концентрації, %				
		0,125	0,25	0,5	1,0	2,0
1	«Прогрес»	42,8	36,2	31,7	30,4	30,4
2	Сульфонол	34,2	30,8	30,4	29,6	29,6
3	Диталан	42,3	38,2	36,6	35,0	35,0
4	КАУФЕ	40,3	37,6	36,3	36,3	36,3

Також проведено дослідження результатів застосування неіоногенних ПАР (ОП-7 та ОП-10) для обробки глинистих розчинів на основі низькоякісних глин у кількості 0,5% до об'єму. Дослідження показали, що застосування означених реагентів викликає істотне збільшення в'язкості розчинів гідрослюдистої глини та асканського бентоніту. У розчинах каолінітових глин коагуляція, що відбувалася під впливом ОП-7, виявилася слабшою, ніж у гідрослюдистих. Коагуляції глинистих розчинів під впливом ОП-7 можна запобігти обробкою хімічними реагентами (пірофосфатом натрію, вуглелужним реагентом). Так, розчини ігуменської глини, що містять 20% вуглелужного реагенту (ВЛР), зберегли стабільність при додаванні 0,3% ОП-7. В'язкість і водовіддача їх не змінювалася. Відповідно до припущень, дія вуглелужного реагента пояснюється тим, що він збільшує заряд глинистих частинок і викликає інтенсивну стабілізацію розчинів. Реагент ОП-7, будучи неіоногенним ПАР, не змінює заряду глинистих частинок, але, адсорбуючись з їхньої поверхні, посилює активність дії поверхні глинистих мінералів. Отже, внаслідок коагуляції глинистих розчинів під впливом ОП-7 рекомендувати його застосування доцільно лише за умови обробки активними стабілізаторами, такими як вуглелужний реагент (там, де відсутні мінералізовані пластові води) та пірофосфат натрію. Добавки окисленого лігніну та КМЦ до глинистих розчинів також захищають їх від коагулюючої дії ОП-7 та ОП-10 [50].

Бурові промивальні рідини [51] відносяться до колоїдних систем, які характеризується стабільністю, тобто явищем, коли всі частинки її твердої фази утримуються у стійкому зваженому стані. Таким чином, чим стабільніший глинистий розчин, тим вище його здатність утримувати зруйновані бурінням частинки породи. Добавки певних хімічних реагентів, залежно від їх концентрації, можуть збільшувати або зменшувати стабільність бурового розчину. Стійкість структури досліджуваного глинистого розчину була визначена за кількістю вільної води, що відокремилася від глинистого розчину, в пробірці ємністю 100 см³ через 24 години нерухомого стану.

Дослідженню також був підданий вплив аніонактивних ПАР – на прикладі реагента сульфонолу та неіоногенних – на прикладі реагента превацелу, на стійкість

структури промивальних рідин з бентонітових та дружківських глин, а також крейдяного бурового розчину. Добавки означених поверхнево-активних речовин помітно змінюють стійкість досліджених колоїдних систем, добовий відстій збільшується від 2 - 4 до 14 - 16 см³.

Застосування полімерів для руйнування породи (як у гідромоніторних установках) посилює ефект впливу струменя води за рахунок підвищення густини та в'язкості рідини. Це дозволяє збільшити швидкість ерозії породи без необхідності значного збільшення швидкості потоку. Залежно від типу породи та концентрації полімеру, швидкість рідини може бути нижчою, ніж для звичайної води, оскільки полімерна добавка покращує проникнення та зчеплення струменя з породою.

Щоб зруйнувати породу з використанням води з полімером орієнтовні швидкості можуть бути такими:

- для м'яких та середніх порід (глина, вапняк), бурого вугілля: $V \approx 5 - 15$ м/с;
- для твердих порід, коксівного вугілля, антрациту: $V \approx 20 - 60$ м/с.

Полімер підвищує ефективність розмиву, особливо для тріщинуватих і пористих порід. Конкретні значення необхідної швидкості залежать від концентрації полімерного розчину, тиску у системі і показників самої породи.

Для розрахунку швидкості води з полімером, необхідної для руйнування породи, можна використовувати модифіковану формулу швидкісного напору, зважаючи на в'язкість і щільність полімерного розчину:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma}{\rho_{\text{п}}}} \quad (4.1)$$

де V - необхідна швидкість води (м/с); σ - межа міцності гірської породи на розмив або ерозію (Па); $\rho_{\text{п}}$ - густина полімерного розчину (кг/м³).

Для більш точного розрахунку ефекту полімерної добавки іноді використовують коефіцієнт корекції K , що враховує в'язкість розчину:

$$V = K \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma}{\rho_{\text{п}}}} \quad (4.2)$$

Коефіцієнт K може бути в діапазоні від 0,8 до 1,5 залежно від типу та концентрації полімеру (сильне збільшення в'язкості може знизити швидкість, але

підвищити ефект розмиву). Значення K підбирається емпірично для кожного конкретного полімеру та завдання, оскільки воно залежить від природи взаємодії розчину з породою [32].

Коефіцієнт K залежить від концентрації розчину ПЕГ, його молекулярної маси та умов роботи (наприклад, температури). ПЕГ часто використовується у вигляді водних розчинів, і його вплив на в'язкість може бути значним. У загальному випадку коефіцієнт K для ПЕГ можна підібрати таким чином:

- для низьких концентрацій ПЕГ (до 5%): $K=1.0-1.1$ (вплив на в'язкість незначний, і необхідна швидкість потоку майже така сама, як у води);
- для помірних концентрацій ПЕГ (5-15%): $K=1.1-1.3$ (в'язкість розчину збільшується і потрібна менша швидкість для аналогічного ефекту руйнування);
- для високих концентрацій ПЕГ (15-30%): $K=1.3-1.5$ (в'язкість розчину істотно збільшується і ефективність розмиву зростає за рахунок поліпшеного зчеплення струменя з породою, тому потрібна помітно менша швидкість).

Необхідно також зазначити таку важливу обставину: оскільки стійкість колоїдних систем значно змінюється при додаванні до них добавок ПАР, досліджено вплив таких добавок ПАР на швидкість седиментації уламків вибурених гірських порід у обробленому глинистому розчині [52].

Для проведення лабораторних досліджень були приготовлені зразки глинистих розчинів з бентонітового порошку та дружківської глини, а також крейдяний розчин; у глинистий розчин на бентонітовій основі, необроблений ВЛР, умовної в'язкості 22 с, питомої ваги 1.16 г/см^3 і з водовіддачею 23 см^3 за 30 хв, доданий сульфонал, у концентрації до 1%. Приготовлений розчин штучно збагачувався твердою фазою 10% від ваги розчину. В якості твердої фази застосовано фракцію промитого шламу з жолобів споруджуваних свердловин, він ідентичний, отримуваному з геотехнологічних свердловин. Після проведення ретельного перемішування бурового розчину та шламу гірських порід до суміші додавалася технічна вода у співвідношенні чотири частини бурового розчину та одна частина технічної води за об'ємом. Після проведення повторного ретельного перемішування здійснювали вимірювання кількості осілої твердої фракції в мірних

циліндрах через 3, 5, 10, 30 хвилин, 1 годину, 4 години і 24 години. Кожне значення – середнє із двох проб як із добавкою ПАР, так і без додавання ПАР. Дослідження проведені із застосуванням аніоноактивних поверхнево-активних речовин – сульфону та неіоногенних – превацелу [53].

Усереднені дані щодо впливу добавок ПАР на швидкість седиментації вибурених частинок породи в промивальних рідинах наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Характеристика седиментації вибурених частинок породи в промивальних рідинах

Найменування бурового розчину	Вид та концентрація ПАР	Кількість осаду, %						
		3 хв.	5 хв.	10 хв.	30 хв.	1 год.	4 год.	24 год.
Глинистий розчин з бентоніту	Без ПАР	2,5	4,0	4,5	5,0	5,6	6,7	7
	1% сульфону	3,0	5,0	6,5	7,0	7,5	8,5	10
	1% превацел	3,2	5,3	6,7	7,2	7,7	8,6	10
Глинистий розчин з дружківських глин	Без ПАР	3,2	4,2	5,5	6,0	7,0	7,0	7,8
	1% сульфону	5	6,7	8,0	9,0	9,0	9,0	10
	1% превацел	5,1	6,7	8,1	8,9	9,0	9,1	10
Крейдяний розчин	Без ПАР	3,6	4,4	5,6	6,2	7,1	7,2	7,9
	1% сульфону	5,2	6,8	8,1	9,2	9,2	9,3	10
	1% превацел	5,2	6,1	8,0	9,1	9,2	9,2	10

На рис. 4.10 та 4.11 показана наочна графічна інтерпретація швидкості випадання в осад твердої фракції глинистого бурового розчину при добавках до нього ПАР сульфону та превацелу в робочій концентрації до 1%.

Відповідно до представлених даних на рис. 4.10 та 4.11 швидкість седиментації вибурених частинок гірської породи різних фракційних складів, при добавках ПАР до бурових глинистих розчинів, досить помітно зростає.

На рис. 4.12 показана наочна графічна інтерпретація швидкості випадання в осад твердої фракції крейдяного бурового розчину при добавках до нього ПАР сульфону та превацелу в робочій концентрації до 1%.

Наведені на рис. 4.12 значення швидкості седиментації вибурених частинок гірської породи різних фракційних складів при добавках ПАР до крейдяних розчинів свідчать про вплив ПАР на поведінку досліджуваних промивальних рідин, причому треба звернути увагу і на те, що отримана графічна залежність майже ідентична тій, що зображена на рис. 4.11.

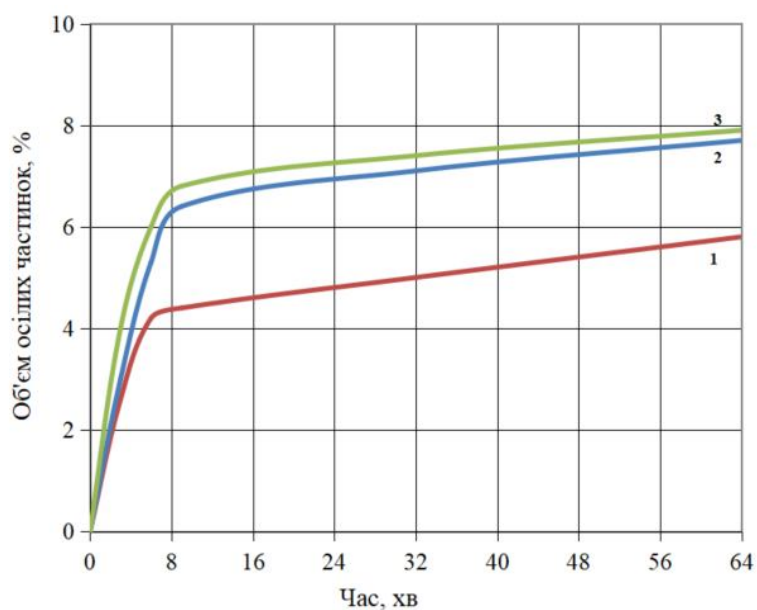


Рисунок 4.10 – Вплив ПАР на швидкість седиментації твердих частинок у бурових розчинах з бентоніту: 1 – без ПАР; 2 – з добавкою сульфоналу; 3 – з добавкою превацелу

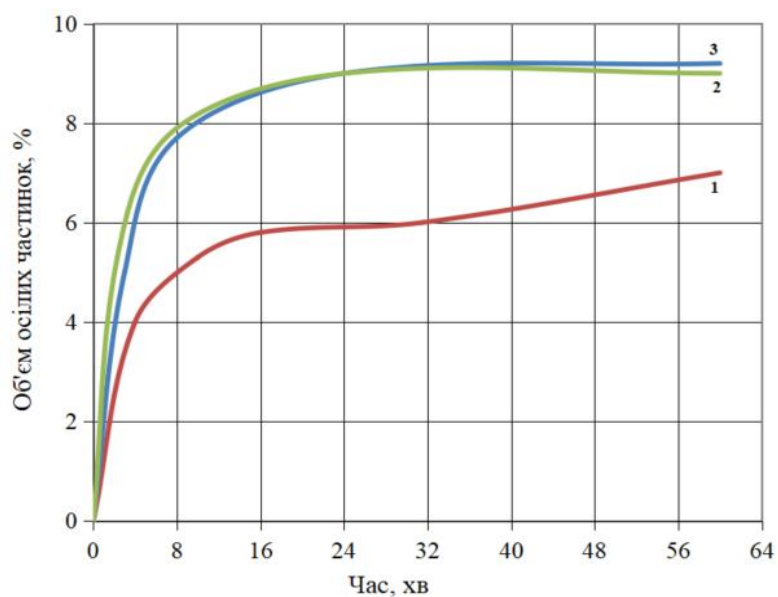


Рисунок 4.11 – Вплив ПАР на швидкість седиментації твердих частинок у бурових розчинах з дружківських глин: 1 – без ПАР; 2 – з добавкою сульфоналу; 3 – з добавкою превацелу

У результаті виконаних робіт доведено необхідність детального вивчення впливу окремих ПАР на властивості бурових промивальних рідин також і в розрізі їх взаємодії із вибуреною фазою (продуктами руйнування гірських порід геотехнологічних свердловин).

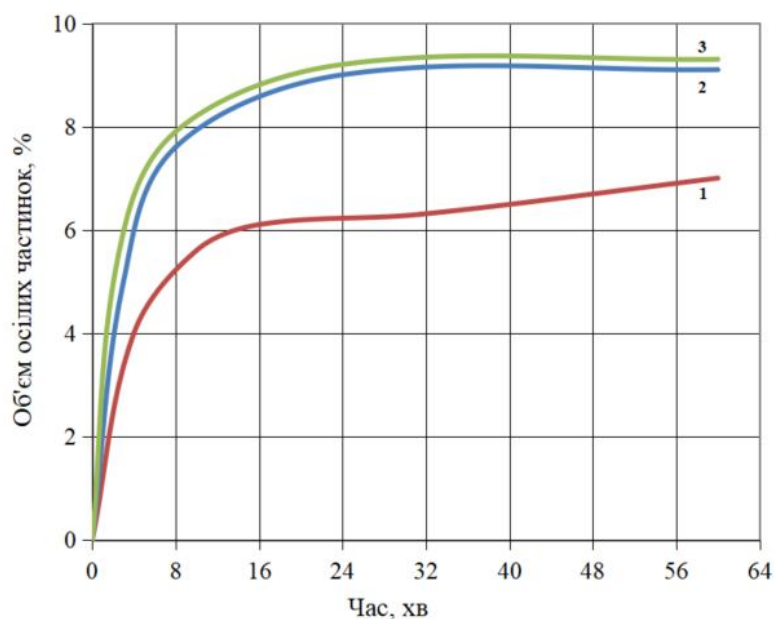


Рисунок 4.12 – Вплив ПАР на швидкість седиментації твердих частинок у бурових крейдових розчинах: 1 – без ПАР; 2 – з додаванням сульфанола; 3 – з додаванням превацелу

Відповідно до експериментальних даних проведених досліджень, катіоноактивні ПАР інтенсивно гідрофобізують тверді поверхні, звідки ті з них, які утворюють з водою колоїдні в'язкі розчини, рекомендується застосовувати в якості добавки до технічної води, що може бути дієвим прийомом для надійного запобігання попаданню води в мікротріщини гірських порід із метою збереження стійкості свердловин, що є корисним при спорудженні геотехнологічних свердловин в нестійких гірських породах [54].

Прийняті до застосування аніоноактивні ПАР при своїй іонізації в бурових глинистих розчинах утворюють поверхнево-активні аніони, що мають достатньо високу молекулярну вагу, і катіони, найчастіше певного неорганічного походження. До названих аніоноактивних речовин відносять такі хімічні речовини: алкілсульфати, алкілсульфонати, карбонові кислоти, ефіри, фосфорної, поліфосфорної кислот та ін. Позначені аніоноактивні ПАР набули достатньо широкого поширення на практиці, тому вплив багатьох вказаних речовин на властивості бурових промивальних рідин частково вивчено.

Так добавки сульфанола до бурових глинистих розчинів дещо зменшує їх в'язкість та статичну напругу зсуву. У глинистих бурових розчинах із бентонітових

глин сульфонал сприяє деякому піноутворенню, а також стабілізує структурно-механічні властивості.

Додавання до бурових глинистих розчинів сульфонатрієвих солей не викликає активної коагуляції глинистих розчинів при цьому спостерігається їх помітна стабілізація. До прикладу в суспензіях бентоніту в технічній воді помітно збільшується умовна в'язкість без істотної зміни показника водовіддачі. У бурових розчинах з каолінітової глини спостерігається достатньо різке зниження умовної в'язкості та водовіддачі. Наявна фізико-хімічна природа дії означеної хімічної сполуки на суспензії глин полягає у певній стабілізації глинистих частинок завдяки збільшенню їх заряду та зміні складу обмінних катіонів іоногенного комплексу глини [55].

Таким чином, аналізовані аніоноактивні ПАР не погіршують якості бурових глинистих розчинів. Достатньо позитивний вплив добавок на властивості бурових глинистих розчинів та незначна адсорбція на глинах дозволяють рекомендувати аніоноактивні ПАР для обробки бурових глинистих розчинів. Виявлений негативний вплив деяких аніоноактивних ПАР, при певних концентраціях, на контрольовані технологічні властивості бурових глинистих розчинів вимагає дослідження їх впливу на бурові глинисті розчини, приготовані з глини різного мінералогічного складу [56].

Використовувані неіоногенні ПАР у водному розчині не дисоціюють на іони, але вони володіють певним колоїдним характером і доволі значною поверхневою активністю, що пояснюється своєрідною хімічною будовою молекул позначених активних речовин [27].

Умовна в'язкість виступає основним параметром бурових промивальних рідин; саме вказаний показник визначає ступінь проникнення промивальної рідини в пори та тріщини гірських порід, а також величину гідравлічних опорів у циркуляційній системі свердловини (вказане набуває особливого значення при реалізації геотехнологічних методів гідравлічного видобутку); із зростанням в'язкості значно погіршуються умови очищення свердловини від шламу та знижується механічна швидкість буріння (рис. 4.13).

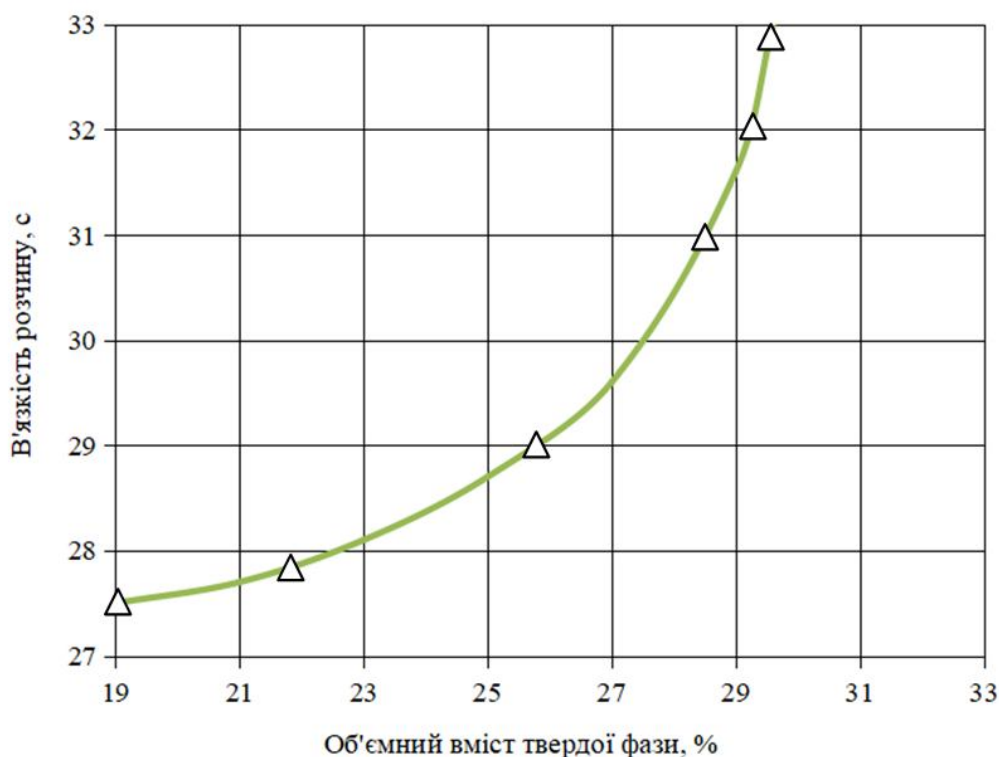


Рисунок 4.13 – Залежність умовної в'язкості промивальної рідини від вмісту твердої фази

Відповідно до викладеного, умовна в'язкість промивальних рідин повинна підтримуватися на мінімально потрібному рівні, але в процесі буріння відбувається збагачення бурової промивальної рідини твердою фазою, внаслідок чого умовна в'язкість промивальної рідини є функцією не лише вмісту твердої фази в буровій промивальній рідині, але і її фракційного складу. Позначений процес потрапляння твердої фази у буровий промивальний розчин призводить до збільшення також і густини промивальної рідини. Вказане небажано, оскільки збільшення густини призводить до невиправданого зростання гідростатичного тиску, що, своєю чергою, викликає суттєве підвищення витрат енергії.

Необхідно зазначити, що з метою визначення раціонального складу бурових розчинів було проведено лабораторно-промислові дослідження у відповідних умовах [25]. Результати вказаних досліджень були враховані при розробці рецептури глинистих розчинів для буріння різних типів свердловин, в тому числі досліджуваних геотехнологічних.

4.4 Екологічний, економічний та соціальний ефекти при впровадженні геотехнологічних свердловинних методів розробки родовищ

Дати комплексу оцінку результативності впровадження нових технічних і технологічних рішень дозволяє розгляд їх екологічних, економічних та соціальних наслідків.

Екологічний ефект при свердловинному видобутку корисних копалин буде доцільно здійснити на підставі порівняння з відкритим і підземним способами [57]. Свердловинний видобуток, як і відкритий та шахтний, може призводити до забруднення підземних водних ресурсів хімічними речовинами або токсичними елементами, однак нами запропоновані технологічні заходи, такі як застосування спеціальних промивальних рідин, суттєво зменшують цей ризик. Викиди в атмосферу пилу, газів, продуктів згоряння незрівнянно малі в співставленні з розробкою родовищ корисних копалин відкритим і підземним способами та проявляються виключно в необхідності використання в якості силового приводу бурового обладнання дизельних двигунів. Вони можуть бути ще зменшені за рахунок застосування електричного приводу силових агрегатів бурової установки із живленням від електричної мережі.

Важливою перевагою свердловинного геотехнологічного видобутку є мінімальний вплив на ландшафт, оскільки свердловини займають значно меншу площу порівняно з кар'єрами або шахтами [58]. Через те, що свердловини займають менше площі, прямий вплив на біорізноманіття є також суттєво меншим. Масштабною є також наступна перевага геотехнологічних методів, а саме: рекультивація та відновлення території після свердловинного видобутку менш затратні, оскільки площа, яку потрібно рекультивувати, є значно меншою.

Соціальний ефект від свердловинного видобутку корисних копалин у порівнянні з відкритими і шахтними розробками також має свої специфічні характеристики. Свердловинний видобуток, на відміну від шахтних та відкритих гірничих робіт, які вимагають великої кількості робочої сили, потребує меншої кількості працівників через те, що процес буріння свердловин та наступного

видобутку з них автоматизований і технічно більш ефективний, отже для обслуговування свердловин потрібні кваліфіковані працівники, а також спеціалісти з технічного обслуговування (це може створювати додаткові робочі місця).

Умови праці на свердловинах можуть бути менш важкими фізично і більш безпечними, оскільки робота здебільшого здійснюється за допомогою машин і автоматизованих систем. При цьому, зазвичай, робітники не знаходяться в безпосередньому контакті з небезпечними умовами на глибині, що зменшує ризик для їхнього здоров'я порівняно з шахтами та кар'єрами. Також свердловинний видобуток вимагає меншого залучення місцевих громад у порівнянні з іншими методами. Через те, що свердловини займають менше місця і їх можна розміщувати в різних регіонах, локальні громади можуть не зазнавати таких серйозних змін у своєму середовищі, як це буває в випадку відкритих кар'єрів чи шахт.

Важливо також і наступне: свердловини займають менше простору, а роботи з їх обслуговування потребують меншої кількості людей, економічний ефект від створення робочих місць може бути меншим, проте видобуток копалин може сприяти великим інвестиціям у регіони і розвитку інфраструктури, що позитивно впливає на економіку. Оскільки свердловини зазвичай використовуються в певних районах, це може призвести до тимчасового або сезонного притоку робочої сили з інших регіонів. Це може змінювати соціальну структуру місцевих громад [59].

Економічний ефект при свердловинному видобутку корисних копалин, порівняно з відкритими і шахтними розробками, має різні аспекти, які можуть бути вигідними або проблемними залежно від специфіки кожного методу видобутку. Економічні наслідки свердловинного видобутку такі. Свердловинний видобуток вимагає менших капіталовкладень на початкових етапах. Буріння свердловин, як правило, потребує меншого використання техніки та матеріалів, ніж відкритий або шахтний видобуток. Це дозволяє знижувати первинні витрати. Вартість видобутку твердих копалин та газу із свердловин може бути відносно низькою, особливо при використанні нами запропонованих сучасних технологій, таких як гідравлічне руйнування гірського масиву [60].

Свердловинний видобуток має менші операційні витрати, оскільки процес буріння менш енергоємний порівняно з відкритими або шахтними методами видобутку. Автоматизовані технології дозволяють знизити витрати на робочу силу та забезпечити високу ефективність видобутку. Крім того, застосування сучасних методів, таких як гідравлічний вплив, дозволяє збільшити продуктивність свердловин [61].

Для того, щоб представити порівняння економічних ефектів свердловинного видобутку корисних копалин з відкритим і підземним видобутком у вигляді конкретних розрахунків і графіків, необхідно мати конкретні дані щодо витрат, об'ємів видобутку, капітальних і операційних витрат для кожного з методів [62]. Оскільки ці дані можуть сильно варіюватися залежно від типу корисних копалин, географії, використовуваних технологій і т.д., можна створити загальну модель якісного порівняння на основі типових параметрів для кожного з методів видобутку (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Приклад порівняння витрат на видобуток копалин

Параметр	Свердловинний видобуток	Відкритий видобуток	Підземний видобуток
Капітальні витрати (відносні), %	5	50	100
Операційні витрати (відносні одиниці на одиницю маси копалини) за рік	0,3	0,78	1
Продуктивність (умовних одиниць на рік)	0,046	1	0,165
Витрати на одиницю продукції (відносні одиниці)	0,36	0,32	1
Прибуток	Залежно від ціни на товар		

Свердловинний видобуток є економічно вигідним в порівнянні з іншими методами через відносно низькі капітальні витрати і високий рівень автоматизації виконання бурових та інших суміжних робіт. Наведені дані можна конкретизувати на основі специфічних умов, ресурсів і ринкових цін для більш детальних розрахунків.

Висновки до четвертого розділу

1. Доведено, що додатково підсилити ефективність роботи розробленого гідромоніторного бура може застосування структурованих рідин (глинистих бурових розчинів) для руйнування осадових порід.

2. Проведеними дослідженнями доведено, що збільшення швидкості ерозії породи, без необхідності значного збільшення швидкості потоку, можна досягнути за рахунок збільшення величини густини, в'язкості та напруги зсуву промивальної рідини шляхом формування для неї структурних властивостей за допомогою глинистих порошків, ПАР та полімерів, особливо в їх комплексній взаємодії.

3. При проходці осадових товщ, характерних для геотехнологічних свердловин, виникає питання забезпечення стійкості стінок стовбура свердловини, що може бути досягнуто за рахунок застосування силікатних і силікатно-гумінових розчинів, уведенням до складу яких ПАР в концентрації 0,5 - 1% дозволяє, без зниження їх технологічних параметрів, зменшити поверхневий натяг, що призводить до збільшення швидкості проходки.

4. Доведена ефективність застосування структуроутворювача ПЕГ, добавки якого в межах 0,5% дозволяють отримати прийнятні властивості із паралельним зниженням витрати глинистого порошку. Залежно від типу породи та концентрації полімеру, швидкість рідини може бути нижчою, ніж для звичайної води, так як полімерна добавка покращує проникнення та зчеплення струменя з породою.

5. У результаті проведених досліджень показано, що використання хімічної обробки при створенні раціональних умов очищення геотехнологічних свердловин від продуктів руйнування повинно проводитися на базі вичерпних відомостей про характер впливу поверхнево-активних речовин на кожний з окремих технологічних показників властивостей бурових промивальних рідин, особливо при їх комплексному застосуванні при реалізації геотехнологічних методів видобутку корисних копалин.

6. Показано наявність екологічного, економічного та соціального ефектів при впровадженні геотехнологічних свердловинних методів розробки родовищ.

Перелік використаних джерел у розділі 4

1. Буріння свердловин. Навчальний посібник. 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». – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 294 с.
2. Fanchi, J.R., & Christiansen, R.L. (2017). Introduction to petroleum engineering. Published by John Wiley & Sons.
3. Мала гірнича енциклопедія: в 3-х т. / За ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Донбас. – Т. 1. – 2004. – 640 с., Т. 2. – 2007. – 652 с., Т. 3. 2013. – 644 с.
4. Технологія і техніка буріння: узагальнювальна довідкова книга / В.С. Войтенко, В.Г. Вітрик, Р.С. Яремійчук, Я.С. Яремійчук. – Л.: Центр Європи, 2012. – 708 с.
5. Маланчук З.Р., Маланчук Є.З., Корнієнко В.Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин. – Рівне: НУВГП, 2017. – 266 с.
6. Фізико-хімічна геотехнологія / М.М. Табаченко, О.Б. Владико, О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 310 с.
7. Dalal, M. (2018). *Physical Chemistry*. Publisher: Dalal Institute.
8. Koroviaka, Y. A., Mekshun, M. R., Ihnatov, A. O., Ratov, B. T., Tkachenko, Y. S., & Stavychnyi, Y. M. (2023). Determining Technological Properties of Drilling Muds. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 25-32. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/025>.
9. Caenn, R., Gray, G.R. & Darley, H.C.H. (2020). Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. Publisher: Gulf Professional Publishing.
10. Hossain, M.E., & Al-Majed, A.A. (2015). Fundamentals of sustainable drilling engineering. Scrivener publishing.
11. Yasmin, A. & Yasin, M. (2017). Advanced Practical Physical Chemistry. Publisher: Noor Publisher.
12. Коровяка, Є.А., Ігнатов, А.О., Давиденко, О.М., Мекшун, М.Р. (2023). Аналіз деяких властивостей промивальних рідин та їх впливу на показники процесу

буріння свердловин. Інструментальне матеріалознавство: Збірник наукових праць ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, (26), 58-68.

13. Alessi, ML Helical and coil conformations of poly(ethylene glycol) in isobutyric acid and water / ML Alessi, AI Norman, SE Knowlton, DL Ho, SC Greer // *Macromolecules*. – 2005. – V. 38. – P. 9333-9340.

14. Zhu, W. Statistical analysis of effects of polyethylene glycol concentration and molecular weight on sedimentation and resuspendability behavior of model aqueous dispersions / W. Zhu, L. Vermeir , R. Govoreanu , K. Verbruggen , T. Апеп , // *International International Journal of Pharmaceutics*. – 2013. – V. 453. – P. 343-350.

15. Kushare, S.K. Thermodynamics of aqueous polyethylene-glycol (PEG) / SK Kushare , VR Shaikh, SS Terdale , DH Dagade , RR . – 2013. – V. 187. – P. 129-136.

16. Meyerbrocker, N. Novel ultrathin poly (ethylene glycol) films як flexible platform для biological applications and plasmonics / N. Meyerbrocker , T. Kriesche , M. Zharnikov // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2013. – V. 5. – P. 2641-2649.

17. Фізико-хімія полімерів : підруч. / Л.Д. Масленнікова, С.В. Іванов, Ф.Г. Фабуляк, З.В. Грушак. – К. : Вид-во Нац. авіац. «НАУ-друк», 2009. – 312 с.

18. Saeki, S. Upper and low critical solution temperatures in poly (ethylene glycol) solutions / S. Saeki, N. Kuwahara , M. Nakata, M. Kaneko // *Polymer*. – 1976. – V. 17. – P. 685-689.

19. Павличенко, А.В., Ігнатов, А.О., Коровяка, Є.А., Барташевський, С.Є., Коротка, І.Ю., Мекшун, М.Р. (2021) Основи організації системи гідравлічного очищення свердловин. Збірник наукових праць НГУ, 67, 136-152. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.136>.

20. Milap, G. (2012). *Mud Engineering Simplified*. Publisher: BecomeShakespeare.com.

21. Коцкулич Я.С., Кочкодан Я.М. Буріння нафтових і газових свердловин. – Коломия ВПТ «Вік», 1999. – 504 с.

22. Skalle, P. (2015). *Drilling fluid engineering*. Publisher: bookboon.com isbn 978-87-403-1139-6.

23. Vaddadi, N. (2015). *Introduction to oil well drilling*. Bathos publishing.

24. Azar, J. J., & Samuel, G. R. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Corp.

25. Koroviaka Y., Ihnatov A. O., Mekshun M. Some functional features of the use drilling fluids during the construction of wells. Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources : 6rd international scientific and technical conference, Petroșani, 16 November 2023. Petroșani, Romania, 2023. P. 91-93.

26. Промивальні рідини в бурінні : підручник / Є.А. Коровяка, Ю.Л. Винников, А.О. Ігнатів, О.В. Матяш, В.О. Расцветаєв; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка», 4-те вид., доп. – Дніпро : Журфонд, 2023. – 420 с.

27. Atkins, P. (2014). *Physical Chemistry*. Publisher: W.H. Freeman and Company Publishing.

28. Основи нафтогазової інженерії / Білецький В.С., Орловський В.М., Вітрик В.Г.; НТУ «ХПІ». – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2018. – 415 с.

29. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Books.

30. Tahir, M. B., Sagir, M., Mushtaq, M., Tahir, M. S., & Shaik, A. R. (2020). *Surfactants for Enhanced Oil Recovery Applications*. Springer.

31. Bajpayee, T.S, Rehak, T.R, Mowrey, G.L, & Ingram, D.K. (2004). Blasting injuries in surface mining with emphasis on flyrock and blast area security. *Journal of Safety Research*. 35 (1): 47–57. doi:10.1016/j.jsr.2003.07.003. ISSN 0022-4375.

32. Ihnatov, A. O., Koroviaka, Y. A., Haddad, J., Tershak, B. A., Kaliuzhna, T. M., & Yavorska, V. V. (2022). Experimental and theoretical studies on the operating parameters of hydromechanical drilling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 20-27. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-1/020>.

33. Прогресивні технології спорудження свердловин / Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатів; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: 2020. – 164 с.

34. Hossain, M.E. (2016). *Fundamentals of drilling engineering*. Scrivener publishing.

35. Gelfgat, Ya.A., Gelfgat, M.Y. & Lopatin, Yu.S. (2003). *Advanced Drilling Solutions*. Publisher: PennWell Corporation.

36. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов // Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 493 с.
37. Мислюк М.А.; Рибчич І.Й.; Яремійчук Р.С. Буріння свердловин: Довідник: у 5 т. Т. 1: Загальні відомості. Бурові установки. Обладнання та інструмент. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. – 367 с.
38. Mavko, G., Mukerji, T. & Dvorkin, J. (2020). *The Rock Physics*. Publisher: Cambridge University Press.
39. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О., Мекшун М.Р. Питання забезпечення раціональності гідравлічної програми промивання свердловин. Геотехнічні проблеми розробки родовищ: Матеріали XXI міжнар. конф. молодих вчен., м. Дніпро, 26 жовт. 2023 р. Дніпро, 2023. С. 82–84.
40. Буріння свердловин: Довідник: У 5-ти т.: т. 2: Промивання свердловин. Відробка доліт / М.А. Мислюк, І.Й. Рибчич, Р.С. Яремійчук / АТ «Агронафта». – К.: "Інтерпрес ЛТД", 2002. – 301 с.
41. Bourgoyne, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E., & Young, F.S. (2014). *Applied Drilling Engineering*. Society of Petroleum Engineers.
42. Гідрогазодинамічні процеси при спорудженні та експлуатації свердловин. Монографія. А.В. Павличенко, Є.А. Коровяка, А.О. Ігнатов, О.М. Давиденко; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ "ДП", 2021. – 201 с.
43. Pavlychenko, A. V., Ihnatov, A. O., Koroviaka, Y. A., Ratov, B. T., & Zakenov, S. T. (2022). Problematics of the issues concerning development of energy-saving and environmentally efficient technologies of well construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1049(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012031>.
44. Sheng, J. (2010). *Modern chemical enhanced oil recovery: Theory and practice*. Gulf Professional Pub.
45. Мекшун М.Р., Коровяка Є.А. (2024). Уточнення відомостей про особливості реалізації технології промивання свердловин в складних умовах. «Наукова весна» 2024: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції

аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 27–29 березня 2024 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. С. 17.

46. Маланчук З.Р., Боблях С.Р., Маланчук Є.З. Гідровидобуток корисних копалин. – Рівне: НУВГП, 2009. – 280 с.

47. Fink, J. (2003). *Oil Field Chemicals*. Gulf Professional Publishing.

48. Modi, P., & Seth, S. (2004). *Fluid mechanics and hydraulic machines*. Standard Book House.

49. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2012). *Manufacturing systems*. Modeling and analysis. Springer.

50. Sharma, K.K. & Sharma, L.K. (2016). *Physical Chemistry*. Publisher: Vikas Publishing.

51. Falkovich, G. (2011). *Fluid Mechanics: A Short Course for Physicists*. Cambridge University Press.

52. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. – Львів : Центр Європи, 2001. – 864 с.

53. Костржицький А.І., Калінков О.Ю., Тіщенко В.М., Берегова О.М. Фізична та колоїдна хімія. Навч. пос. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 496 с.

54. Donaldson, E. C., & Tiab, D. (2015). *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties*. Elsevier Science & Technology Books.

55. Sonnenberg, S. A., & Selley, R. C. (2014). *Elements of Petroleum Geology*. Elsevier Science & Technology Books.

56. Schreiber, E., & Liebermann, R. C. (1994). *Experimental Techniques in Mineral and Rock Physics: The Schreiber Volume*. Birkhauser.

57. Lattanzi, P., Dore, E., Perlatti, F., & Brink, H. G. (Ред.). (2024). *Sustainable Mining as the Key for the Ecological Transition: Current Trends and Future Perspectives*. MDPI.

58. Sengupta, M. (2021). *Environmental Impacts of Mining (2-ге вид.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003164012>.

59. Rey-Martí, A., Valencia-Toledo, A., Chaparro-Banegas, N., Mas-Tur, A., & Roig-Tierno, N. (2023). Developing models to assess the social impact of mining: An exploratory study through necessary conditions analysis (NCA). *Resources Policy*, 83, 103704.

60. Jesse, H. T. (2023). *Economics of Mining Third Edition* Valuation Organization Management. Creative Media Partners, LLC.

61. Zhou, Y. (2024). Natural resources and green economic growth: A pathway to innovation and digital transformation in the mining industry. *Resources Policy*, 90, 104667. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104667>.

62. Hilson, G. M. (2003). *Socio-Economic Impacts of Artisanal and Small-Scale Mining in Developing Countries*. Taylor & Francis Group.

..

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою роботою, у якій на підставі аналітичних та експериментальних досліджень виконано актуальне науково-практичне завдання, що полягає у визначенні конструктивних параметрів технічних засобів зі спорудження основного стовбуру видобувної свердловини та її привибійної зони, а також технологічних прийомів підтримки стійкості стінок свердловини. За результатами відображених у роботі досліджень можна зробити такі висновки і рекомендації:

1. Розроблений інструмент з гідромоніторним принципом руйнування гірських порід належить до сучасних ефективних новітніх технологій і потребує найскорішого впровадження у виробництво, що дасть значний поштовх розвитку бурової справи для геотехнологічних методів видобування корисних копалин.

2. Технічний результат запропонованого гідромоніторного бура полягає в тому, що принципово інше конструктивне виконання взаємодіючих робочих вузлів та гнучкість режиму поверхневого керування забезпечують: реалізацію програми ефективного направлено руйнування гірського масиву активованими гідромоніторними струменями; розмірну компактність і рухливість пристрою відносно габаритних розмірів свердловин різного призначення; оперативність корегування гідравліко-силових характеристик активованого потоку робочої рідини.

3. Компонуванням схеми гідромоніторного бура досягається можливість застосування пристрою в техніко-технологічних схемах буріння свердловин та послідовного розширення останніх в інтервалі продуктивних горизонтів.

4. За допомогою програмного пакету MATLAB проведено чисельне моделювання динаміки руху рідини при електромагнітній взаємодії для поточного розрахунку бура, згідно якого встановлено раціональний об'єм гідромоніторної насадки, що складає $0,00005 \text{ м}^3$ та $0,0001 \text{ м}^3$, необхідну магнітну індукцію для прискорення потоку, яка складає до $0,5 \text{ Тл}$ при напрузі 380 та площу перетину струмопідвідного кабелю, що складає 70 мм^2 .

5. Для ефективного руйнування гірських порід, з межею міцності на розмив до 32 МПа, гідромоніторна насадка об'ємом $0,0001 \text{ м}^3$ повинна мати такі параметри: діаметр критичного перетину – 20 мм; кут розкриття дифузора – 30 град; початкова швидкість електромагнітного прискорення 100 м/с; ефективний діаметр спорудження привибійної зони геотехнологічних свердловин при цьому буде складати до 1200 мм.

6. Для виготовлення гідромоніторного бура доцільно застосовувати сталь вітчизняного виробництва марки 35ХГСА. В якості режиму термічної обробки необхідно приймати ізотермічне загартування на розплав солі, після якого ударна в'язкість буде складати 69 Дж/см^2 при твердості корпусу 50 HRC.

7. Виконано оцінку технологічних властивостей поверхнево-активних речовин та активованих ними структурованих промивальних рідин; при цьому визначено раціональні концентрації структуроутворювачів, що складають 0,25 - 0,5 %, ПАВ в концентрації 0,5 - 1%, які додатково підсилюють ефективність роботи бура за рахунок посилення руйнуючого впливу, похідної величини густини, в'язкості рідини та напруги зсуву.

8. Наведені результати роботи представлено в семи наукових статтях (дві з яких індексуються в наукометричній базі Scopus), семи доповідях конференцій, а на запропоновану конструкцію гідромоніторного бура отримано патент на корисну модель.

ДОДАТОК А
ПАТЕНТ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ
ГІДРОМОНІТОРНИЙ БУР



(11) **151461**(19) **UA**(51) МПК (2022.01)
E21C 45/00(21) Номер заявки: **u 2022 00321**(22) Дата подання заявки: **26.01.2022**(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **28.07.2022**(46) Дата публікації відомостей
про державну реєстрацію
та номер Бюлетеня: **27.07.2022,
Бюл. № 30**

(72) Винахідники:

**Азюковський Олександр
Олександрович, UA,
Павличенко Артем
Володимирович, UA,
Ігнатов Андрій
Олександрович, UA,
Коровяка Євгеній
Анатолійович, UA,
Хоменко Володимир
Львович, UA,
Пащенко Олександр
Анатолійович, UA,
Мекшун Микита Романович,
UA,
Шипунов Сергій
Олександрович, UA**

(73) Володілець:

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
"ДНІПРОВСЬКА
ПОЛІТЕХНІКА",
просп. Д. Яворницького, 19, м.
Дніпро, 49000, UA**

(54) Назва корисної моделі:

ГІДРОМОНІТОРНИЙ БУР

(57) Формула корисної моделі:

Гідромоніторний бур, що містить корпус, циркуляційний канал з гідромоніторною насадкою та буровий став, який **відрізняється** тим, що його гідромоніторний циркуляційний канал виконано як гідромоніторну розгінну камеру, що охоплена кільцевим проточним електродом та по центру якої встановлено стрижневий електрод в ізоляційній оболонці з можливістю поздовжнього переміщення в ній та формування розгінної контактної електрогідрравлічної ділянки, до того ж корпус гідромоніторної розгінної камери закріплено рухливо до бурового ставу.

(11) **151461**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Цей паперовий документ ідентичний за документарною інформацією та реквізитами електронному документу з електронним підписом уповноваженої особи Державного підприємства «Український інститут інтелектуальної власності».

Паперовий документ містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Для доступу до електронного примірника цього документа з ідентифікатором 2555270722 необхідно:

1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню Сервіси – Отримати оригінал документу.
3. Вказати ідентифікатор електронного примірника цього документа та натиснути «Завантажити».

Уповноважена особа Укрпатенту



I.Є. Матусевич

27.07.2022



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **151461** (13) **U**
 (51) МПК (2022.01)
E21C 45/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2022 00321</p> <p>(22) Дата подання заявки: 26.01.2022</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 28.07.2022</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 27.07.2022, Бюл.№ 30</p>	<p>(72) Винахідник(и): Азюковський Олександр Олександрович (UA), Павличенко Артем Володимирович (UA), Ігнатов Андрій Олександрович (UA), Коровяка Євгеній Анатолійович (UA), Хоменко Володимир Львович (UA), Пашенко Олександр Анатолійович (UA), Мекшун Микита Романович (UA), Шипунов Сергій Олександрович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА", просп. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49000 (UA)</p>
---	---

(54) ГІДРОМОНІТОРНИЙ БУР

(57) Реферат:

Гідромоніторний бур містить корпус, циркуляційний канал з гідромоніторною насадкою та буровий став. Його гідромоніторний циркуляційний канал виконано як гідромоніторну розгінну камеру, що охоплена кільцевим проточним електродом та по центру якої встановлено стрижневий електрод в ізоляційній оболонці з можливістю поздовжнього переміщення в ній та формування розгінної контактної електрогідролічної ділянки. Корпус гідромоніторної розгінної камери закріплено рухливо до бурового ставу.

UA 151461 U

UA 151461 U

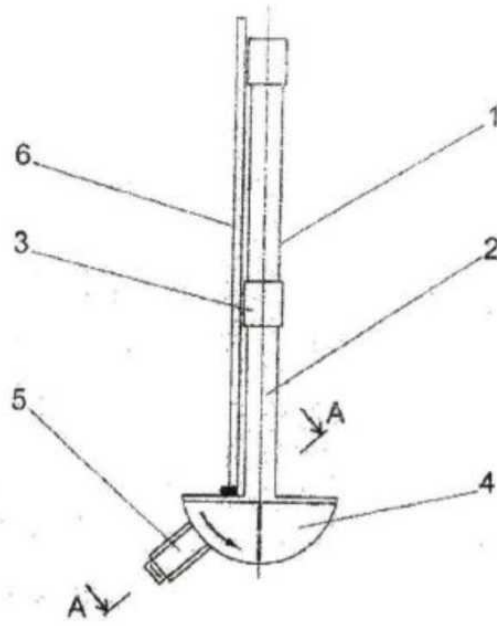


Fig. 1

UA 151461 U

Корисна модель належить до бурової техніки, а саме стосується галузі спорудження свердловин різного призначення за допомогою пристроїв, що формують високошвидкісні робочі струмені рідини.

5 Відомий гідромоніторний бур, що містить підвідні труби, струменеформувальні стволи із насадками, став, зачисні кромки (авторське свідоцтво СРСР № 901531; МПК E21C 45/00, 1982 р.).

10 Недоліками такого пристрою є загальна громіздкість і складність конструктивної побудови, а також технологічної взаємодії окремих виконавчих вузлів, можливість ефективної роботи тільки із застосуванням в окості руйнівного агента води, значна інерційність руху суцільної конструкції, забезпечення умов формування гірських виробок великого поперечного перерізу, який не є властивим для переважної більшості свердловин різного цільового призначення та технологічного характеру.

15 Найбільш близьким аналогом корисної моделі за технічною суттю є гідромоніторний бур, що містить корпус, гідромоніторні насадки, циркуляційні вікна і канали, буровий став (авторське свідоцтво СРСР № 1765421; МПК E21C 45/00, 1992 р.).

20 Недоліками такого пристрою є гідравлічна завантаженість циркуляційного контуру, яка через необхідність суворого спрацьовування кожного вузла не може гарантувати повного отримання заданих параметрів вихідного гідромоніторного струменю, обмеженість щодо умов застосування рідин різного якісного і кількісного складу, відсутність можливості оперативного регулювання гідравлічних характеристик активованого потоку, технічна і технологічна невідповідність вимогам щодо формування протяжного стовбура свердловини.

25 В основу корисної моделі поставлена задача удосконалити гідромоніторний бур, в якому інше конструктивне виконання взаємодіючих робочих вузлів та гнучкість режиму поверхневого керування забезпечують: реалізацію програми ефективного направленного руйнування гірського масиву активованими гідромоніторними струменями; розмірну компактність і рухливість пристрою відносно габаритних розмірів свердловин різного призначення; оперативність корегування гідравліко-силових характеристик активованого потоку робочої рідини; застосування пристрою в техніко-технологічних схемах буріння свердловин та послідовного розширення останніх в інтервалі продуктивних горизонтів; підвищення ступеню та досконалості використання гідравлічної й механічної потужності поверхневих бурових насосів; збільшення механічної й рейсової швидкості буріння; удосконалення системи розробки родовищ корисних копалин; зниження амортизації самого пристрою та основного й допоміжного бурового інструменту і завдяки цьому створюються умови безперервності процесу формування стовбура свердловини при зниженні енергоспоживання.

35 Поставлена задача вирішується тим, що у гідромоніторному бурі, що містить корпус, циркуляційний канал з гідромоніторною насадкою та буровий став, згідно з корисною моделлю, його гідромоніторний циркуляційний канал виконано як гідромоніторна розгінна камера, що охоплена кільцевим проточним електродом, та по центру якої встановлено стрижневий електрод в ізоляційній оболонці з можливістю поздовжнього переміщення в ній та формування розгінної контактної електрогідравлічної ділянки, до того ж корпус гідромоніторної розгінної камери закріплено рухливо до бурового ставу.

40 Корисна модель пояснюється графічними зображеннями. На Фіг. 1 представлено загальну схему гідромоніторного буру, де 1 - буровий став, який утворено бурильними трубами 2, що з'єднані замками 3, а в нижній частині завершені поворотним механізмом 4 із гідромоніторною розгінною камерою 5, з підключенням до останньої електричного кабелю 6. На Фіг. 2 - розріз гідромоніторної розгінної камери 5 по лінії А-А, де 10 - кільцевий проточний електрод. Корпус 7, який завершено циркуляційним соплом 14, рухливо з'єднано з буровим ставом 1. У корпусі 7 гідромоніторної розгінної камери 5 по центру встановлено стрижневий електрод 9 з утворенням розгінного контуру 8 між ним, ізоляційною оболонкою 11, контактною електрогідравлічною ділянкою 15 та внутрішньою поверхнею корпусу 7. Контактна електрогідравлічна ділянка 15 формується поздовжнім переміщенням ізоляційної оболонки 11 накидною гайкою 12 із захватами 16 та підключенням стрижневого електроду 9, за допомогою електричного кабелю 6, до електричної загальнопромислової мережі бурової. Каналом потрапляння робочої рідини до розгінного контуру 8 - виступає вхідний отвір 13.

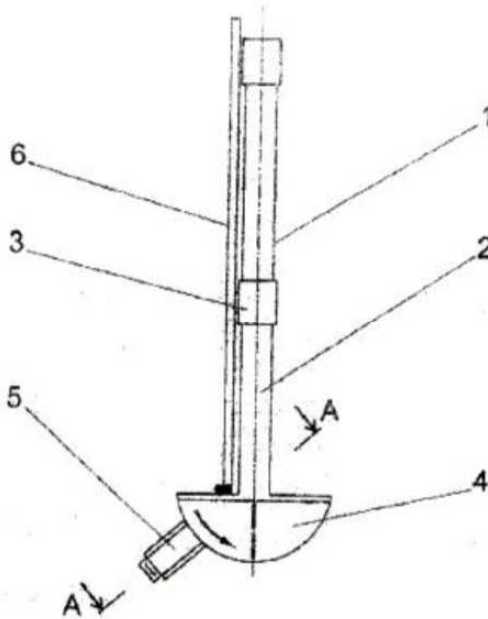
55 Пристрій працює наступним чином. Руйнування породного масиву здійснюється за спуску бурового ставу 1, який утворено бурильними трубами 2, що з'єднані замками 3, у свердловину та підключення, за допомогою електричного кабелю 6, який змонтовано у поворотному механізмі 4 гідромоніторної розгінної камери 5 до електричної загальнопромислової мережі бурової. Щільне магнітне поле, що рухає та різко прискорює рух рідини у розгінному контурі 8, формується таким чином. Розрядний струм тече у радіальному напрямі між електродами,

UA 151461 U

- одним з яких служить позитивний стрижневий електрод 9 (сталевий стрижень з конусоподібним наконечником), що розташований на вісі розгінної камери 5, а іншим - кільцевий проточний електрод 10. Радіальний розрядний струм взаємодіє з концентричним магнітним полем. Сила, спрямована уздовж вісі системи, сприяє прискоренню руху рідини, що поступає до розгінної камери 5 через вхідний отвір 13. Із міжелектродного простору, через циркуляційне сопло 14, активований струмінь рідини викидається зі швидкістю понад 1000 м/с, захоплюючи за собою і рідину, що рухається стовбуром свердловини та із значним швидкісним напором вривається у породний масив, тим самим проводячи руйнування останнього. Підвищення рівня сили впливу активованого струменя рідини та його швидкості, враховуючи задані руйнівні характеристики породного масиву, здійснюються за допомогою поздовжнього переміщення ізоляційної оболонки 11 накидною гайкою 12 із захватами 16, що супроводжується зростанням площі контактної електрогідролічної ділянки 15, тобто збільшенням напруженості магнітного поля. Безперервний перехід від циклу буріння до циклу розширення свердловини та зворотно, формує стовбур свердловини навіть у м'яких породах, схильних до набрякань, що виключає необхідність додаткових проробок, сприяє загальному зниженню енергоємності і часу на спорудження свердловин у безперервному управлінні процесом поглиблення вказаних гірських виробок різного призначення, ускладнених проявом гірничо-геологічних умов.
- У результаті впровадження корисної моделі очікується підвищення техніко-економічних показників на 70-80 %.

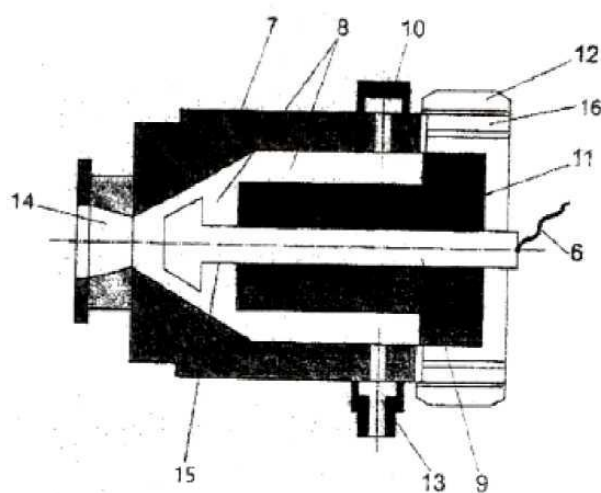
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Гідромоніторний бур, що містить корпус, циркуляційний канал з гідромоніторною насадкою та буровий став, який **відрізняється** тим, що його гідромоніторний циркуляційний канал виконано як гідромоніторну розгінну камеру, що охоплена кільцевим проточним електродом та по центру якої встановлено стрижневий електрод в ізоляційній оболонці з можливістю поздовжнього переміщення в ній та формування розгінної контактної електрогідролічної ділянки, до того ж корпус гідромоніторної розгінної камери закріплено рухливо до бурового ставу.



Фиг. 1

UA 151461 U



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка С. Чулій

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

ДОДАТОК Б
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з науково-педагогічної

роботи, проф.

_____ Хоменко Ю.Т.

« 18 » _____ 01 _____ 2022 р.



МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН

Узгоджено:
Коровяка Є.А.,
к.т.н., завідувач кафедри нафтогазової
інженерії та буріння

Розробник:
Мекшун М.Р.,
аспірант кафедри нафтогазової
інженерії та буріння

Дніпро
2022

ДОДАТОК В

ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ ПО ВИРОБНИЦТВУ КОРПУСІВ ГІДРОМОНІТОРНИХ БУРІВ

1

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ТОВ «Техпоставка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Проректор з науково-педагогічної
роботи, проф.
Хоменко Ю.Т.
«24» 05 2022 р.



ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ ПО ВИРОБНИЦТВУ КОРПУСІВ ГІДРОМОНІТОРНИХ БУРІВ

Узгоджено:

Коров'яка Євгеній Анатолійович
кандидат технічних наук, завідувач
кафедри нафтогазової інженерії та
буріння

Розробник:

М.Р. Мекшун
аспірант кафедри нафтогазової
інженерії та буріння

Узгоджено:

Камишацький Олександр Федорович
кандидат технічних наук,
Головний конструктор
ТОВ «Техпоставка»



Дніпро
2022

ДОДАТОК Г

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
ТЕХНОЛОГІЇ БУРІННЯ НЕГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН ІЗ
РОЗШИРЕНОЮ ПРИВИБІЙНОЮ ЗОНОЮ**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ГЕОБЕСТ»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ТОВ «Геобест»

Гораш Д.В.

« 24 » вересня 2024 р.

**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
ТЕХНОЛОГІЇ БУРІННЯ НЕГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН ІЗ
РОЗШИРЕНОЮ ПРИВИБІЙНОЮ ЗОНОЮ**

«Узгоджено»

Є.А. Коровяка

канд. техн. наук, доцент

« 19 » 09 2024 р.

Розробник

М.Р. Мекшун

аспірант

« 19 » 09 2024 р.

Організація-розробник: кафедра нафтогазової інженерії та буріння На-
ціонального технічного університету «Дніпровська політехніка»

Дніпро
2024

ДОДАТОК Д

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Комерційний директор

ТОВ «Геобудівельні технології»

С.О. Данилов



« 18 » вересня 20 24 р.

АКТ

впровадження технологічного регламенту отримання різних інтервалів свердловин у виробництво

Сутність розробки. Технології спорудження основного стовбуру та привибійної зони свердловин різного призначення.

Мета розробки. Підвищення ефективності процесу спорудження свердловин різного призначення за рахунок раціоналізації параметрів процесу руйнування гірського масиву та промивання бурових свердловин.

Предмет впровадження. Технологічний регламент формування в масиві гірських порід основного стовбуру та експлуатаційної привибійної зони свердловин різного призначення, який відрізняє можливість застосування при наявності нестійких порід і необхідності отримання уширеного контуру свердловини при гідромоніторному впливі.

Технологічні особливості розробки. Представлено послідовний технологічний цикл формування, за допомогою активних гідромоніторних струменів, різних інтервалів стовбура свердловини при одночасному застосуванні раціональної гідравлічної програми промивання свердловини якісними буровими промивальними рідинами, що дозволяють підтримувати високий рівень механічної швидкості буріння та стійкість стінок стовбура свердловини. Позначену гідравлічну програму промивання відрізняє надання конкретних технологічних рекомендацій щодо рецептур промивальних рідин із чітким компонентним складом та проектними показниками властивостей відносно умов спорудження свердловин.

Висновки. Розроблено раціональний технологічний регламент, який включає порядок параметричного розрахунку принципів гідромоніторного руйнування та промивання стовбуру свердловин різного призначення при їх спорудження в складних геолого-технічних умовах.

Автори розробки та організація-розробник. Коровяка Є.А., канд. техн. наук, доцент; Мекшун М.Р., аспірант, кафедра нафтогазової інженерії та буріння Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».