

ШКОП АНДРІЙ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
<https://orcid.org/0000-0002-1974-0290>
e-mail: shkop_ecomass@ukr.net

ПОНОМАРЬОВА НАТАЛІЯ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
<https://orcid.org/0000-0001-8931-5882>
e-mail: nponomar2017@gmail.com

ШЕСТОПАЛОВ ОЛЕКСІЙ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
<https://orcid.org/0000-0001-6268-8638>
e-mail: oleksii.shestopalov@khp.edu.ua

БОСІУК АЛЬОНА

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
<https://orcid.org/0000-0001-5254-2272>
e-mail: Alona.Bosiuk@mit.khp.edu.ua

МАТИСС ДМИТРО

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
<https://orcid.org/0009-0009-1371-5877>
e-mail: dmytro.matiss@mit.khp.edu.ua

ОЧИЩЕННЯ БУРОВИХ РОЗЧИНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ОСАДЖУВАЛЬНИХ ЦЕНТРИФУГ

Стаття присвячена аналізу ефективності очищення бурових розчинів з використанням осаджувальних центрифуг у сучасних умовах буріння в Україні. Однією з найбільших проблем при бурінні свердловин є утворення високовологих відходів, зокрема відходів, що залишаються після роботи гідроциклонів, ситогідроциклонних установок, а також надлишків і проливів бурового розчину, які традиційно скидаються в амбар. Цей процес не тільки забруднює навколишнє середовище, але й створює додаткові витрати на утилізацію відходів і втрати бурового розчину. Збільшення частки бурового розчину, який очищається на високошвидкісних та продуктивних центрифугах до 40 % і більше з загального обсягу циркулюючого бурового розчину, у поєднанні з виключенням проливів бурового розчину та зниженням вологості зневоднених відходів, дозволяє реалізувати безамбарне буріння, що є важливою вимогою сучасного буріння. Для досягнення цього результату пропонується вдосконалити традиційну систему очищення бурового розчину, замінивши її на нову комбінацію барабанного самоочищаючого сита, центрифуг з широким діапазоном швидкостей і продуктивності (Ecomash SHS 512A-213 та Ecomash SHS 312A-213) та дискових полупогружних насосів для транспортування бурового розчину. Цей підхід дозволяє не тільки підвищити ефективність очищення, але й значно зменшити обсяг відходів, що підлягають скиду, і, відповідно, знизити навантаження на навколишнє середовище. Вологість зневодненої твердої фази бурового розчину в запропонованій системі очищення регулюється в межах 23–27 %, що відповідає органолептичним характеристикам твердої пластиліноподібної маси. Обсяг виділеної твердої фази, а отже, реологічні характеристики бурового розчину, можуть бути налаштовані як вручну, так і автоматично, що забезпечує стабільність процесу буріння з мінімальними втратами бурового розчину. З економічної точки зору запропонована система очищення дозволяє значно скоротити витрати на буровий розчин, оскільки зниження вологості відходів до 25 % дозволяє заощадити до 0,5 м³ бурового розчину на кожну тонну відходів. Водночас перехід бурових потоків до категорії твердих відходів сприяє зниженню витрат на їх очищення.

Ключові слова: буровий розчин, осаджувальні центрифуги, безамбарне буріння, реологічні характеристики, шлам, стічні води

SHKOP ANDRII, PONOMAROVA NATALIYA, SHESTOPALOV OLEKSII,
BOSIUK ALONA, MATISS DMUTRO

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

PURIFICATION OF DRILLING FLUIDS USING PRECIPITATION CENTRIFUGES

The article analyzes the efficiency of drilling fluids treatment using sedimentation centrifuges in modern drilling conditions in Ukraine. One of the biggest problems in well drilling is the generation of high-moisture waste, in particular, waste remaining after the operation of hydrocyclones, sieve-hydrocyclone units, as well as excess and spills of drilling mud, which are traditionally dumped into the pit. This process not only pollutes the environment but also creates additional costs for waste disposal and drilling mud losses. Increasing the share of drilling mud that is cleaned by high-speed and high-performance centrifuges to 40% or more of the total circulating drilling mud, combined with the elimination of drilling mud spills and a decrease in the moisture content of dehydrated waste, allows for pitless drilling, which is an important requirement of modern drilling. To achieve this result, it is proposed to improve the traditional drilling mud cleaning system by replacing it with a new combination of a self-cleaning drum screen, centrifuges with a wide range of speeds and capacities (Ecomash SHS 512A-213 and Ecomash SHS 312A-213) and semi-submersible disk pumps for transporting drilling mud. This approach not only improves cleaning efficiency, but also significantly reduces the amount of waste to be discharged and, accordingly, reduces the environmental impact. The moisture content of the dehydrated solid phase of the drilling mud in the proposed cleaning system is regulated

within 23-27 %, which corresponds to the organoleptic characteristics of a solid plasticine-like mass. The volume of the separated solid phase, and hence the rheological characteristics of the drilling mud, can be adjusted both manually and automatically, which ensures the stability of the drilling process with minimal drilling mud losses. From an economic point of view, the proposed treatment system can significantly reduce drilling mud costs, as reducing the moisture content of waste to 25% saves up to 0.5 m³ of drilling mud for each ton of waste. At the same time, the transition of drilling wastewater to the category of solid waste helps to reduce the cost of its treatment.

Keywords: drilling fluid, precipitation centrifuges, pitless drilling, rheological characteristics, sludge, wastewater

Постановка проблеми

Очищення бурових розчинів є важливим технологічним процесом у нафтовидобувній та газовій промисловості. Висока ефективність цього процесу безпосередньо впливає на якість буріння, тривалість експлуатації обладнання та екологічну безпеку. Одним із найефективніших методів видалення твердих частинок із бурового розчину є використання осаджувальних центрифуг [1]. Осаджувальні центрифуги забезпечують механічне відокремлення твердих фаз шляхом дії відцентрових сил, що дозволяє значно знизити концентрацію шкідливих домішок і підвищити повторну придатність бурового розчину. Завдяки високій швидкості обертання ротора, вони ефективно відокремлюють навіть найдрібніші тверді частинки, що не можуть бути видалені традиційними методами, такими як відстоювання чи фільтрація [2].

Запровадження сучасних осаджувальних центрифуг в процес очищення бурових розчинів сприяє не лише покращенню техніко-економічних показників бурових робіт, а й зменшенню негативного впливу на довкілля. Використання таких технологій дозволяє мінімізувати утворення відходів, скоротити споживання свіжого бурового розчину та забезпечити раціональне використання ресурсів [3].

Під час буріння свердловин виникає низка важливих технологічних і екологічних проблем [4], серед яких:

- забезпечення якісного очищення бурових розчинів;
- утилізація або повторне використання відпрацьованих бурових розчинів;
- зневоднення бурових шламів.

Для забезпечення якісного багатоступеневого очищення бурових розчинів сучасні компанії використовують високотехнологічне обладнання. Традиційно в процесі очищення застосовують три типи вібросит, сито-гідроциклонні установки (мадклінер) та дві центрифуги. Однак інтенсивні темпи буріння ускладнюють підтримання параметрів бурового розчину в межах вимог геолого-технічних нарядів і режимно-технологічних карт. У багатьох випадках виникає необхідність додаткового розбавлення бурового розчину технічною водою із внесенням відповідних хімічних реагентів [5, 6].

В процесі буріння свердловин на різних інтервалах застосовуються різні типи бурових розчинів. Зазвичай, після встановлення кожної обсадної колони необхідно видаляти відпрацьований буровий розчин і готувати новий на основі чистої технічної води з додаванням необхідних хімічних реагентів. Особливо гостро ця проблема постає при переході з глинистих бурових розчинів на полімерні.

Відпрацьовані бурові розчини являють собою гетерогенні полікомпонентні системи, що складаються з рідкої та твердої фаз [7]. Їх фізико-хімічний склад [8] і технологічні параметри визначаються геологічними умовами буріння, а також техніко-економічними факторами. При цьому компонентний склад рідкої та твердої фаз відпрацьованих бурових розчинів у кожному конкретному випадку є унікальним. Ефективне очищення бурових розчинів за допомогою сучасних механічних та фізико-хімічних методів дозволяє переводити тверду фазу у буровий шлам. Для подальшого зневоднення цього шламу та видалення з бурового розчину вибурених твердих частинок необхідно застосовувати механічне обладнання, що працює на основі відокремлення рідини в центробіжному полі.

Впровадження в бурову практику безамбарного способу буріння дозволяє значно поліпшити екологічну ситуацію при будівництві свердловин. У той же час переваги цього способу можуть бути реалізовані лише за умови вирішення цілого комплексу спеціальних питань, спрямованих на удосконалення технології очищення та утилізації бурового розчину за допомогою ефективних технологій і реагентів [9, 10]. Наразі при будівництві свердловин активно впроваджуються безамбарні технології ведення бурових робіт, що є найпрогресивнішим напрямом мінімізації негативного впливу відходів буріння на навколишнє середовище.

Мета і задачі дослідження

Мета даного дослідження полягає в розробці та вдосконаленні методів очищення бурових розчинів із використанням осаджувальних центрифуг, що дозволить підвищити ефективність очищення, зменшити обсяг відходів та мінімізувати їхній вплив на навколишнє середовище.

Це потрібно для оптимізації технології очищення бурових розчинів, зниження витрат на утилізацію відходів і забезпечення більш екологічного процесу буріння, що є важливим аспектом у сучасній буровій практиці.

Для досягнення зазначеної мети потрібно було вирішити наступні задачі:

- дослідити принципи роботи осаджувальних центрифуг та їх ефективність при очищенні бурових розчинів;
- вивчити вплив параметрів роботи центрифуг на якість очищення та зменшення вмісту твердих часток у буровому розчині;
- оцінити екологічні та економічні переваги застосування осаджувальних центрифуг у порівнянні з традиційними методами очищення;

– розробити рекомендації щодо оптимального використання осаджувальних центрифуг для очищення бурових розчинів на різних етапах бурових робіт.

Викладення основного матеріалу

Для забезпечення ефективного очищення бурових розчинів і шламів, що утворюються під час буріння свердловин, використовується спеціальне обладнання, яке дозволяє знижувати вплив відходів на навколишнє середовище та зменшувати їх обсяг. На рис. №1 наведено фотографії системи очищення бурового розчину та шламів газовидобувної свердловини, розташованої в Полтавській області.

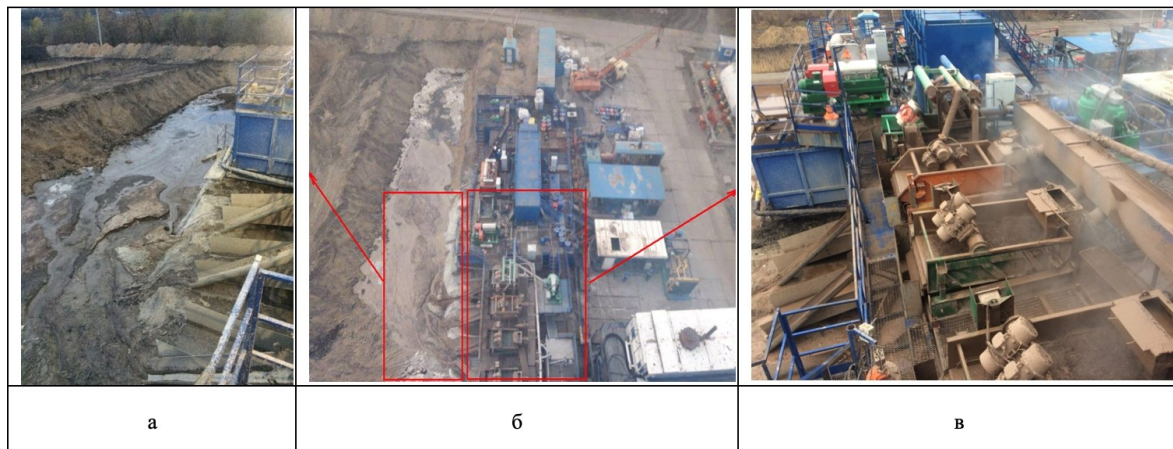


Рис. 1. Фотографії очищення бурового розчину:
а – шламовий амбар; б – вид зверху; в – устаткування для очищення бурового розчину

Сьогодні одним із провідних підприємств України з виробництва центрифуг є ТОВ «НТЦ «Екомаш» (м. Харків), продукція якого активно постачається до бурових організацій, зокрема АТ «Укрнафта», ДП «Укргазвидобування», НПП «Бурова техніка», ПАТ «Чорноморнафтогаз» та інших, на потреби яких було поставлено близько 30 одиниць центрифуг ОГШ-459У.

Центрифуга ОГШ-459 УХА 01М під час очистки малоглинистого бурового розчину низької густини видаляє 25 кг/м^3 твердої фази, при цьому з них 10 кг/м^3 глинистої фази. Знижує структурно-механічні параметри не змінюючи реологічних. Центрифуга активно видаляє частинки твердої фази абразивної розмірності. При відносно не високій густині кека ефективність роботи центрифуги достатньо висока. Аналіз результатів лабораторних досліджень ефективності використання даного типу центрифуг на свердловинах наведено в табл.1.

Таблиця 1

Аналіз результатів лабораторних досліджень

Параметри бурового розчину	Вихідний буровий розчин	ОГШ-459 УХА 01М НВП «Екомаш»
		2550 об/хв
Густина, ρ (кг/м^3)	1070	1045
Умовна в'язкість, УВ (с)	20	19
Ефективна в'язкість, A_V (сП)	7,5	6,5
Пластична в'язкість, P_V (сП)	6,0	5,0
Динамічна напруга зсуву, Y_P (дПа)	14,4	14,4
СНЗ після 10 с/10хв (дПа)	0/36,5	0/19,2
Фільтрація, АНІ ($\text{см}^3/30 \text{ хв}$)	11,5	12,5
Водневий показник, (рН)	12,0	11,9
Вміст активної твердої фази, (кг/м^3)	66,5	56,0
Вміст твердої фази, (% об)	8,6	7,0
Вміст піску > 100 мкм	0,5	0,05
Густина кека, (кг/м^3)		1780
Вологість, % мас		30,1
Густина видаленої твердої фази, (кг/м^3)		2230

З 2003 року центрифуги ОГШ-459У були замінені на більш удосконалені моделі ОГШ-462Л, що були розроблені за технічним завданням ВАТ «Укрнафта», ДП «Укргазвидобування» та НПП «Бурова техніка». Конструкція центрифуг ОГШ-462Л була модернізована для підвищення їхнього ресурсу та безпеки експлуатації: редуктор був вбудований всередину ротора, а для захисту шнека встановлено керамічне покриття.

З 2017 року було розпочато випуск нових бурових центрифуг, які позначаються як Ecomash SHS 312A-212, Ecomash SHS 512A-212 та Ecomash SHS 751C-113 (нова номенклатура, прийнята в світовій практиці, замість попередніх моделей ОГШ 312Л-212, ОГШ 512Л-212 та ОГШ 751У-113 відповідно). Ці

моделі вирізняються циліндро-біконічною формою ротора, що дозволяє значно підвищити ефективність процесу відділення дрібнодисперсних фракцій глини (~ на 15%). Окрім того, центрифуги оснащені вдосконаленою системою автоматичного управління (САУ), що забезпечує їхню швидку адаптацію та ефективне освоєння в процесі експлуатації.

На сьогодні освоєно виробництво обладнання для очищення різних стічних вод, нафтових шламів, зокрема бурових стічних вод [11]: двофазні та трьохфазні осаджувальні центрифуги, тонкошарові відстійники, станції приготування та дозування розчинів флокулянтів (коагулянтів), барабанні гравітаційні сита, різне ємнісне обладнання. Випускаються дискові динамічні насоси для перекачування суспензій, що містять значну кількість абразивних часток.

В залежності від глибини видобутку та різних ділянок, відходи буріння мають варіативний склад та морфологічні характеристики, і хоча ці відходи відносяться до 4 класу небезпеки [12], на даний момент регулювання реологічних характеристик бурового розчину (в'язкість, напруга зрізу тощо) здебільшого досягається за допомогою хімічних реагентів, розведення бурового розчину та скиду його надлишків, що містять дрібнодисперсну активну тверду фазу, в амбар. Це, в свою чергу, негативно впливає на стан навколишнього середовища та його компоненти [13].

Використання високошвидкісних та потужних осаджувальних центрифуг (фактор розділення $G = 1500 \dots 2500$, продуктивність по твердому складає $1 \dots 3$ т/год) дозволяє вилучати активну тверду фазу розміром від 25 мкм до 6 мкм, значно зменшуючи втрати бурового розчину завдяки зниженню скиду надлишків і зневодненню відходів до густини $1,96 \dots 2,03$ г/см³ (за органолептичними властивостями – тверда пластиліноподібна маса), що, окрім екологічних переваг, є дуже актуальним за умов високої вартості бурового розчину.

Схема очищення частини $\approx 15\%$ бурового розчину з циркуляційної системи бурового розчину за допомогою високошвидкісної та продуктивної центрифуги в модульному виконанні представлена на рис. №2.

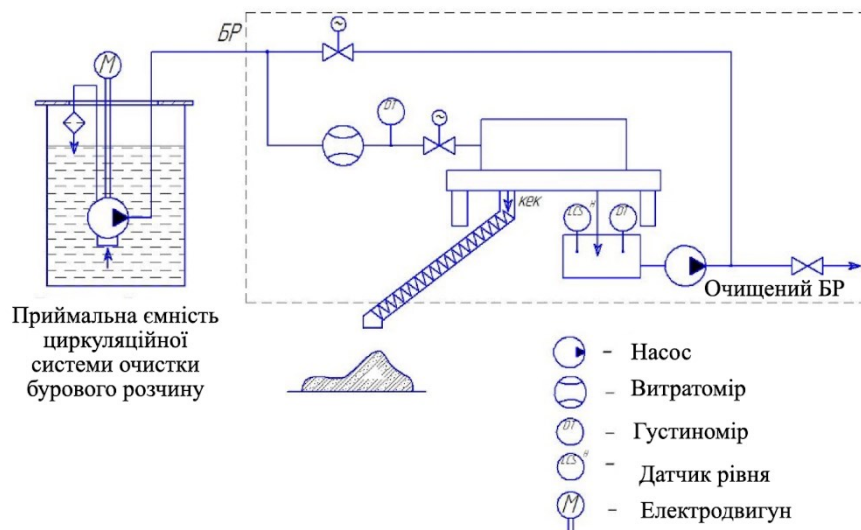


Рис. 2. Схема очищення бурового розчину високошвидкісною та продуктивною центрифугою в мобільному пересувному укритті

Буровий розчин (БР) з приймальної ємності подається в центрифугу Ecomash SHS 312A-212 напівзанурювальним електронасосним агрегатом, качальний вузол якого представлений дисковим низькообертовим насосом вагою 40 кг, електродвигун насоса ($N_{ел} \approx 7,5$ кВт, $n_{дв} = 1500$ об/хв, вага 60 кг) пристиковується на приймальній ємності під час підготовки до роботи впродовж декількох хвилин. Витрата бурового розчину, що подається в центрифугу Ecomash SHS 312A-212, регулюється електроприводним краном на вході до центрифуги і вимірюється витратоміром. Окремо вимірюється щільність БР на вході та виході з центрифуги. Фугат центрифуги повертається в циркуляційну систему БР бурової вбудованим насосом відкачування. Зневоднена тверда фаза вивантажується з модуля спіральним транспортером. В табл. 2 наведені технічні характеристики центрифугальних установок.

Інформація з витратоміра, густиномірів відображається на тактильній панелі управління центрифуги Ecomash SHS 312A-212.

Автоматична система управління (АСУ) центрифуги Ecomash SHS 312A-212 забезпечує взаємопов'язану роботу насосів подачі БР і відкачки очищеного БР з обраним режимом роботи центрифуги, контролює витрату і різницю густини БР, і, таким чином, враховує кількість твердих фаз, що вилучаються з бурового розчину.

Робота центрифуги може бути, як в ручному, так і в автоматичному режимах. Автоматичний режим дозволяє центрифугі разом із насосом живлення БР:

- 1) самостійно підібрати витрату подачі БР, оберти ротора і шнека центрифуги:

- для роботи з максимальною об'ємною продуктивністю при очищенні БР (режим «продуктивність»);
 - для роботи з максимальною глибиною очищення БР (режим «якість»).
- 2) підтримувати обрані в ручному режимі параметри роботи центрифуги і продуктивність насоса з контролем параметрів роботи системи.

Таблиця 2

Технічні характеристики центрифугальних установок

№ п/п	Найменування параметру	Значення	
		Ecomash SHS 312A-212	Ecomash SHS 512A-212
1	Профіль ротора	Циліндро-біконічний	Циліндро-біконічний
2	Експлуатаційний діапазон частот обертання ротора $n_{\min} \dots n_{\max}$, об/хв	2500...3800	1400...2650
3	Експлуатаційний діапазон фактора розділення $Fr_{\min} \dots Fr_{\max}$	1000...2500	500...2000
4	Об'ємна продуктивність по воді, $m^3/\text{год}$, max	20	50
5	Об'ємна продуктивність під час вилучення бариту, мела $m^3/\text{год}$, max	8	15
6	Об'ємна продуктивність при регулюванні характеристик бурового розчину густиною $\rho=1,25 \pm 0,3 \text{ г/см}^3$, $m^3/\text{год}$, max	15 ($n_{\text{рот}} = 3000 \text{ об/хв}$)	35 ($n_{\text{рот}} = 2500 \text{ об/хв}$) 45 ($n_{\text{рот}} = 1600 \text{ об/хв}$) 50 ($n_{\text{рот}} = 1400 \text{ об/хв}$)
7	Об'ємна продуктивність при очищенні бурових стічних вод після додаткового хімічного посилення, $m^3/\text{год}$	10	20 ⁺⁵
8	Маса, кг	1850	2850
9	Встановлена потужність, кВт	26	44,5
10	Габаритні розміри, мм		
	довжина	2115	2655
	ширина	1015	2250
	висота	1435	1600
11	Щит управління	З двома частотними перетворювачами електродвигунів приводу ротора і додаткового приводу шнека	З двома частотними перетворювачами електродвигунів приводу ротора і додаткового приводу шнека

Під час буріння свердловин в Україні високовологі відходи (згущене гідроциклонів, ситогідроциклонних установок, а також надлишки і проливи бурового розчину) скидаються в амбар.

Збільшення частки бурового розчину, що очищується на високошвидкісних і продуктивних центрифугах, до 40% і більше із загального об'єму циркулюючого бурового розчину, разом із виключенням проливів бурового розчину та зниженням вологості зневоднених відходів від апаратів системи очищення бурового розчину дають змогу здійснити безамбарне буріння, яке є обов'язковою умовою сучасного буріння.

Для зниження втрат бурового розчину в процесі буріння та організації безамбарного буріння в Україні пропонується традиційний ланцюжок апаратів системи очищення бурового розчину (див. рис. 3), який складається з вібросит, ситогідроциклонних установок і центрифуг, замінити на барабанне сито, яке самоочищується, з зазором у шпальтах 0,4... 0,5 мм, дві центрифуги широкого діапазону швидкості та продуктивності Ecomash SHS 512A-213 і одну високошвидкісну та продуктивну центрифугу Ecomash SHS 312A-213.

Транспортування бурового розчину в запропонованій системі очищення проводять дисковими напівзанурювальними насосами, що унеможливають проливи бурового розчину і диспергування твердої фази бурового розчину. У запропонованій системі очищення:

- вологість зневодненої твердої фази бурового розчину з апаратів регулюється налаштуванням апаратів у межах 23...27 % (органолептично: твердий пластилін);

- об'єм твердої фази, що виділяється (а отже, регулювання реологічних характеристик бурового розчину), регулюється як в ручному, так і в автоматичному режимі, що забезпечує високошвидкісне буріння з мінімальними втратами, а отже, економічно вигідно.

Щодо економії бурового розчину, то якщо при середній вологості бурових стічних вод $W = 70$ %, тобто на кожен тонну рідких відходів припадає $\sim 0,7 m^3$ бурового розчину, то при отриманні середньої вологості відходів 25 % у запропонованій системі очищення на кожен тонну вологих відходів економитиметься $\text{мін } 0,5 m^3$ бурового розчину. При цьому з огляду на те, що бурові стоки перейшли в розряд твердих відходів, скорочується стаття витрат на очищення бурових стічних вод.

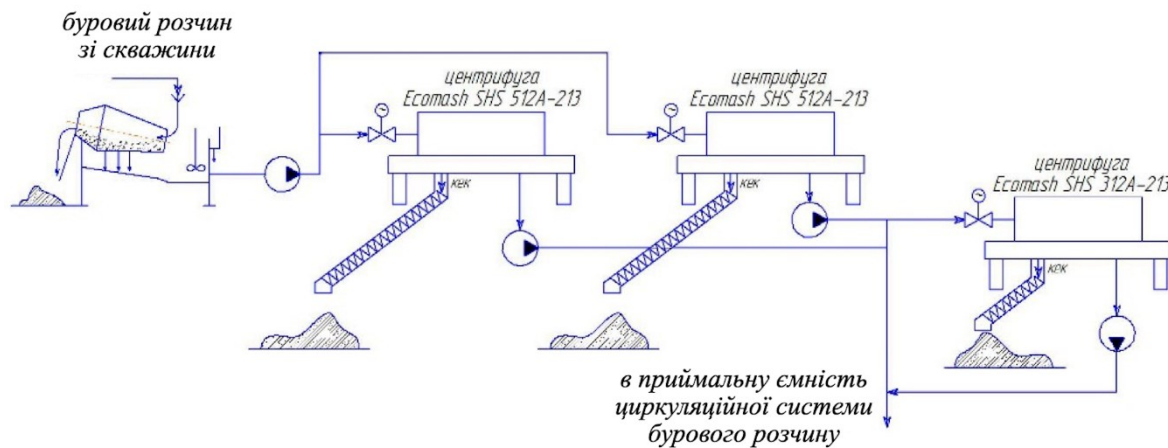


Рис. 3. Запропонована система очищення бурового розчину

Висновки

1) Застосування осаджувальних центрифуг в системах очищення бурових розчинів дозволяє значно знизити обсяг відходів, що підлягають скиду, і реалізувати безамбарне буріння, що є важливим кроком до покращення екологічної ситуації в процесі буріння свердловин в Україні.

2) На основі аналізу ефективності роботи центрифуги ОГШ-459 УХА 01М встановлено, що вона забезпечує видалення 25 кг/м^3 твердої фази з малоглинистого бурового розчину низької густини, з яких 10 кг/м^3 припадає на глинисту фазу. Центрифуга активно усуває абразивні частинки твердої фази, знижує структурно-механічні параметри без суттєвої зміни реологічних характеристик бурового розчину. Результати лабораторних досліджень підтвердили достатньо високу ефективність роботи центрифуги навіть при відносно низькій густині кека, що свідчить про доцільність її використання для покращення якості бурового розчину та зменшення вмісту активної твердої фази.

3) Збільшення частки очищеного бурового розчину до 40 % і більше із загального обсягу циркулюючого розчину, а також виключення проливів бурового розчину, сприяє зменшенню забруднення навколишнього середовища і зниженню витрат на утилізацію відходів.

4) Запропонована система очищення бурового розчину, що включає барабанне самоочищаюче сито, центрифуги з широким діапазоном швидкості і продуктивності та дискові полупогружні насоси, дозволяє досягти високої ефективності очищення і зниження вологості відходів до 25 %, що суттєво економить буровий розчин.

5) Регулювання реологічних характеристик бурового розчину та обсягу виділеної твердої фази як вручну, так і в автоматичному режимі забезпечує стабільність процесу буріння, зменшує втрати розчину та підвищує економічну вигідність процесу.

6) Економічна ефективність запропонованої системи очищення полягає в значній економії бурового розчину та зниженні витрат на його очищення, а також у скороченні витрат на утилізацію бурових стоків, які переведені до категорії твердих відходів.

7) Впровадження безамбарного буріння за допомогою вдосконалених систем очищення бурового розчину дозволить підвищити ефективність бурових робіт, знизити екологічне навантаження та зробити процес буріння більш економічно вигідним та сталим.

Література

1. Lekomtsev A. V., Mordvinov V. A., Ilyushin P. Yu., Bakaneev V. S., Kornilov K. V. Centrifugal Separation in the Treatment of Produced Water for its Subsequent Injection into a Reservoir. Chemical and Petroleum Engineering. 2021. 56(11–12), 979–987. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00872-6>
2. Deryaev, A. Engineering aspects and improvement of well drilling technologies at the Altyguyi field. Naukovij Zhurnal «Tehnika Ta Energetika». 2024. 15(2), 9–20. Internet Archive. URL: <https://doi.org/10.31548/machinery/2.2024.09>
3. Dindoruk B., Zhang F. Advances in Drilling and Completion Fluid Technologies for Protecting Oil and Gas Reservoirs: Research Progress and Development Trends. Journal of Energy Resources Technology. 2024. 146(5). URL: <https://doi.org/10.1115/1.4064472>
4. Рикусова Н. І. Вплив на навколишнє природне середовище (НПС) бурових робіт та відходів буріння нафтогазових свердловин. Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків : НТУ "ХПІ", 2017. № 20 (1242). С. 98-102. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/06434b32-b848-49b0-ba80-bcc6f9bcaf98/content>
5. Ibrahim M., Nawaz M. H., Rout P. R., Lim J.-W., Mainali B., Shahid M. K. Advances in Produced Water Treatment Technologies: An In-Depth Exploration with an Emphasis on Membrane-Based Systems and Future Perspectives. Water. 2023. 15(16), 2980. URL: <https://doi.org/10.3390/w15162980>

6. Shi M., Huang D., Zhang M., Huang Z., Guo S. Study on Optimization Parameters of Solid-Liquid Separator. IEEE Access. 2020. 8, 85051–85066. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2992793>
7. Будоний О.П. Рекультивация шламовых амбаров при бурении нефтяных и газовых скважин / О.П. Будоний, И.Ю. Матюшенко. Кременчужский национальный университет имени Михаила Остроградского. Научный журнал «Экологическая безопасность». 2011. С. 67-69. URL: [https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2011_2\(12\)/Pdf/67.pdf](https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2011_2(12)/Pdf/67.pdf)
8. Пукіш А. В. Дослідження хімічного складу та фізико-хімічних властивостей бурових стічних вод / А. В. Пукіш, Я. М. Семчук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. - № 1. – С. 141-144. URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/4833/1/2498p.pdf>
9. Воєвідко І. В., Васько А. І., Васько І. А. Основні напрямки розвитку техніко-технологічних аспектів буріння горизонтальних свердловин. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. 2022. 3(84), 67–73. URL: [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-3\(84\)-67-73](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-3(84)-67-73)
10. Shkop A., Tseitlin M., Shestopalov O. Exploring the ways to intensify the dewatering process of polydisperse suspensions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 6(10 (84)), 35–40. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86085>
11. Рикусова Н. І. Сучасні методи переробки та утилізації відходів буріння нафтогазових свердловин. Екологічні науки. 2018. Випуск 1 (20), Том 2. С. 130–135. URL: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_2/29.pdf
12. Sharif MD A., NVR N., Reddy S S., GV., Sankar K, U. Drilling Waste Management and Control the Effects. Journal of Advanced Chemical Engineering. 2017. 07(01). URL: <https://doi.org/10.4172/2090-4568.1000166>
13. Аблєєва І.Ю., Пляцук Л.Д., Зінченко В.Ю., Луценко С.В., Бережна І.О., Янченко І.О. Оцінка ефективності розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил. Гірничий вісник. Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2020. Вип. 108. С. 3–9. URL: <https://mining-journal.com.ua/uk/journals/tom-18-2-2020>

References

1. Lekomtsev A. V., Mordvinov V. A., Ilyushin P. Yu., Bakanev V. S., Kornilov K. V. Centrifugal Separation in the Treatment of Produced Water for its Subsequent Injection into a Reservoir. Chemical and Petroleum Engineering. 2021. 56(11–12), 979–987. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00872-6>
2. Deryaev, A. Engineering aspects and improvement of well drilling technologies at the Altyguyi field. Naukovij Zhurnal «Tehnika Ta Energetika». 2024. 15(2), 9–20. Internet Archive. URL: <https://doi.org/10.31548/machinery/2.2024.09>
3. Dindoruk B., Zhang F. Advances in Drilling and Completion Fluid Technologies for Protecting Oil and Gas Reservoirs: Research Progress and Development Trends. Journal of Energy Resources Technology. 2024. 146(5). URL: <https://doi.org/10.1115/1.4064472>
4. Rykusova N. I. Vplyv na navkolyshnie pryrodne seredovyshche (NPS) burovykh robit ta vidkhodiv burinnia naftohazovykh sverdlovyh. Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI": zb. nauk. pr. Ser.: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy. Kharkiv: NTU "KhPI", 2017. № 20 (1242). S. 98-102. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/06434b32-b848-49b0-ba80-bcc6f9bc9f98/content>
5. Ibrahim M., Nawaz M. H., Rout P. R., Lim J.-W., Mainali B., Shahid M. K. Advances in Produced Water Treatment Technologies: An In-Depth Exploration with an Emphasis on Membrane-Based Systems and Future Perspectives. Water. 2023. 15(16), 2980. URL: <https://doi.org/10.3390/w15162980>
6. Shi M., Huang D., Zhang M., Huang Z., Guo S. Study on Optimization Parameters of Solid-Liquid Separator. IEEE Access. 2020. 8, 85051–85066. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2992793>
7. Budonyi O.P. Rekul'tyvatsiia shlamovykh ambariv pry burinni naftovykh i hazovykh sverdlovyh / O.P. Budonyi, I.Iu. Matiushenko. Kremenchutskiy natsionalnyi universytet imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Naukovyi zhurnal «Ekolohichna bezpeka». 2011. S. 67-69. URL: [https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2011_2\(12\)/Pdf/67.pdf](https://www.kdu.edu.ua/EKB_jurnal/2011_2(12)/Pdf/67.pdf)
8. Pukish A. V. Doslidzhennia khimichnoho skladu ta fizyko-khimichnykh vlastyvostei burovykh stichnykh vod / A. V. Pukish, Ya. M. Semchuk // Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. – 2007. - № 1. – S. 141-144. URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/4833/1/2498p.pdf>
9. Voievdko I. V., Vasko A. I., Vasko I. A. Osnovni napriamky rozvytku tekhniko-tekhnolohichnykh aspektiv burinnia horizontalnykh sverdlovyh. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. 2022. 3(84), 67–73. URL: [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-3\(84\)-67-73](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-3(84)-67-73)
10. Shkop A., Tseitlin M., Shestopalov O. Exploring the ways to intensify the dewatering process of polydisperse suspensions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 6(10 (84)), 35–40. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86085>
11. Rykusova N. I. Suchasni metody pererobky ta utylizatsii vidkhodiv burinnia naftohazovykh sverdlovyh. Ekolohichni nauky. 2018. Vypusk 1 (20), Tom 2. S. 130–135. URL: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_2/29.pdf
12. Sharif MD A., NVR N., Reddy S S., GV., Sankar K, U. Drilling Waste Management and Control the Effects. Journal of Advanced Chemical Engineering. 2017. 07(01). URL: <https://doi.org/10.4172/2090-4568.1000166>
13. Ablieieva I.Iu., Pliatsuk L.D., Zinchenko V.Iu., Lutsenko S.V., Berezhna I.O., Yanchenko I.O. Otsinka efektyvnosti rozdielennia burovoho shlamu u poli dii vidtsentrovoykh syl. Hirnychi visnyk. Kryvyi Rih: Kryvorizkyi natsionalnyi universytet, 2020. Vyp. 108. S. 3–9. URL: <https://mining-journal.com.ua/uk/journals/tom-18-2-2020>