

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛУЦЕНКО СЕРГІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 502.174:621.928.3:628.4.04(477)(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОВОДЖЕННЯ З
БУРОВИМИ ВІДХОДАМИ**

Спеціальність – 183 Технології захисту навколишнього середовища

Галузь знань – 18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ Луценко С.В.

Наукові керівники – Пляцук Леонід Дмитрович, доктор технічних наук, професор; Аблєєва Ірина Юрїївна, доктор технічних наук, доцент

Суми – 2023

АНОТАЦІЯ

Луценко С.В. Екологічно безпечна технологія поводження з буровими відходами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища. – Сумський державний університет, Суми, 2023.

Дисертація присвячена вирішенню науково-практичних завдань щодо комплексного екологічного вирішення проблеми поводження з відходами буріння, а саме буровим шламом, відпрацьованим буровим розчином, аналізу рівня техногенного навантаження в регіонах видобування нафти та газу.

Серед багатьох технологічних схем, способів та методів утилізації відходів буріння повністю ефективною та екологічно безпечною технологією не існує. Це пояснюється тим, що часто не враховуються геологічні та природно-кліматичні особливості територій та технологічні аспекти проведення робіт. Тому наукове обґрунтування, розроблення та впровадження найбільш оптимальної технологічної схеми утилізації бурових відходів з урахуванням індивідуальних параметрів та особливостей відходів є актуальною проблемою, на розв'язання якої спрямовані дисертаційні дослідження.

Метою роботи є розроблення та впровадження екологічно безпечної технології поводження з буровими відходами, а саме розділення бурового шламу в полі дії відцентрових сил на фази, за допомогою коагулянтів та флокулянтів з подальшим використанням отриманих фаз.

Основними завданнями дисертаційних досліджень було аналізування впливу бурових відходів на навколишнє природне середовище та сучасні методи і технології поводження з ними; розроблення методики проведення експерименту та дослідження властивостей бурових відходів; оцінювання екологічної безпеки бурових відходів до та після розділення; встановлення ступеню осушення бурових відходів у центрифугі залежно від типу основи

бурового розчину та його реологічних властивостей; обґрунтування інтенсифікації процесу розділення бурового шламу за допомогою додавання коагулянта та флокулянта; проведення математичного моделювання процесу розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил; удосконалення технологічної схеми екологічно безпечної технології утилізації бурових відходів; оцінка збитку за засмічення ґрунтової поверхні буровими відходами та еколого-економічної ефективності розробленої технології.

Дисертаційна робота є завершеним дослідженням у науковому напрямку технології захисту навколишнього середовища. Основні положення, розробка та обґрунтування наукової новизни та практичного значення дисертаційної роботи отримано автором самостійно.

Основні результати роботи доповідались та опубліковані в матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій та наукових виданнях.

Із метою підвищення рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій та ефективності поводження з буровими відходами одержані такі нові наукові та практичні результати.

Вперше розроблено науково-методичні основи хімічної інтенсифікації процесу очищення відпрацьованого бурового розчину з відділенням твердої фази на основі реологічних властивостей бурового розчину, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки досліджуваного процесу.

Науково обґрунтовано та експериментально підтверджено залежність ступеня осушення бурового шламу у центрифугі від типу основи бурового розчину, що обумовлено різними реологічними властивостями глинистих матеріалів та вуглеводнів.

З метою підвищення рівня екологічної безпеки утилізації окремих фаз бурових відходів встановлено закономірності розподілення хімічних елементів, зокрема важких металів, між рідкою та твердою фазами відпрацьованого бурового розчину та бурового шламу після розділення у центрифугі.

Набули подальшого розвитку методичні засади еколого-технічних рішень щодо розділення бурових відходів у відцентровому полі та застосування центрифуг у комплексній схемі поводження з відходами, що дозволило знизити техногенне навантаження на навколишнє природне середовище від нафтовидобувної діяльності.

Вдосконалено науково-методичний підхід до розрахунку еколого-економічних збитків від забруднення ґрунтової поверхні буровими відходами, що містять нафтові вуглеводні, на підставі результатів математичного моделювання геофільтрації нафти.

Розроблено спосіб поводження з буровими відходами, що передбачає їх розділення у центрифусі чи декантері на рідку і тверду фази з метою роздільної утилізації одержаних фаз. Такий підхід є екологічно безпечним та економічно доцільним, оскільки рідка фаза відповідає нормативним показникам якості для повторного застосування під час приготування бурового розчину, а тверду фазу можна успішно утилізувати хімічним способом, що забезпечує зв'язування важких металів.

Удосконалено технологічну схему розділення шламу, зокрема впроваджено одночасне застосування коагулянта та флокулянта з обґрунтуванням оптимальних доз під час підготовки бурового шламу до сепарації. Для максимально ефективного розділення бурових відходів на фази включено в технологічну схему сепарації шламу установку автоматичний блок керування температурою. Використання вертикального осушувача в технологічній схемі значно забезпечує зниження вологості шламу, що дозволяє підвищити ефективність розділення шламу на фази, з подальшим їх використанням як окремого ресурсу.

Практична реалізація на базі ТОВ «Укрнафтозапчастина» запропонованих методичних підходів до підвищення ефективності роботи осушувача ОВШ-950 за рахунок застосування хімічної попередньої підготовки бурових відходів та

визначення комплексу параметрів для аналізування ступеню екологічної безпеки твердої фази бурового шламу, одержаного на виході із центрифуги.

У межах виконання дисертаційних досліджень одержано такі науково обґрунтовані результати. Розроблено методику експерименту, що передбачає дослідження властивостей бурових відходів до та після розділення, зокрема за показниками екологічної безпеки; встановлення закономірностей розділення відходів у центрифугі у разі інтенсифікації процесу хімічним коагулюванням та флокуванням. Запропоновано методи дослідження та показники оцінювання рівня екологічної безпеки бурових відходів до та після розділення.

Запропоновано використовувати ступінь осушення твердої фази у центрифугі як показник ефективності інтенсифікації та параметрів робочого режиму осушувача. Розглянуто механізм коагулювання та флокування як методів інтенсифікації осадження зважених частинок та відповідно ефективності розділення шламу на тверду і рідку фази, та ступеня осушення твердої фази шламу.

Показано результативність розділення бурових шламів, утворених у результаті буріння свердловин із застосуванням різних основ для бурових розчинів, на центрифугі, та осушення осаду в осушувачі ОВШ-950.

Рівень вмісту небезпечних забруднювальних речовин (ферум, нікель, купрум, плюмбум, хром) у зразках бурового шламу до розділення на центрифугі та в одержаній твердій фазі відрізняється, зокрема прослідковується тенденція до концентрування важких металів у твердій фазі, проте їх концентрація знаходиться у межах нормативно допустимих значень. Коефіцієнт екологічної безпеки твердої фази знаходиться у межах допустимого значення ($K < 1$), що дозволяє зробити висновок про ступінь екологічної безпеки твердої фази на рівні прийнятного.

Встановлено, що осушувач вертикальний ОВШ-950 забезпечує ступінь осушення бурового шламу залежно від типу бурового розчину, що використовувався, на рівні від 51 % до 82 % для ІЕР Witer II та глиняно-

полімерної основи відповідно. Обґрунтовано взаємозв'язок вищого ступеня осушення для зразків на глиняно-полімерній основі з реологічними властивостями та показником водовіддачі.

Встановлено оптимальні дози коагулянта та флокулянта; доведено, що додавання коагулянта алюміній сульфату на рівні 35 % мас. від частки механічних домішок та флокулянта хітозану на рівні 0,4 % мас. з підтриманням кислої реакції середовища (рН на рівні 5–5,5 од.) забезпечує ступінь осушення твердої фази до 95–98 %.

Проведено математичне моделювання процесу розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил. Одержано залежності глибини проникнення нафти в ґрунті залежно від параметрів ґрунту, нафти та навколишнього середовища, зокрема визначальним є вологість та пористість ґрунту.

Удосконалено технологічну схему екологічно безпечної технології утилізації бурових відходів за рахунок застосування вискоелективної центрифуги ОВШ-950 для розділення бурових відходів та інтенсифікації процесу шляхом додавання оптимальних доз коагулянта алюміній сульфату та флокулянта хітозану. Проведено інженерний розрахунок основного обладнання центрифуги ОВШ-950 на основі енергетичних витрат, що дозволяє обґрунтувати доцільність та економічну ефективність її застосування у розробленій технологічній схемі.

Оцінено еколого-економічний ефект від впровадження запропонованої технології захисту довкілля за рахунок економії на сплаті екологічного податку та збитку за засмічення ґрунтової поверхні буровими відходами, що становить 2 595,240 тис. грн. Розраховано еколого-економічну ефективність розробленої технології з урахуванням капітальних та поточних витрат на реалізацію проєкту, що складає 328,307 тис. грн.

Ключові слова: відходи буріння, техногенне навантаження, екологічна безпека, буровий шлам, буровий розчин, забруднюючі речовини, декантер, трикантер, технологія розділення, реологія, центрифуга.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у фахових наукових виданнях із переліку МОН України

1. Ablieieva I., Plyatsuk L., Yanchenko I., Zinchenko V., Berezhna I., Lutsenko S., Prast A. E. Assessment of environmental safety of solid phase of drilling sludge after centrifusion separation. *Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»*. 2020. Vol. 8(2/2020). P. 3–11.

2. Аблеєва 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.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, які індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science

3. Ablieieva I., Plyatsuk L., Roi I., Chekh O., Gabbassova S., Zaitseva K., Lutsenko S. Study of the oil geopermeation patterns: a case study of ANSYS CFX software application for computer modeling. *Journal of Environmental Management*. 2021. Volume 287. P. 112347. **(Web of Science, Scopus, Q1)**

4. Ablieieva I., Berezhna I., Berezhnyi D., Prast A. E., Geletukha G., Lutsenko S., Yanchenko I., Carraro G. Technologies for Environmental Safety Application of Digestate as Biofertilizer. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, Issue 3. P. 106–119. **(Scopus)**

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Луценко С.В., Аблеєва І. Ю. Утилізація нафтового шламу у відцентровому полі. *Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції (Суми, 16–19 квітня 2019 р.)*. Суми: Сумський державний університет, 2019. С. 172–173.

6. Аблєєва І.Ю., Луценко С.В., Янченко І.О. Утилізація нафтового шламу у відцентровому полі: світовий досвід. *VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* (Екологія/Ecology–2019) : збірник наукових праць (Вінниця, 25–27 вересня, 2019 р.). Вінниця: ВНТУ, 2019. С. 40.

7. Луценко С.В., Аблєєва І.Ю., Пляцук Л.Д. Аналіз фазового складу відходів буріння для обґрунтування екологічно безпечної технології утилізації. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.). Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 158.

8. Луценко С. В., Бережна І. О., Янченко І. О. Практичні аспекти покращення ефективності утилізації нафтошламів та відходів буріння. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів VI Міжнародного конгресу (Львів, 23–25 вересня 2020 р.). Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2020. С. 138.

9. Луценко С.В., Аблєєва І.Ю., Пляцук Л.Д., Янченко І.О. Підвищення ефективності розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил з використанням температурного впливу. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів 6-го Міжнародного молодіжного конгресу (Львів, 9-10 лютого 2021). Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. С. 149.

10. Луценко С.В., Аблєєва І.Ю., Пляцук Л.Д. Інтенсифікація та посилення показника ефективності розділення бурових шламів у полі дії відцентрових сил. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 20–23 квітня 2021 р.). Суми : Сумський державний університет, 2021. С. 136.

11. Plyatsuk L., Lutsenko S. Separation of drilling waste in the centrifugal field using a tricanter. *The II International Science Conference «Issues of practice and science»* (September 27–29, 2021). London, Great Britain, 2021. P. 170-171.

12. Аблєєва І.Ю., Лук'яненко Є.В., Янченко І.О., Луценко С.В. Технології захисту гідросфери від нафти та нафтопродуктів. *Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2021*: збірка матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих вчених (Харків, 27 жовтня 2021 р.). Харків: ХНАДУ, 2021. С. 34-36.

13. Луценко С.В., Пляцук Л.Д., Аблєєва І.Ю. Визначення екологічної безпеки бурового шламу залежно від глибини буріння. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування*: матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції молодих вчених (Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2021. С. 172-173.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

14. Спосіб розділення відходів буріння нафтових свердловин з подальшою утилізацією окремих фракцій / Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Луценко С. В., Янченко І. О. Пат. 146525 Україна, МПК (2019.01) C02F 11/12; заявник та патентовласник Сумський державний університет. – № u202006531; заявл. 09.10.2020; опубл. 24.02.2021, бюл. № 8. – 4 с.

ABSTRACT

Lutsenko S.V. Environmentally safe technology of drilling waste management. – Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 183 – Environmental Protection Technologies. – Sumy State University, Sumy, 2023.

The dissertation is devoted to solving scientific and practical problems of integrated environmental solutions to the problem of drilling waste management, namely drill cuttings, spent drilling mud, analysis of the level of technogenic load in oil and gas production regions.

Among the many technological schemes, methods and techniques of drilling waste utilization, there is no fully effective and environmentally safe technology. This is because the geological and climatic features of the territories and technological aspects of the work are often not taken into account. Therefore, the scientific substantiation, development, and implementation of the most optimal technological scheme for the utilization of drilling waste, taking into account individual parameters and characteristics of the waste, is an urgent problem that the dissertation research is aimed at solving.

The aim of the work is to develop and implement an environmentally friendly drilling waste management technology, namely the separation of drill cuttings into phases under centrifugal forces using coagulants and flocculants with the subsequent use of the resulting phases.

The main objectives of the dissertation research were to analyze the impact of drill cuttings on the environment and modern methods and technologies for their management; to develop a methodology for conducting an experiment and studying the properties of drill cuttings; to assess the environmental safety of drill cuttings before and after separation; to establish the degree of dewatering of drill cuttings in a centrifuge depending on the type of drilling mud base and its rheological properties; substantiation of the intensification of the drill cuttings separation process by adding coagulant and flocculant; mathematical modeling of the drill cuttings separation process in the field of centrifugal forces; improvement of the technological scheme of environmentally safe drill cuttings utilization technology; assessment of damage for soil surface contamination by drill cuttings and environmental and economic efficiency of the developed technology.

The thesis is a completed research in the scientific field of environmental protection technology. The main provisions, development and substantiation of the scientific novelty and practical significance of the dissertation were obtained by the author independently.

The main results of the work were presented and published in the proceedings of international and national conferences and scientific journals.

The following new scientific and practical results were obtained in order to improve the level of environmental safety of oil producing areas and the efficiency of drilling waste management.

For the first time, the scientific and methodological bases of chemical intensification of the process of purification of spent drilling mud with the separation of the solid phase based on the rheological properties of the drilling mud were developed, which made it possible to increase the level of environmental safety of the studied process.

The dependence of the degree of drill cuttings dewatering in a centrifuge on the type of drilling mud base has been scientifically substantiated and experimentally confirmed, which is due to the different rheological properties of clay materials and hydrocarbons.

In order to increase the level of environmental safety of the utilization of certain phases of drilling waste, the regularities of the distribution of chemical elements, in particular heavy metals, between the liquid and solid phases of spent drilling mud and drill cuttings after separation in a centrifuge were established.

The methodological foundations of environmental and technical solutions for separation of drilling waste in a centrifugal field and the use of centrifuges in a comprehensive waste management scheme were further developed, which made it possible to reduce the technogenic load on the environment from oil production activities.

The scientific and methodological approach to calculating environmental and economic damage from soil surface contamination by drilling waste containing oil

hydrocarbons based on the results of mathematical modeling of oil geofiltration was improved.

A method of drilling waste management has been developed that involves separating drilling waste into liquid and solid phases in a centrifuge or decanter for separate utilization of the resulting phases. This approach is environmentally safe and economically feasible, since the liquid phase meets the regulatory quality indicators for reuse in the preparation of drilling mud, and the solid phase can be successfully utilized by chemical means that ensures the binding of heavy metals.

The technological scheme of sludge separation was improved, in particular, the simultaneous use of coagulant and flocculant was introduced with justification of optimal doses during the preparation of drill cuttings for separation. To ensure the most efficient separation of drilling waste into phases, an automatic temperature control unit was included in the sludge separation process flow chart. The use of a vertical dehumidifier in the technological scheme significantly reduces the sludge moisture content, which allows to increase the efficiency of sludge separation into phases, with their subsequent use as a separate resource.

Practical implementation on the basis of Ukrnaftozapchastyna LLC of the proposed methodological approaches to improving the efficiency of the Vertical sludge dryer VSD-950 dryer by applying chemical pretreatment of drilling waste and determining a set of parameters for analyzing the degree of environmental safety of the solid phase of drilling cuttings obtained at the outlet of the centrifuge.

As part of the dissertation research, the following scientifically substantiated results were obtained.

An experimental methodology has been developed that involves studying the properties of drilling waste before and after separation, in particular, according to environmental safety indicators; establishing the laws of waste separation in a centrifuge in the case of process intensification by chemical coagulation and flocculation. Methods of research and indicators for assessing the level of environmental safety of drilling waste before and after separation are proposed.

It is proposed to use the degree of dewatering of the solid phase in the centrifuge as an indicator of the efficiency of intensification and the parameters of the operating mode of the drier. The mechanism of coagulation and flocculation as methods of intensifying the deposition of suspended particles and, accordingly, the efficiency of sludge separation into solid and liquid phases, and the degree of dewatering of the solid phase of the sludge are considered.

The paper shows the effectiveness of separation of drill cuttings formed as a result of drilling wells using different bases for drilling fluids on a centrifuge and drying the sludge in the VSD-950 dehumidifier.

The level of hazardous pollutants (ferrous, nickel, copper, plumbum, chromium) in the drill cuttings samples before separation by centrifuge and in the resulting solid phase differs, in particular, there is a tendency to concentrate heavy metals in the solid phase, but their concentration is within the limits of regulatory permissible values. The coefficient of environmental hazard of the solid phase is within the permissible value ($K < 1$), which allows us to conclude that the degree of environmental hazard of the solid phase is acceptable.

It has been established that the vertical dehumidifier VSD-950 provides a degree of drilling sludge dewatering depending on the type of drilling mud used at the level of 51 % to 82 % for IEP Witer II and clay-polymer base, respectively. The relationship between the higher degree of dewatering for clay-polymer-based samples and rheological properties and water transfer rate was substantiated.

The optimal doses of coagulant and flocculant were determined; it was proved that the addition of coagulant aluminum sulfate at the level of 35 % by weight of the proportion of mechanical impurities and flocculant chitosan at the level of 0.4 % by weight with the maintenance of an acid reaction of the medium (pH at the level of 5–5.5 units) provides a degree of dewatering of the solid phase up to 95–98 %.

The mathematical modeling of the process of drill cuttings separation in the field of centrifugal forces is carried out. Dependences of the depth of oil penetration in the

soil on the parameters of the soil, oil, and the environment were obtained, in particular, soil moisture and porosity.

The technological scheme of environmentally friendly drilling waste utilization technology was improved by using a high-efficiency centrifuge VSD-950 for separation of drilling waste and intensification of the process by adding optimal doses of aluminum sulfate coagulant and chitosan flocculant. An engineering calculation of the main equipment of the VSD-950 centrifuge based on energy consumption was carried out, which allows us to substantiate the feasibility and economic efficiency of its use in the developed technological scheme.

The ecological and economic effect of the proposed environmental protection technology implementation due to savings on environmental tax payment and damage for soil contamination with drilling waste, which amounts to 2 595,240 UAH thousand, is estimated. The ecological and economic efficiency of the developed technology is calculated, taking into account the capital and current costs of the project, which amount to 328,307 UAH thousand.

Keywords: drilling waste, technogenic load, environmental safety, drilling sludge, drilling mud, pollutants, decanter, tricanter, separation technology, rheology, centrifuge.

List of publications

Scientific works, in which the main scientific results of the dissertation are published

Articles in professional scientific publications from the list of the Ministry of Education and Science of Ukraine

1. Ablieieva I., Plyatsuk L., Yanchenko I., Zinchenko V., Berezhna I., Lutsenko S., Prast A. E. Assessment of environmental safety of solid phase of drilling sludge after centrifusion separation. *Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»*. 2020. Vol. 8(2/2020). P. 3–11.

2. Ablieieva I. Yu., Plyatsuk L. D., Zinchenko V. Yu., Lutsenko S. V., Berezhna I. O., Yanchenko I. O. Evaluation of the efficiency of drilling mud separation in the field of action of centrifugal forces. *Mining Bulletin*. 2020. Vol. 108. P. 3–9.

Articles in scientific periodicals of other states and publications, which are indexed by databases of Scopus and Web of Science

3. Ablieieva I., Plyatsuk L., Roi I., Chekh O., Gabbassova S., Zaitseva K., Lutsenko S. Study of the oil geopermeation patterns: a case study of ANSYS CFX software application for computer modeling. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 287. P. 112347. **(Web of Science, Scopus, Q1)**

4. Ablieieva I., Berezhna I., Berezhnyi D., Prast A. E., Geletukha G., Lutsenko S., Yanchenko I., Carraro G. Technologies for Environmental Safety Application of Digestate as Biofertilizer. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, Issue 3. P. 106–119. **(Scopus)**

Scientific works, testifying the approbation of dissertation materials

5. Lutsenko S.V., Ableeva I.Yu. Utilization of oil sludge in a centrifugal field. *Modern technologies in industrial production: materials of the VI All-Ukrainian scientific and technical conference* (Sumy, April 16–19, 2019). Sumy: Sumy State University, 2019. P. 172–173.

6. Ableeva I.Yu., Lutsenko S.V., Yanchenko I.O. Utilization of oil sludge in a centrifugal field: world experience. *The 6th All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation* (Ecology/Ecology–2019) : Collection of scientific papers September 25–27, 2019. Vinnytsia: VNTU, 2019. P. 40.

7. Lutsenko S.V., Ableeva I.Yu., Plyatsuk L.D. Analysis of the phase composition of drilling waste for the justification of environmentally safe disposal technology. *Modern technologies in industrial production: materials of the VII All-Ukrainian scientific and technical conference* (Sumy, April 21–24, 2020). Sumy: Sumy State University, 2020. P. 158.

8. Lutsenko S. V., Berezhna I. O., Yanchenko I. O. Practical aspects of improving the efficiency of oil sludge and drilling waste utilization. *Materials of the VI International Congress "Sustainable Development: Environmental Protection. Energy saving. Balanced nature management"* (Lviv, September 23–25, 2020). Lviv: Western Ukrainian Consulting Center (ZUKC), LLC, 2020. P. 138.

9. Lutsenko S.V., Ableeva I.Yu., Plyatsuk L.D., Yanchenko I.O. Increasing the efficiency of drilling mud separation in the field of action of centrifugal forces using temperature influence. *Sustainable development: environmental protection. Energy saving. Balanced use of nature: collection of materials of the 6th International Youth Congress* (Lviv, February 9–10, 2021). Lviv: Western Ukrainian Consulting Center (ZUKC), LLC, 2021. P. 149.

10. Lutsenko S.V., Ableeva I.Yu., Plyatsuk L.D. Intensification and strengthening of the efficiency indicator of the separation of drilling muds in the field of action of centrifugal forces. *Modern technologies in industrial production: materials of the VIII All-Ukrainian scientific and technical conference* (Sumy, April 20–23, 2021). Sumy: Sumy State University, 2021. P. 136.

11. Plyatsuk L., Lutsenko S. Separation of drilling waste in the centrifugal field using a tricanter. *The II International Science Conference «Issues of practice and science»*, (September 27–29, 2021). London, Great Britain, 170-171.

12. Ableeva I.Yu., Lukyanenko E.V., Yanchenko I.O., Lutsenko S.V. Hydrosphere protection technologies from oil and oil products. *Branch problems of environmental safety - 2021: a collection of materials of the International scientific and practical conference with the participation of young scientists* (Kharkiv, October 27, 2021). Kharkiv: Khnadu, 2021. P. 34-36.

13. Lutsenko S.V., Plyatsuk L.D., Ableeva I.Yu. Determination of environmental safety of drilling mud depending on drilling depth. *Ecology, neoecology, environmental protection and balanced nature management: materials of the 10th International Scientific Conference of Young Scientists* (Kharkiv, November 25–26, 2021). Kharkiv: KhNU named after V.N. Karazina, 2021. P. 172-173.

Scientific works, which additionally reflect the scientific results of the dissertation

14. Method of separation of drilling waste from oil wells with subsequent utilization of individual fractions / Ablicieva I. Yu., Plyatsuk L. D., Lutsenko S. V., Yanchenko I. O. Patent 146525 Ukraine, IPC (2019.01) C02F 11/12; applicant and patent owner Sumy State University. – № u202006531; declared 10.09.2020; publ. 24.02.2021, bul. № 8. – 4 p.

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	22
Розділ 1. Еколого-техногенна проблематика утворення та поведження з відходами буріння	29
1.1 Загальна характеристика відходів нафтогазового видобування.....	29
1.2 Техногенне навантаження на довкілля від відходів буріння та оцінка впливу родовищ на компоненти довкілля.....	32
1.3 Критичний аналіз існуючих методів поведження з відходами буріння.....	39
1.3.1 Аналіз способів поведження з ВБР	40
1.3.2 Аналіз способів поведження з БШ	42
1.4 Аналіз обладнання, що застосовується для розділення бурового шламу..	45
1.5 Аналіз факторів, що впливають на розділення бурового шламу.....	53
1.6 Постановка задач дослідження.....	56
Розділ 2. Об'єкт та методи дослідження.....	58
2.1 Характеристика родовища та зразків досліджуваного бурового шламу.....	58
2.1.1 Опис Семиренківського та Мачухського родовищ.....	58
2.1.2 Характеристика зразків бурового шламу.....	63
2.2 Методика проведення експерименту.....	66
2.3 Методи дослідження ефективності осушення бурового шламу	70
2.4 Методика дослідження екологічної безпеки бурового шламу, хімічного та фазового складу.....	73
2.5 Методи дослідження інтенсифікації процесу розділення бурового шламу.....	75
2.6 Статистичний аналіз.....	79
Висновки до розділу 2	80
Розділ 3. Результати експериментальних досліджень розділення бурового шламу на окремі фази.....	81
3.1 Дослідження екологічної безпеки твердої фази БШ.....	81

3.1.1 Дослідження хімічного (елементного) складу зразків БШ	81
3.1.2 Дослідження фазового складу зразків БШ.....	87
3.2 Дослідження ступеня ефективності осушення.....	89
3.3 Підвищення ефективності процесу розділення відходів.....	94
Висновки до розділу 3	101
Розділ 4. Математичне моделювання технології захисту довкілля.....	103
4.1 Фізичне моделювання процесу розділення бурових відходів	103
4.2 Математичне моделювання процесу розділення бурових відходів.....	106
4.2.1 Постановка задачі оптимізації досліджуваного процесу.....	106
4.2.2 Опис математичної моделі ефективності осушення шламу	108
4.2.3 Аналіз одержаних результатів	114
4.3 Моделювання процесу забруднення ґрунту нафтовміщуючими буровими відходами.....	119
Висновки до розділу 4.....	122
Розділ 5. Технологічні рішення розробленого екологічно безпечного проекту із захисту довкілля	123
5.1 Технологічна схема процесу розділення бурових відходів.....	123
5.2 Інженерний розрахунок обладнання та установок.....	127
5.3 Еколого-економічна ефективність технології захисту довкілля.....	130
5.3.1 Еколого-економічний ефект від застосування розробленої технології захисту довкілля	130
5.3.2 Оцінка еколого-економічної ефективності реалізації розробленої технології	137
Висновки до розділу 5.....	140
Висновки.....	141
Список джерел літератури.....	143
Додатки.....	159

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Умовні позначення, символи

- m_0 – маса сухого порожнього б'юкса з кришкою, г;
- m_1 – маса закритого б'юкса з вологим БШ, г;
- m_2 – маса закритого б'юкса з висушеним у сушильній шафі БШ, г;
- W_1 – вологість зразку шламу до осушувача (на вході), %;
- W_2 – вологість зразку шламу після осушувача (на виході), %;
- pH – водневий показник, од;
- A – площа поперечного перерізу, м²;
- R – радіус, м;
- V – об'єм, м³;
- t – час, с;
- E – ефективність розділення (сепарації), %;
- L – довжина, м;
- N_{\max} – потужність що витрачається на роботу центрифуги, кВт;
- Ов – об'єм відходів, м³;
- Пдз – площа засміченої ділянки, м²;
- Гоз – нормативна грошова оцінка земельної ділянки, грн/м²;
- Ршз – розмір шкоди від засмічення земельної ділянки, грн.

Скорочення

- БВ – бурові відходи
- БР – буровий розчин
- БСВ – бурові стічні води
- БШ – буровий шлам
- ВБР – відпрацьований буровий розчин

ОВШ – осушувач вертикальний шламовий

ПАА – поліакриламід

ПАР – поверхнево-активні речовини

ЖЦ – життєвий цикл

ОЖЦ – оцінка життєвого циклу

ВСТУП

Актуальність теми. Наша країна має досить потужний потенціал щодо видобування запасів нафтових вуглеводнів на своїй території. Основна частина природних копалин держави утворена покладами нафти та газу в різних областях та на різних глибинах, включаючи морські акваторії. Водночас, видобування нафти та газу не є екологічно чистим, безпечним та безвідходним процесом. Навпаки, під час спорудження свердловин, розвідувальних робіт та подальшого промислового видобутку нафти і газу, за один метр прокладання, буріння або проходки, в середньому може утворюватись 1,05 м³ бурових відходів.

Буріння свердловин для видобутку нафти та газу відбувається за допомогою різноманітних технологій, які створюють значні кількості відходів. Ці відходи можуть бути як у твердій, так і у рідкій формі, і представлені в багатьох виглядах, таких як буровий шлам, відпрацьований буровий розчин, та бурові стічні води. Техногенний вплив бурових відходів на навколишнє середовище є значним, оскільки вони можуть забруднити всі його компоненти. Негативний антропогенний вплив на підземні та поверхневі води, а також ґрунти досить значний. Атмосферне повітря також забруднюється. Це відбувається першочергово внаслідок випаровування з відкритих поверхонь шламонакопичувачів.

Окремої уваги з позицій екологічної безпеки заслуговують дестабілізуючі процеси в екосистемах, порушення та дестабілізація природного балансу, значне зменшення біорізноманіття, що викликані нафтовидобувальною діяльністю. Тому, необхідно вживати ефективні заходи для зменшення техногенного впливу на природне середовище.

Саме тому в Україні досить гостро стоїть питання впровадження екологічно безпечної та економічно ефективної технології утилізації відходів буріння. На сьогодні основним методом поводження з відходами буріння є накопичення їх в бурових амбарах. Бурові (шламові) амбари проєктують та

будують поблизу місця видобування, на спеціально підготовлених земельних ділянках. Проте цей метод не забезпечує ефективну та екологічно безпечну утилізацію відходів, а навпаки, довготривале зберігання та накопичення відходів буріння призводить до негативного впливу на якість та стан компонентів довкілля, тим самим підвищуючи техногенне навантаження на навколишнє природне середовище. Більш раціональним та доцільним є мінімізація, перероблення та рециклінг відходів буріння.

Серед багатьох технологічних схем, способів та методів утилізації відходів буріння повністю ефективною та екологічно безпечною технологією не існує. Це пояснюється тим, що часто не враховуються геологічні та природно-кліматичні особливості територій та технологічні аспекти проведення робіт. Тому наукове обґрунтування, розроблення та впровадження найбільш оптимальної технологічної схеми утилізації бурових відходів з урахуванням індивідуальних параметрів та особливостей відходів є актуальною проблемою, на розв'язання якої спрямовані дисертаційні дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2022 року з розділу «Раціональне природокористування» і стратегічним пріоритетним напрямкам інноваційної діяльності в Україні на 2011–2022 рр. «Широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища».

Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету, пов'язаних із тематиками «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної, машинобудівної промисловості та теплоенергетики» (номер державної реєстрації 0116U006606), «Зниження техногенного навантаження на довкілля від об'єктів нафтовидобування: перспективи застосування біотехнологій» (номер державної реєстрації 0121U114460) та «Оцінка техногенного навантаження регіону за зміни

промислової інфраструктури» (№ державної реєстрації 0121U114478) згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України, в яких автор брав участь як виконавець.

Мета дослідження. Метою роботи є розроблення та впровадження екологічно безпечної технології поводження з буровими відходами, а саме розділення бурового шламу в полі дії відцентрових сил на фази, за допомогою коагулянтів та флокулянтів з подальшим використанням отриманих фаз.

Завдання досліджень. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати вплив бурових відходів на навколишнє природне середовище та сучасні методи і технології поводження з ними;
- розробити методику проведення експерименту та дослідження властивостей бурових відходів;
- оцінити екологічну безпеку бурових відходів до та після розділення;
- встановити ступінь осушення бурових відходів у центрифугі залежно від типу основи бурового розчину та його реологічних властивостей;
- обґрунтувати інтенсифікацію процесу розділення бурового шламу за допомогою додавання коагулянта та флокулянта;
- провести математичне моделювання процесу розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил;
- удосконалити технологічну схему екологічно безпечної технології утилізації бурових відходів;
- оцінити збиток за засмічення ґрунтової поверхні буровими відходами та еколого-економічну ефективність розробленої технології.

Об'єкт дослідження – екологічно безпечний процес розділення бурових відходів на окремі фази з їх подальшою роздільною утилізацією.

Предмет дослідження – підвищення ефективності процесу розділення бурових відходів за допомогою додавання флокулянта та коагулянта.

Методи дослідження. Під час проведення експериментальних досліджень фазовий склад досліджуваних зразків визначали за допомогою рентгенодифракційного методу, хімічний (елементний) склад зразків – за допомогою рентгено-флуоресцентного, для визначення вмісту важких металів використовували атомно-адсорбційний аналіз.

Моделювання технологічних процесів проводили на основі методів оптимізації із застосуванням комп'ютерних технологій та електроніки. Результати моделювання проникнення нафти через ґрунт візуалізовано з використанням програмного забезпечення ANSYS CFX. Використано Для підтримання експерименту застосовано ліцензовані програмні пакети DifWin-1, Autodesk 3DS Max.

Статистичний аналіз проводили з використанням ліцензованого програмного забезпечення MS Excel, SPSS (IBM SPSS Statistics, 29.0.0.0) та Matlab (MathWorks, R2020a). Для кожного експерименту та аналізу розраховували стандартні відхилення. Односторонній дисперсійний аналіз ANOVA та метод кореляції Пірсона використовувалися для оцінки статистичної значущості та визначення значущих взаємозв'язків для результатів експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. Із метою підвищення рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій та ефективності поводження з буровими відходами одержані такі нові наукові результати:

вперше:

– розроблено науково-методичні основи хімічної інтенсифікації процесу очищення відпрацьованого бурового розчину з відділенням твердої фази на основі реологічних властивостей бурового розчину, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки досліджуваного процесу;

– науково обґрунтовано та експериментально підтверджено залежність ступеня осушення бурового шламу у центрифугі від типу основи бурового

розчину, що обумовлено різними реологічними властивостями глинистих матеріалів та вуглеводнів;

– з метою підвищення рівня екологічної безпеки утилізації окремих фаз бурових відходів встановлено закономірності розподілення хімічних елементів, зокрема важких металів, між рідкою та твердою фазами відпрацьованого бурового розчину та бурового шламу після розділення у центрифугі;

набули подальшого розвитку:

– методичні засади еколого-технічних рішень щодо розділення бурових відходів у відцентровому полі та застосування центрифуг у комплексній схемі поводження з відходами, що дозволило знизити техногенне навантаження на навколишнє природне середовище від нафтовидобувної діяльності;

вдосконалено:

– науково-методичний підхід до розрахунку еколого-економічних збитків від забруднення ґрунтової поверхні буровими відходами, що містять нафтові вуглеводні, на підставі результатів математичного моделювання геофільтрації нафти.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено спосіб поводження з буровими відходами, що передбачає їх розділення у центрифугі чи декантері на рідку і тверду фази з метою роздільної утилізації одержаних фаз. Такий підхід є екологічно безпечним та економічно доцільним, оскільки рідка фаза відповідає нормативним показникам якості для повторного застосування під час приготування бурового розчину, а тверду фазу можна успішно утилізувати хімічним способом, що забезпечує зв'язування важких металів.

2. Удосконалено технологічну схему розділення шламу, зокрема впроваджено одночасне застосування коагулянта та флокулянта з обґрунтуванням оптимальних доз під час підготовки бурового шламу до сепарації. Для максимально ефективного розділення бурових відходів на фази включено в технологічну схему сепарації шламу установку автоматичний блок

керування температурою. Використання вертикального осушувача в технологічній схемі значно забезпечує зниження вологості шламу, що дозволяє підвищити ефективність розділення шламу на фази, з подальшим їх використанням як окремого ресурсу.

3. Практична реалізація на базі ТОВ «Укрнафтозапчастина» запропонованих методичних підходів до підвищення ефективності роботи осушувача ОВШ-950 за рахунок застосування хімічної попередньої підготовки бурових відходів та визначення комплексу параметрів для аналізування ступеню екологічної безпеки твердої фази бурового шламу, одержаного на виході із центрифуги (акт впровадження від 20.11.2020 р.) (Додаток Е).

4. Упроваджено в навчальний процес кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету спосіб розділення бурового шламу в полі дії відцентрових сил та утилізації окремих компонентів бурових відходів у дисципліні «Технології захисту навколишнього середовища» та «Техноекологія» (акт впровадження від 30.05.2022 р.) (Додаток Ж).

Особистий внесок здобувача полягає в аналізуванні стану проблеми, формуванні та розробленні основної ідеї й теми дисертації, постановки задач дослідження, розробленні методики проведення експерименту з одержанням адекватних результатів, зокрема, проведенні критичного аналізу методів інтенсифікації розділення шламів у шнекових центрифугах та декантерах, та обґрунтуванні ефективності застосування центрифуг для осушення шламів [4], дослідженні хімічного і фазового складу бурових відходів та оцінюванні рівня екологічної безпеки твердої фази [1], розробленні методики дослідження ступеня очищення бурового шламу, статистичній обробці результатів щодо розділення бурового шламу в центрифусі та ступеня його осушення [2], встановленні залежності проникнення нафти через ґрунт для визначення рівня забруднення ґрунту у результаті витоків з шламових амбарів та розрахунку збитку для навколишнього середовища [3]. Вищезазначена нумерація робіт, виконаних у співавторстві, відповідає списку праць дисертанта, наведеному у Додатку А.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові та практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на таких науково-технічних, науково-практичних конференціях і семінарах всеукраїнського й міжнародного рівнів: VI–VIII Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 16–19 квітня 2019 р.; 21–24 квітня 2020 р.; 20–23 квітня 2021 р.); VI-му Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2019) (м. Вінниця, 25–27 вересня 2019 р.); VI Міжнародному конгресі «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 23–25 вересня 2020 р.); 6-му Міжнародному молодіжному конгресі (м. Львів, 9–10 лютого 2021 р.); The II International Science Conference «Issues of practice and science» (London, Great Britain, September 27–29, 2021); Міжнародній науково-практичній конференції за участю молодих вчених «Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2021» (м. Харків, 27 жовтня 2021 р.); IX Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (м. Харків, 25–26 листопада 2021 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць, із яких: 4 статті, зокрема, 2 статті у наукових фахових виданнях із переліку МОН України, 2 статті у зарубіжних наукових періодичних виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus і Web of Science), 9 матеріалів доповідей у збірниках праць конференцій, 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 126 найменувань на 16 сторінках, та 8 додатків на 24 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 182 сторінки, із яких основний текст – 117 сторінок, 52 рисунка та 10 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ЕКОЛОГО-ТЕХНОГЕННА ПРОБЛЕМАТИКА УТВОРЕННЯ ТА ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ БУРІННЯ

1.1 Загальна характеристика відходів нафтогазового видобування

Усі види діяльності, що пов'язані з розвідкою, видобутком, зберіганням, транспортуванням нафти і газу, а також транспортуванням нафти та нафтопродуктів, спричиняють утворення відходів, що мають потенційний ризик для навколишнього середовища. Багато матеріалів і відходів, пов'язаних з буровими роботами, мають потенціал небезпечного впливу на складові компоненти природного середовища.

Забруднювачі, що утворюються під час функціонування підприємств нафтогазовидобувного комплексу містять у своєму складі органічні та мінеральні речовини. До органічних забруднювачів відносяться: нафта, нафтопродукти, газоконденсат, оливи, фенолвмісні сполуки, асфальтени, смоли, метанол, ацетон, формальдегід, бензол, толуол та інші поліциклічні високомолекулярні сполуки.

До неорганічних забруднювачів належать різні мінеральні солі. Багато з забруднювачів володіють яскраво вираженим токсичним ефектом, який негативно проявляється на компонентах середовища: атмосфері, водному середовищі та ґрунтах [1, 2].

Для нафтогазового виробництва особливо характерна поява нафтозабруднених рідких стічних вод, промивних рідин та твердих речовин (шламів) у великих обсягах. Шлами потенційно утворюються внаслідок спорудження нафтових та газових глибинних свердловин, при промисловій інтенсивній експлуатації та використанні родовищ, в ході переробки нафти,

очищенні стічних вод, які мають у складі нафту, а також під час чищення резервуарів та іншого нафтовидобувного обладнання [3].

Відповідно до класифікатора відходів відрізняють нафтошлами та бурові шлами [4].

Нафтошлами представлені полікомпонентними стійкими агрегатованими системами, які в значній кількості складаються з залишків нафти, нафтових продуктів, піску, води та глиняної породи. Їх поява пов'язана з фізико-хімічною взаємодією нафтопродуктів з механічними домішками ґрунтів, повітрям та вологою, що призводить до часткового окиснення нафтопродуктів та подальшого утворення смолоподібних сполук [5, 6].

Бурові шлами – це напівтверді або тверді відходи буріння, які мають у своєму складі видалену породу та колоїдні фази що залишаються після відновлення та чистки бурового розчину [1, 4, 5].

Уніфікованих та однакових за властивостями та складом шламів не існує. Переважна більшість бурових шламів утворюється при розвідці та в ході технологічних процесів видобутку нафти. В ході процесу буріння, вибурювання та заглиблення свердловини на її забої (місцезнаходження механічного пристрою – долота, що руйнує породу) утворюється вирублена подрібнена порода, що піднімається на поверхню завдяки постійно циркулюючому буровому розчину (промивальною рідиною). Разом вони утворюють буровий шлам [1, 7].

За агрегатним станом ці відходи можуть бути систематизовані як рідкі (плинні), напіврідкі (пастоподібні) та тверді. При цьому основною ознакою віднесення до того чи іншого виду у цій систематизації є вміст (співвідношення) твердої та рідкої фаз. Так, при вмісті твердої фази до 35 % відходи зберігають свою рухливість і плинність і відносяться до рідких відходів (ВБР). При вмісті твердої фази від 35 % до 85 % відходи мають пастоподібний вигляд і відносяться до напіврідких (ВБР із БШ). При вмісті рідини у складі відходів менше 15–16 % їх варто віднести до категорії твердих відходів (БШ) [1, 5, 8].

Під час кожного етапу буріння свердловини та видобування нафти чи газу утворюється техногенне навантаження на природне середовище, що має різний рівень ризику (табл. 1.1) [1, 8, 9, 10].

Таблиця 1.1 – Рівні ризику забруднення навколишнього середовища

Вид джерела забруднення	Ризик забруднення		
	Землі	Води	Атмосфери
Свердловини та гирлове обладнання	помірний	помірний	низький
Збірні трубопроводи та трубопроводи для закачування води та бурового розчину в свердловину	високий	високий	низький
Установки сепарації та промислової обробки нафти	низький	низький	помірний
Нафтосховища/шламові амбари	високий	високий	високий
Устаткування для підтримки пластового тиску, компресорне обладнання та устаткування що використовується під час передачі продукції та транспортуванні	помірний	низький	помірний

Таким чином, екологічна проблематика утворення та подальше безпечне управління і поводження з буровими відходами, є особливо гострою проблемою сьогодення, яка потребує досконалого та ефективного дослідження і вирішення.

1.2 Техногенне навантаження на довкілля від відходів буріння та оцінка впливу родовищ на компоненти довкілля

Найбільшу загрозу для об'єктів навколишнього природного середовища становлять виробничо-технологічні відходи буріння (буровий шлам, відпрацьований та забруднений буровий розчин, бурові стічні води). Дані відходи накопичуються та зберігаються безпосередньо на території бурової, як правило, у земляних амбарах, що влаштовуються в мінеральному або насипному ґрунті [1, 5, 11].

Небезпечними речовинами, що є складовими продукції нафтогазових родовищ можуть бути сірководень та вуглекислота, вміст яких доходить до 40%. Ці речовини перебувають в газоподібному стані або розчинені в нафті. З даних кислих газів велику проблему створює сірководень, який може бути агресивний по відношенню до бурового обладнання, промивних рідин та розчинів, а також тампонажних матеріалів [11–13].

Територіям, де відбувається нафтовидобуток також притаманне забруднення водою. Це ґрунтується на тому, що нафта і її похідні продукти можуть знаходитися одночасно у вигляді поверхневої плівки або емульсії, а також і в розчиненому стані [14]. Присутність у підземних та поверхневих водах таких нафтовмісних забруднюючих речовин, катастрофічно впливає на її якість та подальше використання. Надходження нафтопродуктів у водні об'єкти переважно відбувається в ході видобутку нафти, аварій на нафтопроводах, аварійного розгерметизування обладнання, а також внаслідок змиву дощовими і талими водами з видобувних територій та шламових амбарів, що там розташовані.

Серед забруднювачів найбільшу небезпеку для довкілля становлять рідкі та напіврідкі відходи, які в силу своєї рухливості та проникності мають високу акумулюючу здатність, що може призводити не тільки до стійкого забруднення

складових природного середовища, а й до порушення екологічної рівноваги біоценозу, у місцях їх потрапляння [15, 16].

Нафта, стічні та пластові води, бурові розчини, що містять різні хімічні сполуки, особливо небезпечні у разі проникнення їх у підземні водні басейни та до ґрунтів. Причинами забруднень є аварійне фонтанування свердловин, розриви підземних та наземних нафтопроводів, порушення герметичності технологічного обладнання, аварії та інше [17].

На ділянках нафтового та газовидобутку, також відзначається забруднення ґрунтів та поверхневої рослинності важкими металами, такими як мідь, цинк та свинець [1, 15, 18].

Основними об'єктами забруднення навколишнього природного середовища при бурінні нафтових та газових свердловин є:

- робочий майданчик;
- гирло свердловини та підібрані ділянки;
- циркуляційна система;
- блоки приготування, очищення, обтяження та регенерації бурового розчину та рідин;
- блок хімреагентів;
- склад для зберігання сипучих матеріалів;
- блок ємностей для запасного бурового розчину;
- насосний та апаратний блок;
- дизельний привід;
- обв'язка бурових насосів;
- обв'язування водопостачання;
- шламові амбари;
- автотранспорт.

Відходи буріння у своєму складі містять широкий спектр забруднювачів мінеральної та органічної природи, а також хімічних реагентів [1, 17, 19, 20].

Токсичність відходів буріння регулюється регламентом для приготування бурового розчину з малонебезпечних інгредієнтів, що відповідають нормативним стандартам. Використання бурових розчинів на основі біорозкладних полімерів значно знижує токсичність бурових шламів, які утворюються, та полегшує їх подальшу утилізацію [19, 20].

В Україні знаходяться три основних нафтогазоносних регіони (рис. 1.1). Це східний (охоплює Чернігівську, Сумську, Полтавську, Харківську, Дніпропетровську, Луганську та Донецьку області); західний (охоплює території Львівської, Івано-Франківської, Волинської, Чернівецької та Закарпатської областей); південний (шельф Чорного та Азовського моря, АР Крим, Одеська, Запорізька області) [21].

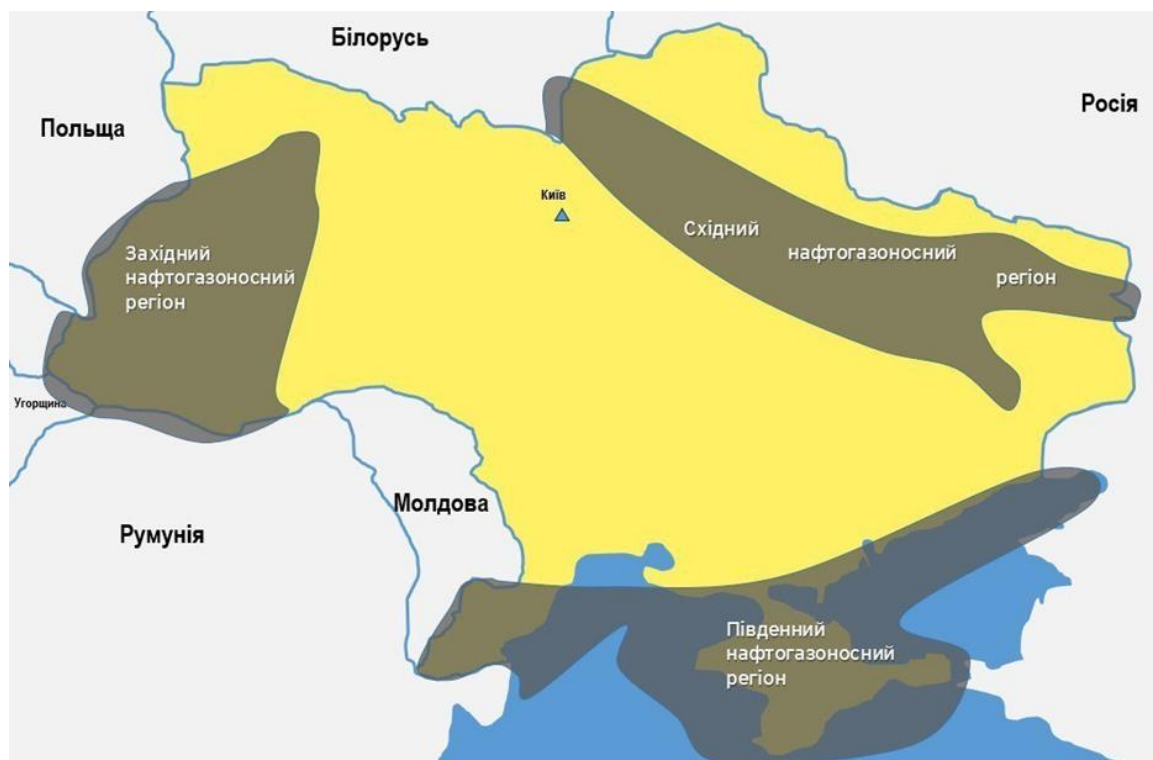


Рисунок 1.1 – Нафтогазоносні регіони України [21]

Будь-які технічні та технологічні операції на родовищах з видобутку газу й нафти супроводжуються негативним впливом та додатковим навантаженням

на навколишнє природне середовище в цілому, і окремо на його складові компоненти [1, 3, 22].

Вплив на атмосферне повітря.

В результаті технологічних та господарських процесів, що відбуваються на території нафтогазових родовищ, наявність шкідливих речовин у повітрі збільшується внаслідок викидів у атмосферу. Джерела викидів можуть бути стаціонарні або пересувні, організовані чи неорганізовані. Незважаючи на те, що ці забруднення не є масштабними або тривалими за впливом, компоненти забруднюючих речовин, що виділяються в атмосферне повітря в ході спорудження свердловин, включають діоксид азоту, оксид азоту, оксид вуглецю, сажу, ангідрид сірчаний, вуглеводні та інші речовини. Забруднюючі речовини, що потрапляють у повітря, мають різні властивості та впливають на природне середовище та здоров'я людини по-різному [19, 20, 23].

У період використання свердловин, потенційним джерелом викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря може бути горизонтально споруджена факельна установка, яка слугує для спалювання газу при продувках свердловини та шлейфу. Також її можуть використовувати під час дослідження свердловини для визначення характерних експлуатаційних параметрів і при проведенні ремонтних робіт на свердловині [9, 19, 20]. Шламкові амбари також є стаціонарними джерелами викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря, оскільки частково відбувається випаровування парів нафти з їх поверхні [24].

Під час процесу приготування бурового розчину, коли порошкоподібні матеріали завантажуються до глиномішалки, що розташована в блоку приготування бурового розчину, відбувається викид пилу у повітря. Дрібні частки пилу, які перебувають у вільному стані у вигляді аерозолей, потрапляють у атмосферу при завантаженні матеріалів, таких як глини бентонітової, глини палигорскітової або мармуру, графіту п/п, вапна та крейди. Інші матеріали не утворюють аерозолей під час завантаження [19, 20, 24].

Оцінка впливу на ґрунт. Основними факторами і джерелами забруднення та впливу на ґрунт є його механічне пошкодження, розливи бурового розчину, хімічні реагенти, вибурена порода, буровий шлам, забруднені стічні води.

Необхідність проведення буріння, земляних робіт та роботи транспорту призводить до механічних пошкоджень ґрунтового покриву. Такі пошкодження полягають у руйнуванні орного шару ґрунту та змішуванні верхніх горизонтів шару, що відбирається. Великий тиск, що накладається на ґрунт багатотонажною технікою, спричинює його ущільнення. Це може негативно позначитись на розвитку кореневої системи рослин, зменшити їхній доступ до води та вплинути на якість ґрунтового покриву. Змішування верхніх горизонтів ґрунту може призвести до втрати гумусу у кореновому шарі, якщо не будуть дотримані вимоги СОУ 73.1-41-11.00.01:2005 [26]. Цей стандарт передбачає зняття родючого шару ґрунту до 60 см без розподілу або на всю його товщину пошарово [19, 26]. Щільний ґрунт у сухому стані не тільки ускладнює розвиток кореневої системи рослин, але й погано пропускає воду, що потребує додаткових затрат на обробку.

Рекультивация землі на майданчику є заключним етапом і виконується відповідно до вимог законодавства [19, 25, 27]. Біологічна рекультивация землі виконується після технічної і включає такі види робіт:

- оранку та дискування землі;
- застосування органічних та мінеральних добрив;
- посів трав;
- прикатування посівів трав катками;
- культивацию [19, 26, 27].

Вплив на водні ресурси. Захист підземних та поверхневих водних ресурсів є важливою метою на всіх етапах будівництва свердловин, включаючи будівельно-монтажні роботи, буріння, кріплення та їх випробування [28].

Під час буріння свердловини, можливими джерелами забруднення підземних горизонтів з прісними водами є буровий розчин, який

використовується при розкритті водоносних горизонтів, та перетоки мінералізованих вод нижчезалягаючих водоносних горизонтів [1, 19, 29].

Хімічні реагенти, які використовуються у складі бурового розчину, можуть бути небезпечними для навколишнього середовища. Проте, застосування екологічно малонебезпечних хімічних реагентів при бурінні, дозволяє вважати буровий розчин та відходи буріння помірно безпечними та запобігає негативному впливу на довкілля.

Для запобігання витоку бурового розчину під час спуско-підйомних операцій необхідно використовувати спеціальні відвідні пристрої. Бурові розчини, які застосовуються при будівництві свердловин, повинні відповідати сучасним вимогам технології буріння [19, 30].

Щоб запобігти міграції підземних вод і флюїдів, всі обсадні колони цементуються високоякісним тампонажним розчином, який підіймається до гирла свердловини [19, 31].

Процес видобування нафти складається з різних етапів, розмежованих у просторі та часі, а вплив на навколишнє природне середовище від нафтовидобувної діяльності носить комплексний характер, оскільки відбувається утворення та розміщення відходів, викиди у атмосферне повітря, скиди неочищених (недостатньо очищених, аварійні) стічних вод у об'єкти гідросфери, забруднення компонентів літосфери [30, 32].

У зв'язку з цим технології захисту навколишнього середовища спрямовані на мінімізацію негативного впливу процесу (виробничого, технологічного, споживання, переробки, утилізації) на окрему компоненту та навколишнє природне середовище в цілому. Для прогнозування та комплексного вирішення цієї проблеми доцільним є застосування підходу Оцінки життєвого циклу або Life cycle assessment. Ця методика є базовою та широко розповсюдженою у країнах Європейського Союзу та США [30, 33].

Оцінка життєвого циклу природозахисної технології у нафтовидобуванні – це процеси аналізу, моделювання та безпосередньо оцінки екологічних зв'язків

та впливів, які тісно пов'язані з технологією, шляхом визначення та кількісного підрахунку:

- об'ємів енергії яка споживається, матеріальних ресурсів, викидів, скидів та інших впливів на навколишнє природне середовище;

- якісної та кількісної оцінки цих впливів на навколишнє природне середовище;

- прогнозування, моделювання та оцінка технології для покращення та підвищення екологічного стану системи [30, 33].

Оцінку впроваджують відповідно до Міжнародного стандарту ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Стадії життєвого циклу

В Україні дотримуються європейських стандартів у сфері екології, що відображається в чинних законодавчих та нормативних актах. Це створює передумови для розроблення методологічних підходів до оцінки екологічної безпеки нафтогазових об'єктів з використанням зарубіжного досвіду [30, 34].

Тому, беручи до уваги залучення до життєвого циклу різноманітних технологічних процесів та великої кількості устаткування, які підбираються індивідуально до конкретних вимог, що обумовлюються геологічними характеристиками залягання покладів, конструктивними особливостями та

рядом інших індивідуальних показників, є доцільним провести попередню інвентаризацію вхідних і вихідних потоків [33, 34].

1.3 Критичний аналіз існуючих методів поводження з відходами буріння

В Україні стоїть нагальне питання екологічно безпечної, ефективної та малозатратної технології утилізації відходів буріння. Під час проведення розвідувальних робіт та видобування нафти і газу завжди утворюються бурові відходи, такі як буровий шлам, відпрацьований буровий розчин та бурові стічні води. На сьогоднішній день основний метод поводження з даними відходами в Україні полягає в їх накопиченні у бурових амбарах, які зазвичай будують поблизу місця видобування на спеціально підготовлених земельних ділянках. Однак цей метод не є ефективним та екологічно безпечним [35].

Шламові амбари у нафтогазовому видобутку є одним з основних джерел забруднення навколишнього природного середовища [1, 15, 20, 35].

Довготривале зберігання та накопичення відходів буріння у шламових амбарах може спричинити значне техногенне навантаження на довкілля. Щоб мінімізувати це навантаження, доцільним є переробка бурових відходів замість їх акумулювання та накопичення. Однак, не існує уніфікованого способу переробки бурових відходів. В таблиці 1.2 наведені основні методи переробки бурових відходів [35, 36, 37, 38, 39].

Таблиця 1.2 – Способи поводження з буровими відходами

Назва способу	Характеристика способу
Термічний	Температурне оброблення, спалювання, з подальшим отриманням бітумінозних залишків
Фізичний	Розділення (сепарація) у відцентровому полі, відстоювання, фільтрування
Хімічний	Екстрагування за допомогою розчинників, затвердіння за допомогою органічних та неорганічних реагентів
Фізико-хімічний	Спеціальне оброблення додатковими реагентами, які змінюють фізико-хімічні властивості (коагулянти, флокулянти)
Біологічний	Мікробіологічне чи біотермічне розкладання за допомогою мікроорганізмів

Кожний метод та технологія, має як свої переваги, так і недоліки. Саме тому наукові дослідження світових учених спрямовані на вирішення актуальних та нагальних питань щодо їх удосконалення згідно з вимогами екологічної безпеки та з урахуванням ефективності кінцевого результату [22, 32, 35].

Якщо говорити про практичне застосування того чи іншого способу поводження з буровими відходами, то доцільно проаналізувати у розрізі різних видів відходів з акцентом на ВБР та БШ.

1.3.1 Аналіз способів поводження з ВБР

Для поводження з ВБР застосовуються циркуляційні системи, до складу яких входять блоки очищення бурового розчину, що зазвичай складаються з

вібросит, гідроциклонів та центрифуг. Саме такі технологічні рішення забезпечують очищення ВБР від вибуреної породи, що забезпечує його повернення для повторного використання під час приготування бурового розчину [22].

Фізичні та фізико-хімічні методи поводження з ВБР (у деяких випадках і для БШ) визначаються зміною фізичних і фізико-хімічних властивостей відходів під впливом різних фізичних чинників. Наприклад, під дією сил гравітації та відцентрових сил відбуваються розділення компонентів суспензійного шару на окремі складові фази [32, 36, 37].

Зневоднення ВБР та бурових шламів є основною технологічною операцією щодо їх попередньої підготовки, що потенційно може реалізуватися такими методами: центрифугування, екстракція, гравітаційне ущільнення, вакуум-фільтрація, фільтр-пресування, заморожування.

Систематичний аналіз результатів досліджень вказує, що центрифугування є однією з найефективніших технологій розділення шламу для отримання твердої фракції з високим рівнем сухої речовини та покращення балансу вмісту елементів між двома фракціями, що призводить до отримання чистої рідкої фракції для повторного використання [37, 38, 40]. Крім того, центрифуга з додаванням коагулянту, флокулянту або полімеру вважається високоефективним технологічним обладнанням для розділення, тоді як шнековий прес, вібросито та обертовий барабан є низькоефективними процесами розділення [41].

Декантерні центрифуги використовуються для розділення суспензій з відносно низьким вмістом твердих речовин, і часто в комбінації з хімічними кондиціонерами та добавками. Під впливом високої відцентрової сили, крупніші та важчі фракції твердих тіл відокремлюються від розчину, завдяки своїм підвищеній вазі та щільності. Декантерні центрифуги використовуються, наприклад, для розділення шламу, а також для переробки потоків різних промислових відходів. Незважаючи на їхню технічну складність та вищу

вартість, центрифуги, на відміну від стрічкових фільтр-пресів, можуть працювати безперервно [42].

Під час розділення шламів на фази отримують нафтовмісну суміш, яку в подальшому можна використовувати як сировину та тверду фазу. Тверду фазу піддають осушуванню в осушувачах горизонтальних чи вертикальних залежно від необхідної продуктивності, після цього сухий шлам можна використовувати як суміш для виробництва будівельних матеріалів і дорожнього покриття [32, 35].

1.3.2 Аналіз способів поводження з БШ

Термічні методи. Спалювання є поширеною технологією серед термічних методів знешкодження та нейтралізації шламів. Цей процес проводять у спеціальних печах різної потужності та конструкції (обертюваних барабанних печах, печах з киплячим шаром теплоносія, топках з барботажами пальниками або з використанням форсунок). Також спалювання може виконуватися у відкритих амбарах [37].

Перевагою використання барабанної печі, яка обертається, є можливість використання вловленого пилю в кількості не більше ніж 5 % від маси сировинної суміші, а головний недолік – у високій собівартості внаслідок застосування досить дорогого та енергозатратного обладнання [32].

Піроліз бурових відходів – це процес термічного розкладу відходів високої температури без доступу повітря, зазвичай відбувається за температури більше 400 °С. У процесі піролізу бурових відходів органічні речовини, такі як нафта і гумінові речовини, розкладаються на менш складні речовини, зокрема на вуглеводні, які можна використовувати як паливо або хімічну сировину. Також у результаті піролізу утворюється піролізний газ, який можна використовувати як енергетичне паливо.

Піроліз бурових відходів є екологічно ефективним методом переробки відходів, оскільки дозволяє зменшити об'єм відходів і скоротити викиди шкідливих речовин в атмосферу. Однак, для ефективного застосування піролізу необхідно враховувати вміст шкідливих речовин у відходах [43].

Технологія високотемпературного термооброблення бурового шламу складається з двох етапів: підготовчого та безпосереднього швидкісного випалювання, що відбувається за температури в межах 950 – 1200 °С. Однак, недоліком цієї технології є необхідність спеціального обладнання та дороговартісних енергетичних ресурсів [32, 37].

Результатом термолізу бурових відходів є отримання чотирьох продуктів: твердий вуглецевий залишок (21,45% мас.), вода (39,40% мас.), вуглеводневий дистилат (30,35% мас.) та вуглеводневий газ (8,80% мас.).

Загалом, термічний метод утилізації є універсальним, оскільки для переробки БШ не потрібна довгострокова попередня підготовка, така як видалення сторонніх предметів (рослин, каменів, сміття, нафтопродукти). Обсяг переробленого продукту в декілька разів менше обсягу початкового бурового шламу [37, 44].

Однак ця технологія має свої недоліки. Завжди під час спалювання, особливо за високих температур, в атмосферу виділяється велика кількість небезпечних шкідливих і токсичних газів. Для попередження негативного впливу цих забруднювачів на біоту, зокрема населення, необхідно обов'язково проводити очищення викидів, що в свою чергу вимагає залучення додаткових матеріальних, енергетичних і фінансових ресурсів. Висока вологість шламів зумовлює додаткове використання великої кількості енергії, що знижує економічну ефективність термічних методів перероблення шламів [37, 44].

Хімічний метод ґрунтується на проведенні хімічних реакцій з додаванням реагентів для подальшого перетворення БШ на корисні компоненти.

Хімічний метод на основі реагентного капсулювання [32] є ефективною технологією перероблення відходів. Цей метод полягає в фізико-механічному

перетворенні відходів в матеріал, який є нейтральним для зовнішнього середовища. Кожна частинка матеріалу покрита гідрофобною оболонкою з карбонату кальцію, який утворюється під час гасіння вапна за наявності води і вуглекислого газу.

Реакція гасіння вапна є екзотермічною, тобто вона супроводжується виділенням теплової енергії. Це призводить до випаровування зайвої вологи та знищення мікроорганізмів. Після визрівання протягом доби і більше, утворені гранули мають високу міцність. Крім того, швидкість виділення забруднювальних речовин у нейтральний для зовнішнього середовища матеріал знижується в сотні разів порівняно з вихідним шламом.

Перевага хімічного способу перероблення відходів полягає у можливості ефективної утилізації бурового шламу шляхом його використання як вторинної сировини при виготовленні будівельних матеріалів та дорожнього покриття. Це сприяє значному підвищенню екологічної безпеки та економічної ефективності методу.

Запропоновано спосіб одержання гіпсобетону з бурового шламу та фосфогіпсу у якості в'язучого [44]. Розроблена технологічна схема сумісної утилізації бурового шламу та фосфогіпсу дозволила створити безпечний для навколишнього середовища продукт, що отриманий за допомогою хімічної іммобілізації важких металів, які містяться в буровому шламі. Цей процес сприяє фізико-хімічному перетворенню відходів та утворенню кристалічної структури гіпсобетону. Згідно з токсикологічною, радіаційною та еколого-гігієнічною оцінкою, гіпсобетон, який було отримано за допомогою цієї технології, є безпечним для довкілля продуктом [44].

Біологічний метод Мікроорганізми здатні переробляти вуглеводні та інші компоненти нафти за допомогою біохімічних реакцій, що сприяє розщепленню, мінералізації та частковій гуміфікації компонентів забрудненої ґрунтової системи [32, 37]. У комплексі з іншими методами перероблення відходів буріння, біологічний метод є оптимальним. Наприклад, після попередньої екстракції

нафтопродуктів зі шламу ксилолом та використання підбраного консорціуму мікроорганізмів, ступінь очищення шламу підвищується до 91% [45]. Доведено, що біосорбційний метод ефективно використовується для видалення органіки, токсичних сполук та нафтопродуктів. Додавання різних сорбентів до аеротенків сприяє інтенсифікації біологічного очищення.

Спеціальні препарати, які мають деструктивні властивості щодо нафтових вуглеводнів, набувають все більшого застосування. На сьогодні існує близько двох сотень різних сорбентів, які можуть мати органічну або неорганічну природу. Першу групу складають каустоболіти, природна сировина рослинного та тваринного походження, а також відходи їх перероблення, та синтетичні сорбенти. Другу групу складають сорбенти на основі природних, штучних та органомінеральних матеріалів [32].

Отже, біологічні методи перероблення бурових відходів доцільно застосовувати на одному з етапів комплексної системи поводження з нафтозбагаченими відходами. Зважаючи на значно нижчий вміст нафтопродуктів у буровому шламі порівняно з нафтошламами, цей спосіб не є виправданим у технологічно-економічному й екологічному змісті.

Таким чином, перспективним та відносно малозатратним способом утилізації бурових відходів є їх розподіл на окремі фази у відцентровому полі за допомогою фізичних методів розділення (сепарації). В подальшому, отримані компоненти можливо використовувати в якості сировини та палива. Також їх можливо використати для приготування розчину при тампонажі виснаженої нафтової свердловини [35].

1.4 Аналіз обладнання, що застосовується для розділення бурового шламу

Для розділення бурового шламу за допомогою відцентрових сил застосовують спеціальне обладнання: центрифуги, сепаратори, осушувачі,

декантери, трикантери. Центрифуги та сепаратори мають самостійні системи класифікації. Вони залежать від властивостей установок та їх параметрів, що в свою чергу впливає на ефективність розділення.

В Україні виробником центрифуг для розділення бурових шламів та осушувачів, які використовуються в подальшій переробці шламів, є ТОВ «Укрнафтозапчастина» [46]. Однією з останніх інноваційних розробок підприємства є установка-осушувач ОВШ-950 для осушення бурових шламів з метою запобігання забрудненню довкілля та значного зниження витрат на приготування бурових розчинів. Ця установка дозволяє відновлювати дорогі промивні рідини з бурових шламів та забезпечує високу продуктивність в діапазоні від 30 до 50 тонн на годину а також ефективне осушення з концентрацією твердої фази в діапазоні від 3 до 5% [46].

Вивчаючи іноземний досвід у галузі розділення та осушення шламів, відцентрове устаткування на світовий ринок поставляють такі виробники: англійська фірма «BROADBENT», німецькі фірми «Hiller», «Westphalia Separator», «Flotweg», «KHD», шведська фірма «Alfa Laval», французька фірма «Guinard», японські «Chori», «Kurita», американська «Decanter Machine Inc.» [42, 47, 48].

Вітчизняні установки ТОВ «Укрнафтозапчастина» не поступаються за якістю закордонним аналогам, однак нове обладнання потребує випробування та детального дослідження ефективності застосування на практиці для розв'язання конкретних задач.

Фірма BROADBENT розробляє та виробляє центрифуги вже з кінця XIX століття та протягом цього періоду накопичила величезний обсяг знань в галузі технологічних процесів та досвіду у розробці та монтажі установок на промислових підприємствах. Цей досвід зараз використовується для пошуку та впровадження рішень для всіх проблем пов'язаних з відокремленням твердих речовин від рідин, з якими стикаються підприємства різних промислових галузей [42].

Декантери BROADBENT знайшли застосування в секторах, пов'язаних з екологічними проблемами, наприклад для зневоднення шламів та промислових стічних вод (рис. 1.3 та 1.4) [42, 48, 49].



Рисунок 1.3 – Центрифуга фірми BROADBENT (Thomas Broadbent & Sons Ltd. England)

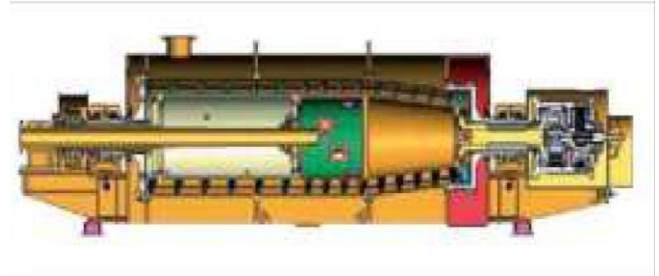


Рисунок 1.4 – Розріз центрифуги фірми BROADBENT

Принцип дії декантерних центрифуг заснований на полі впливу відцентрових сил. Основним принципом роботи декантерної установки є прискорена седиментація під впливом гравітаційної сили. На рисунку 1.5 наведений простий осадовий резервуар з безперервним скребком, що переміщається, зафіксованим з лівого боку резервуару і безперервно видаляє твердий осад. Рідина протікає над верхньою кромкою скребка і залишає резервуар із правого боку.



Рисунок 1.5 – Схема осадового резервуару з безперервним скребком

Відповідно до закону Стоксу, тверді частки підлягатимуть седиментації у резервуарі зі швидкістю, яка залежить від багатьох факторів, наприклад, відносної щільності (питомої ваги) твердої речовини та рідини, розмірів частинок та прискорення викликаного дією гравітаційної сили.

Якщо резервуар перетворити, як це представлено на рисунку 1.6, в конусоподібний циліндр, а циліндр обертати з великою швидкістю навколо його осі симетрії, виникне велика відцентрова сила 'G', що діє як на рідину, так і на тверді частки. Ця відцентрова сила замінює силу тяжіння, яка виступає у формулі закону Стокса, і призводить до дуже швидкої седиментації тих частинок, щільність (питома вага) яких перевищує щільність рідини [42, 48].



Рисунок 1.6 – Конусоподібний циліндр

Шкребок, що постійно переміщається з рис. 1.5 замінюється циліндричним черв'яком (рис. 1.7), який витісняє тверді речовини назовні конусоподібного кінця циліндра, що дозволяє проводити сепарацію у безперервному режимі. Таким чином, початковий осадний резервуар перетворився на декантерну центрифугу.

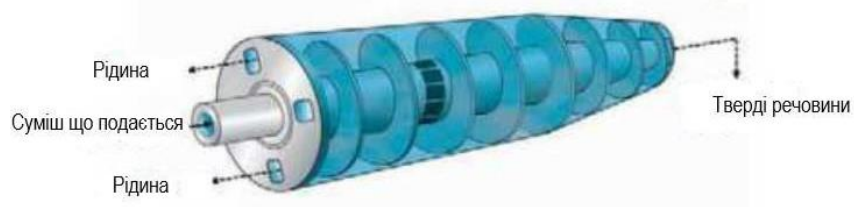


Рисунок 1.7 – Циліндричний черв'як декантерної центрифуги

У різних технологічних процесах застосовуються різні різновиди декантерних центрифуг. Це залежить від поставленої задачі. Але основний, вище описаний принцип дії, залишається незмінним для всіх пристроїв цього типу [48]. Умови роботи центрифуги наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Типові умови роботи та продуктивність центрифуги [42, 48]

Характеристика	Значення
Подається шлам	1–45 % вмісту твердої фази (по вазі)
Тверда фаза на виході:	5–70 % рідини (за вагою)
Вилучення твердих речовин:	60 % до 99,95 % (за вагою)
Продуктивність:	3–200 м ³ /год
Улов твердих речовин:	0,2–100 т / год
Розміри частинок твердої фази:	0,00001–10 мм
Частота обертання барабана:	500–3500 об/хв
Споживання потужності:	25–500 кВт
Температура шламу, що подається:	-39 °С до 200 °С
Тиск всередині корпусу:	від вакууму до 10 барG
Продування нейтральним газом	Так
Ущільнене виконання для пар або повністю герметичний варіант	Так
Змінна частота обертання шнека	Так
Змінна частота обертання барабана	Так
Промивання сухаря	Так
Можливість добавки хімікатів та/або полімерів	Так
Спеціальний захисний шар для забезпечення зносостійкості барабана	Так

У разі застосування як класифікатора, декантерні центрифуги з монолітним барабаном можуть витягувати із суспензії та селективно виводити назовні тверді частинки розміром навіть до 50 мікронів, а також дуже маленькі частинки завбільшки одного мікрону (рис. 1.8).

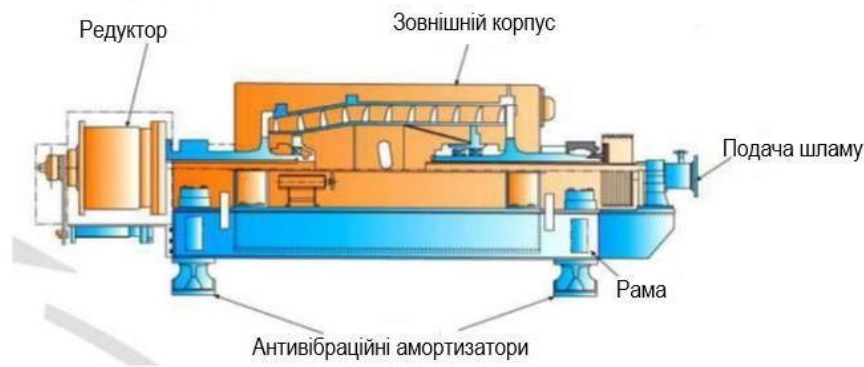


Рисунок 1.8 – Декантерна центрифуга з монолітним барабаном

Декантерні центрифуги з ситовим барабаном були розроблені на основі версії з монолітним барабаном, але проводиться освітлення та седиментація розчину, так само, як і в декантерах з монолітним барабаном. Друга фаза дає змогу на подальше зневоднення матеріалу, що залишився всередині установки, так як матеріал переміщається вздовж частини барабана з перфорованими стінками. Одночасно, при необхідності, твердий осад може ополіскуватися в час переміщення вздовж ситових стінок, а відтік, що вимивається, можна збирати окремо (рис. 1.9) [42, 48].

Переваги від застосування декантерних центрифуг із ситовим барабаном [42, 46, 48, 49]:

- продуктивність тільки в невеликій мірі залежить від зміни параметрів матеріалу, що подається;
- додатковий дренаж через ситові стінки забезпечує низьку вологість сухого залишку;
- можливість промивання сухого залишку та збору відпливу від ополіскування; обмежені втрати продукту сепарації через отвори ситових стінок.

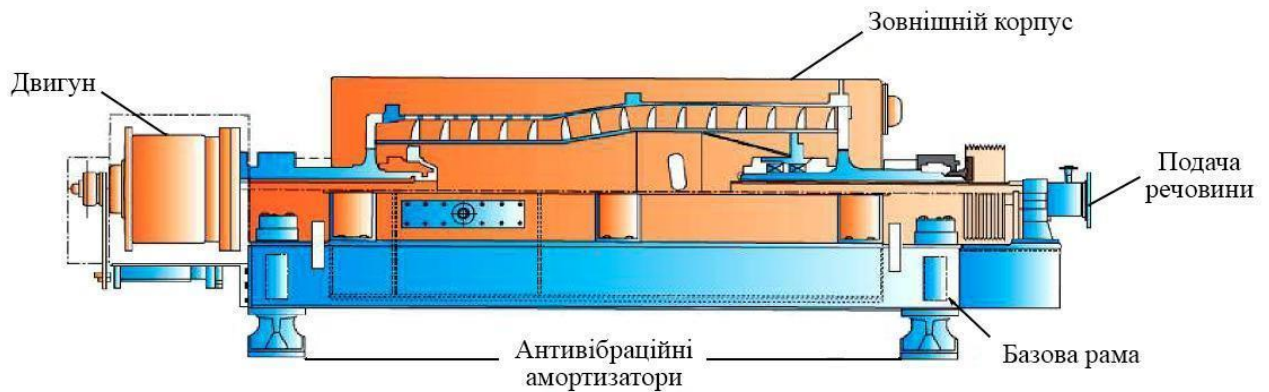


Рисунок 1.9 – Принципова схема декантерної центрифуги з ситовим барабаном

За допомогою трифазних декантерів (трикантерів) з монолітним барабаном, пропонованих можна виконувати сепарацію шламів, що містять три типи речовин, наприклад легку – нафту, воду та тверді частинки. У результаті утворюються три окремі, безперервні потоки для окремих компонентів шламу [50].

Такі декантери особливо ефективні при застосуванні, коли шлам містить досить багато твердих речовин – зазвичай понад 5 % сухої маси. Трифазні декантери застосовуються для розділення та очистка залишків з дна нафтових резервуарів, та розділення та освітлення бурових розчинів (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Трифазний декантер з монолітним барабаном

Декантери фірми BROADBENT можуть поставлятися з різними системами ущільнень, що дозволяють утримати всі шкідливі хімічні речовини всередині корпусу декантера. Функції промивання розділеного матеріалу доступні як для декантерів з монолітним, так і з ситовим барабаном. Для багатьох сфер

використання, коли декантери застосовуються для сепарації промивних рідин процес можна інтенсифікувати шляхом додавання полімерів з метою флокулювання дрібних частинок твердої речовини. Такий метод підвищує вихід твердого матеріалу та чистоту відтоку рідини. Оснащення для додавання флокулянтів та коагулянтів можливо встановити на всіх декантерах як зовнішнє, або внутрішнє додаткове обладнання [42, 48].

Конструкція трикантерів схожа з конструкцією декантера (рис. 1.11–1.13). Істотною відмінністю між цими видами центрифуг є спосіб вивантаження рідини. Трикантер має дві рідкі фази та тверду фазу. Щільніша за густиною рідка фаза виходить під тиском через імпелер, а легка рідка фаза виходить без тиску – самопливом. Імпелер виводить «важку» рідку фракцію [50, 51, 52].

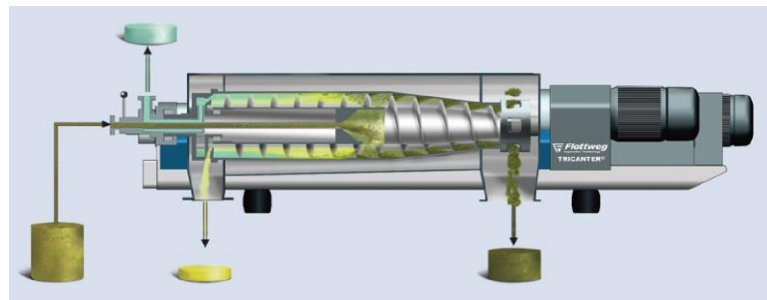


Рисунок 1.11 – Розподіл потоків рідин та осаду у трикантері Флоттвег

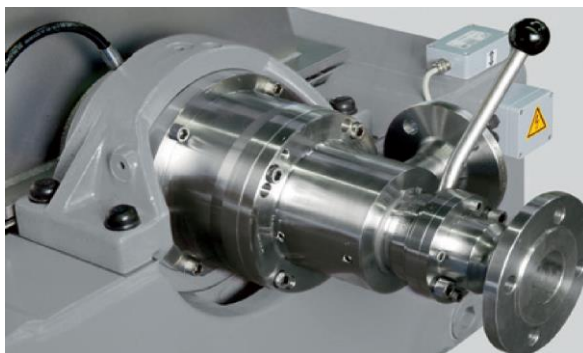


Рисунок 1.12 – Пристрої завантаження та розвантаження з важелем управління для регулювання імпелера Трикантера Флоттвег

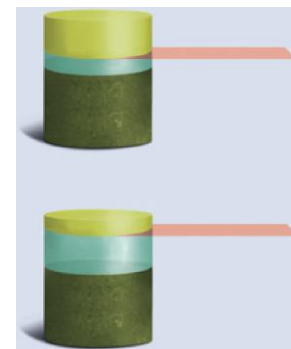


Рисунок 1.13 – Різні зони розділення в трикантері (зміна концентрації в початковій сировині)

Таким чином, використання для розділення суміші трикантерів, значно полегшує весь процес, оскільки дозволяє провести максимально ефективно розділення з подальшим використанням отриманих фракцій [50, 51].

1.5 Аналіз факторів, що впливають на розділення бурового шламу

Для інтенсифікації процесу розділення нафтошламів та легкого виділення фаз застосовують спеціальні речовина: коагулянти та флокулянти. При реагентній обробці нафтошламу змінюються його властивості: підвищується водовіддача, полегшується виділення нафтопродуктів.

Коагулювання – це процес укрупнення дисперсних часток внаслідок їх взаємодії між собою та об'єднання в агрегати під дією спеціальних реагентів – коагулянтів. Солі алюмінію та заліза найбільш широко використовуються через їх ефективність, доступність, безпеку та відносно низьку вартість. Коагулянти на основі алюмінію включають алюміній сульфат, алюміній хлорид, натрій алюмінат, алюміній хлоргідрат та поліалюміній хлорид. Флокулянти на основі заліза включають ферум (III) хлорид, ферум (II) сульфат, ферум (III) сульфат та ферум (III) сульфат хлорид. Алюміній сульфат або галун $Al_2(SO_4)_3$, ферум (III) хлорид $FeCl_3$ і ферум (III) сульфат $Fe_2(SO_4)_3$ є найбільш широко використовуваними коагулянтами, серед яких найбільш активний та ефективний коагулянт – $Al_2(SO_4)_3$ [53, 54].

Флокування – це процес агрегації зважених частинок при додаванні в розчин високомолекулярних сполук, які називаються флокулянтами. Цей процес зменшує капітальні витрати на енергію для розділення шламу в центрифuzі. Хімічні флокулянти є високоефективними і широко поширеними. Можуть бути використані неорганічні флокулянти або полімерні органічні флокулянти [6, 37].

Органічні флокулянти – це переважно полімери (синтетичні або натуральні). Вони можуть бути поліелектролітами, тобто полімерами, що несуть аніонний або катіонний заряд, або незарядженими неіонними полімерами.

Приклади природних поліелектролітів включають полісахариди катіонний крохмаль і хітозан (катіонні полімери) і поліпептид полі- γ -глутамінової кислоти (катіонний полімер). Серед синтетичних поліелектролітів широко використовуються поліакриламідні (катіонні або аніонні). Поліелектроліти діють шляхом поєднання нейтралізації заряду поверхні клітини та з'єднання часток, утворюючи пластівці [55].

На процес флокування та його ефективність впливає безліч факторів: хімічна структура та властивості (у тому числі заряд) як видаленої речовини, так і флокулянта (у разі полімерів важлива також середня молекулярна маса та її розподіл), їх концентрація, рН середовища, температура, швидкість перемішування та механізм процесу. Одним з найважливіших параметрів, що впливають на ефективність флокуляції, є рН вихідної суміші. Було встановлено [56], що у лужному середовищі збільшення дози флокулянту не сприяє підвищенню продуктивності процесу; у цьому випадку рекомендується підкислення середовища.

Механізм дії флокулянтів заснований на явищі адсорбції молекул реагенту на поверхні колоїдних частинок, утворення сітчастої структури молекул реагенту, злипання колоїдних частинок за рахунок сил Ван-дер-Ваальса. При дії флокулянтів між колоїдними частинками утворюються тривимірні структури, здатні до більш швидкого і повного відділення від рідкої фази [55, 56, 57].

Додавання хітозану як нового типу флокулянту з наступним центрифугуванням дало 27% твердої фракції (8,8% сухої речовини), що покращило ефективність центрифугування для К, Сu та Zn і не мало впливу на загальний N або P [58, 59, 60].

Ще одним фактором, що впливає на якість процесу розділення є реологічний. Наука про течію рідин називається реологією, а всі властивості, пов'язані з течією, називаються реологічними. Реологія вивчає деформацію тіл, включаючи їхню плинність та зв'язки між деформаціями (або швидкостями

деформацій) та натягом, що діють в рідині, математично висловлюючи ці зв'язки реологічними моделями [61].

Залежно від поведінки рідини в русі стосовно бурових розчинів розглядають чотири реологічні моделі: ньютонівська модель, бінгамівська модель, ступінна модель та модифікована ступінна модель [49, 61, 62].

Основні процеси технологій буріння базуються на вивченні реологічних властивостей бурових і тампонажних розчинів, які є складними реологічними системами [61, 62].

Якість первинного розкриття продуктивних горизонтів під час буріння нафтових і газових свердловин є важливою для успішної подальшої розробки родовищ. Дослідження показують, що підвищення поверхневої активності фільтратів промивальних рідин є доцільним [61, 63].

У глинистих сланцях (породах), які схильні до набрякання, швидкість проходження зазвичай збільшується при використанні бурових розчинів на вуглеводневій основі, що пояснюється недостатньою взаємодією між долотом, глинистими сланцями та буровим розчином, останній же діє як мастило. Використання бурових розчинів на вуглеводневій основі або інвертно-емульсійних систем сприяє гідрофобізації поверхні долота, шламу та порід [61, 62].

Додавання поверхнево-активних речовин до бурового розчину змінює фізико-хімічні властивості флюїдів, характер розподілу нафти та води у поровому просторі колектора та впливає на фільтраційні параметри зони проникнення. Вибір ПАР для бурових розчинів при первинному розкритті продуктивних пластів потребує досліджень їх впливу на характер витіснення нафти з керну гірської породи, а також на параметри бурового розчину (реологічні властивості, фільтрацію, тощо).

Бурові розчини є дисперсними системами або суспензіями глини, піску або цементів у рідині властивості яких залежать від якості вихідних матеріалів, їх складу та технології приготування. На властивості бурових розчинів сильно

впливають добавки, причому їх вплив сильно різниться: одні змінюють в'язкість, інші – реологічні властивості розчину, треті – структуру та міцність. Більшість добавок впливає відразу на ряд властивостей, часто покращуючи одні та погіршуючи інші. Зі зміною концентрації добавок, їх вплив змінюється не тільки кількісно, але іноді і якісно. Механізм дії добавок проявляється через вплив на фізико-хімічні процеси, що протікають на межі розподілу фаз бурових і тампонажних розчинів [64, 65].

Реологічні властивості бурових розчинів діють на такі показники і процеси, що пов'язані з бурінням свердловин [60–62, 65]:

- ступінь очищення вибою свердловини від шламу;
- ступінь охолодження породоруйнуючого інструменту;
- здатність транспортуючого потоку;
- величину гідравлічних опорів у всіх ланках циркуляційної системи свердловини;
- величину гідродинамічного тиску у процесі буріння;
- інтенсивність збагачення бурового розчину шламом.

1.6 Постановка задач дослідження

Метою дослідження є розробка та впровадження екологічно безпечної технології поводження з буровими відходами, а саме розділення бурового шламу, в полі дії відцентрових сил на фази, з додаванням коагулянтів та флокулянтів та подальшим використанням отриманих фаз.

Для досягнення зазначеної мети поставлено **такі завдання:**

- проаналізувати вплив бурових відходів на навколишнє природне середовище та сучасні методи і технології поводження з ними;
- розробити методику проведення експерименту та дослідження властивостей бурових відходів;
- оцінити екологічну безпеку бурових відходів до та після розділення;

- встановити ступінь осушення бурових відходів у центрифuzі залежно від типу основи бурового розчину та його реологічних властивостей;
- обґрунтувати інтенсифікацію процесу розділення бурового шламу за допомогою додавання коагулянта та флокулянта;
- провести математичне моделювання процесу розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил;
- удосконалити технологічну схему екологічно безпечної технології утилізації бурових відходів;
- оцінити збиток за забруднення ґрунтової поверхні буровими відходами та еколого-економічну ефективність розробленої технології.

Основні результати дослідження опубліковані в наукових працях: [6, 17, 35, 36, 40, 50].

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика досліджуваного родовища та зразків бурового шламу

Дослідженням підлягали зразки БШ, одержаного у процесі буріння свердловин на Семиренківському газоконденсатному родовищі та Мачухському газовому родовищі.

2.1.1 Опис Семиренківського та Мачухського родовищ

В адміністративному відношенні Семиренківське газоконденсатне родовище (ГКР) розташоване у Шишацькому та Миргородському районах Полтавської області за 25 км на північний схід від м. Миргород (рис. 2.1, а, б та в) [66], за 15 км на північ від райцентру м. Шишаки і за 50 км на північний захід від м. Полтава [67].

На Семиренківському родовищі виявлено 13 промислових газоконденсатних покладів, які приурочені до верхньовізейських відкладів – горизонти В-16, В-17, В-18, В-19. Води, що знаходяться в пластах нижньокам'яновугільних відкладів, належать до зони дуже повільного водообміну та характеризуються значною мінералізацією від 123,9 г/л до 212,2 г/л. Крім того, вони мають високий ступінь метаморфізації – 0,6–0,73, що вказує на їхнє належність до хлоркальцієвого типу.

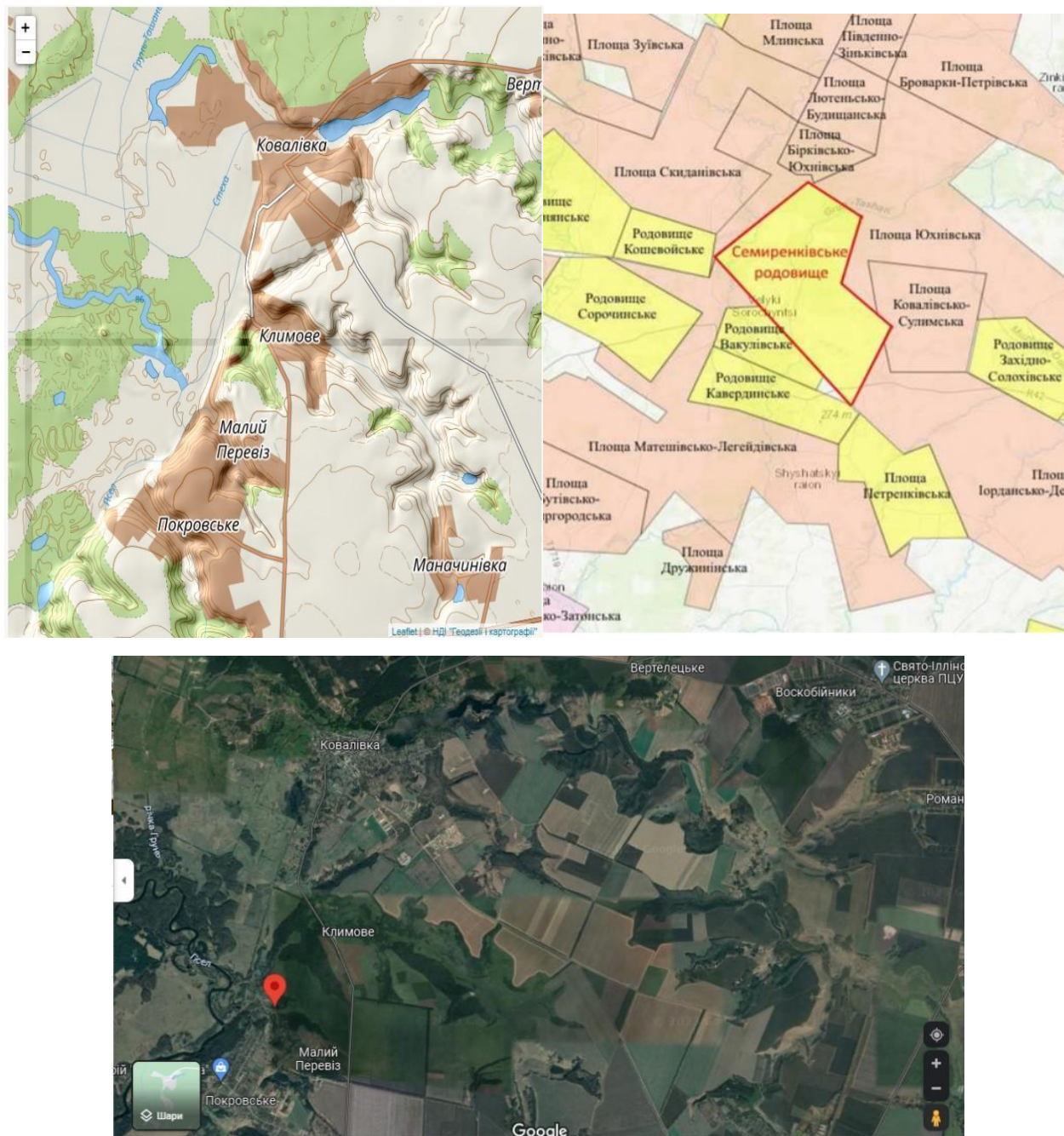


Рисунок 2.1 – Оглядова карта (а), карта-схема району розташування Семиренківського родовища (б) та знімок місцевості району (в)

У геологічній будові осадового комплексу відкладів Семиренківського родовища приймають участь утворення палеозойської, мезозойської та кайнозойської ерами, загальною товщиною до 8,5 км (рис. 2.2) [68]. Свердловинами пошукового та експлуатаційного буріння із палеозойських відкладів розкриті кам'яновугільні та пермські, з мезозойських – триасові,

юрські, крейдяні, а також типовий для даної частини западини комплекс кайнозойських відкладів.

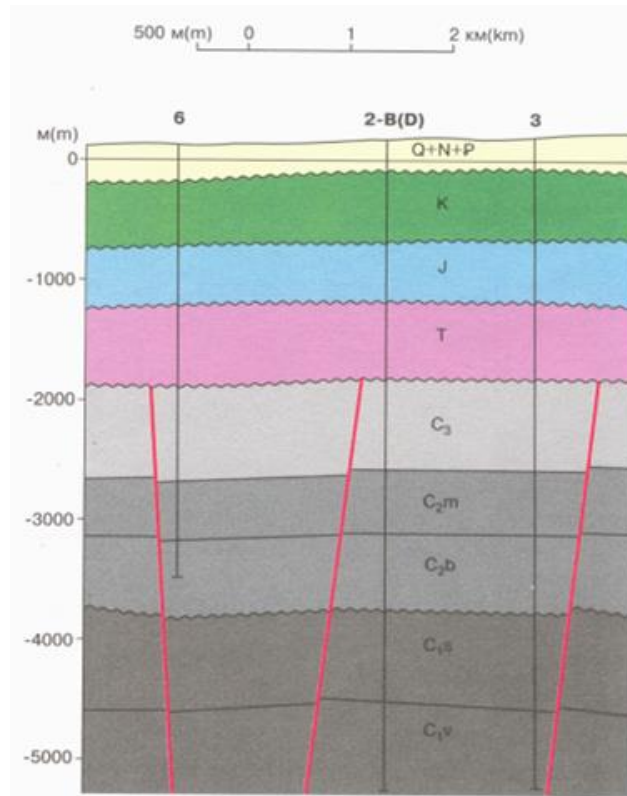


Рисунок 2.2 – Геологічний розріз Семиренківського родовища

Пористість колекторів в Семиренківському родовищі коливається в межах 7–10 %, а проникність за результатами лабораторних досліджень керну становить від 0,8 до $114 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. Ці колектори є кварцовими пісковиками дрібно-середньозернистими, тріщинуватими з невеликими ємнісно-фільтраційними параметрами. Тип колекторів є поровим, тріщино-поровим [69, 70]. Води, що містяться в нижньокам'яновугільних відкладах Семиренківського родовища, належать до хлоркальцієвого типу, мають значну мінералізацію від 123,9 г/л до 212,2 г/л і знаходяться в зоні дуже уповільненого водообміну [61, 66].

У геоморфологічному відношенні, родовище розташоване на підвищеній горбистій ерозійній рівнині в долині річки Псел – лівій притоці річки Дніпро, у Придніпровській низовині. Для забезпечення водопостачання під час бурових робіт використовуються води бучацького водоносного горизонту [70].

Мачухське родовище, що знаходиться на Полтавщині, відкрите у 1983 році, але через складність гірничо-геологічних умов освоїти його повністю тоді не вдалося. У період 2008–2014 роках, було пробурено дві свердловини, дебіт однієї з яких склав понад 1 млн м³ газу на добу. Мачухське родовище (рис. 2.3) – одне з найскладніших на території України: пластові тиски складають понад 1000 атм, температури – 150–180 °С. Глибини залягання продуктивних горизонтів – 5200–6000 м [68, 71, 72].

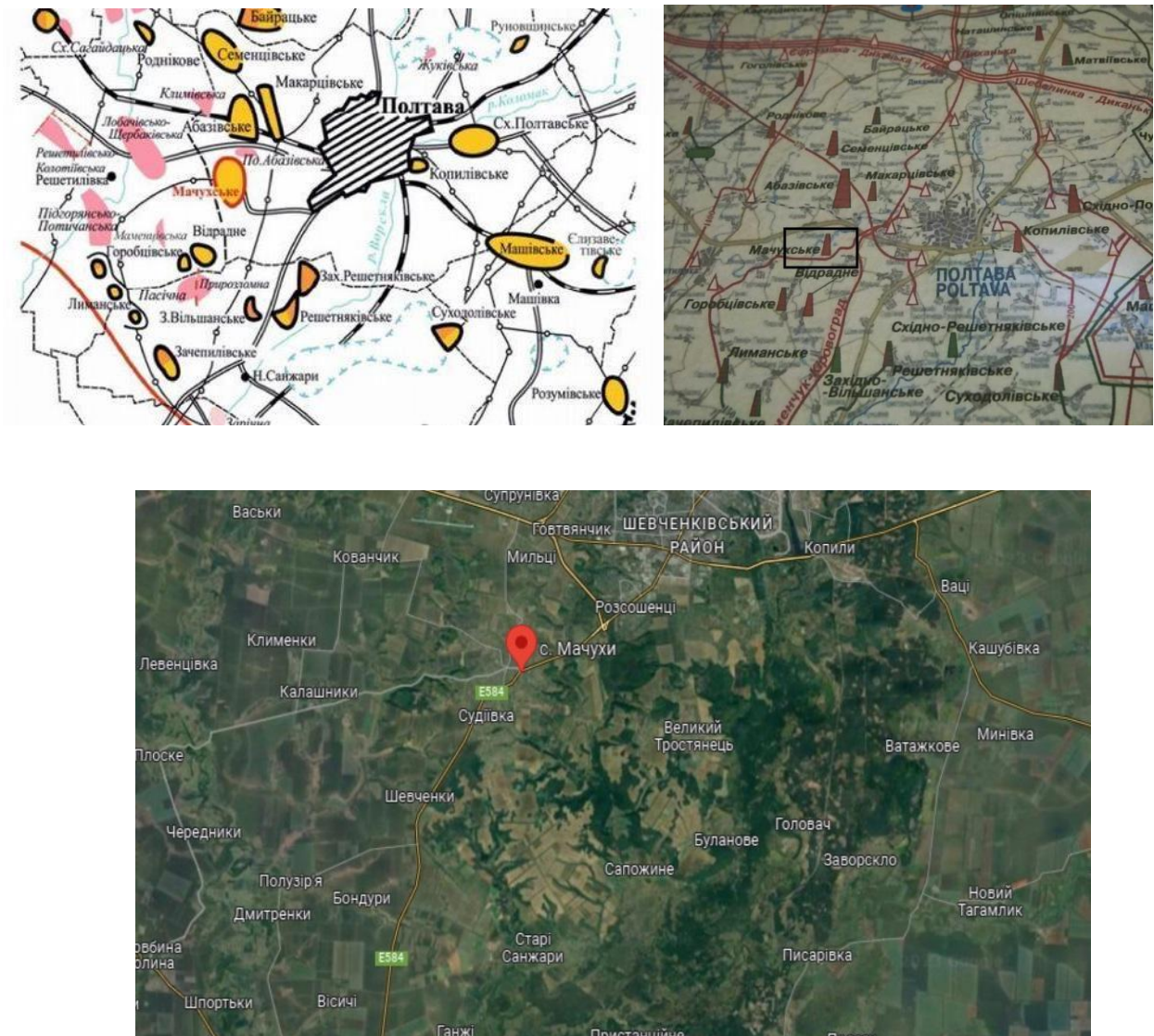


Рисунок 2.3 – Оглядова карта Мачухського родовища (а), карта-схема району розташування Мачухського родовища (б) та знімок місцевості району (в)

Мачухське газове родовище належить до Руденківсько-Пролетарського нафтогазоносного району Східного нафтогазоносного регіону України. Спеціальний дозвіл на експлуатацію родовища належить ПрАТ «Нафтогазвидобування» [71, 72]. Знаходиться в південній приосьовій зоні Дніпровсько-Донецької западини у межах східної частини Гоголівсько-Абазівської групи підняття. Підняття являє собою симетричну куполоподібну брахіантикліналь, поховану під відкладами верхнього візе; її розміри по ізогіпсі – 5300 м 4,7 x 3,8 м, амплітуда 310 м [68].

Мачухівські свердловини одні з найглибших свердловин в Європі. Використовуючи передові технології у 2019 році планувалося в півтора рази збільшити видобуток газу на Мачухському газовому родовищі [71, 72]. Поклади масивно-пластові, склепінчасті, літологічно обмежені складними гірничо-геологічними умовами. Режим покладів є газовий. Запаси початкові видобувні категорій А+В+С1 складають: газу – 10260 млн. м³ [71, 72].

Мачухське газове родовище знаходиться на сході України і відноситься до Глинсько-Солохівського газонафтоносного району Східного нафтогазоносного регіону. Район залягає на глибинах від 1,5 км до 5,5 км і включає в себе значну частину палеозойських відкладів. В цьому районі розвинені первинно-порові піщано-алевритові і каверно-тріщиноваті карбонатні колектори з високою пористістю і проникністю, в яких поширені протяжні системи пластових, масивно-пластових і масивних природних резервуарів, що заповнені седиментогенними розсолами [66, 72].

У геологічній будові родовища беруть участь породи кам'яновугільної, пермської, тріасової, юрської, крейдяної систем і кайнозою.

З геоморфологічної точки зору, родовище знаходиться в долині річки Псел – лівій притоці річки Дніпро, у Придніпровській низовині. Для забезпечення водопостачання під час бурових робіт використовуються води Бучацького водоносного горизонту [71, 72].

2.1.2 Характеристика зразків бурового шламу

Дослідженням підлягали зразки БШ, відібрані на свердловинах № 77 Семиренківського родовища (№№ 1, 2, 5, 6), Мачухи № 54 (№№ 3 та 4) та на свердловинах з використанням БР на основі ІЕР Witer II (№№ 7–10), які наведено на рис. 2.4 [67].

Зразок №1	• Шлам на глино-полімерній основі на вході у центрифугу
Зразок №2	• Суха фракція шламу на глино-полімерній основі на виході з центрифуги
Зразок №3	• Суха фракція шламу на вуглеводневій основі на виході з центрифуги
Зразок №4	• Фугат на вуглеводневій основі на виході з центрифуги
Зразок №5	• Шлам на глино-полімерній основі на вході у центрифугу
Зразок №6	• Суха фракція шламу на глино-полімерній основі на виході з центрифуги
Зразок №7	• Шлам на основі ІЕР Witer II на вході у центрифугу
Зразок №8	• Шлам без промивки
Зразок №9	• Шлам з промивкою
Зразок №10	• Суха фракція шламу на основі ІЕР Witer II на виході з центрифуги

Рисунок 2.4 – Досліджувані зразки бурового шламу

Зразки БШ №№ 7–10 відбиралися на свердловинах, для буріння яких використовували БР на основі ІЕР Witer II. Хімічний склад такого розчину наведений на рис. 2.5, призначення якого полягає у первинному і вторинному розкритті продуктивних пластів, бурінні в аварійних зонах будь-якої складності, проведенні капітального ремонту свердловин, використанні як спеціальних рідин для тампонажу свердловин [67].

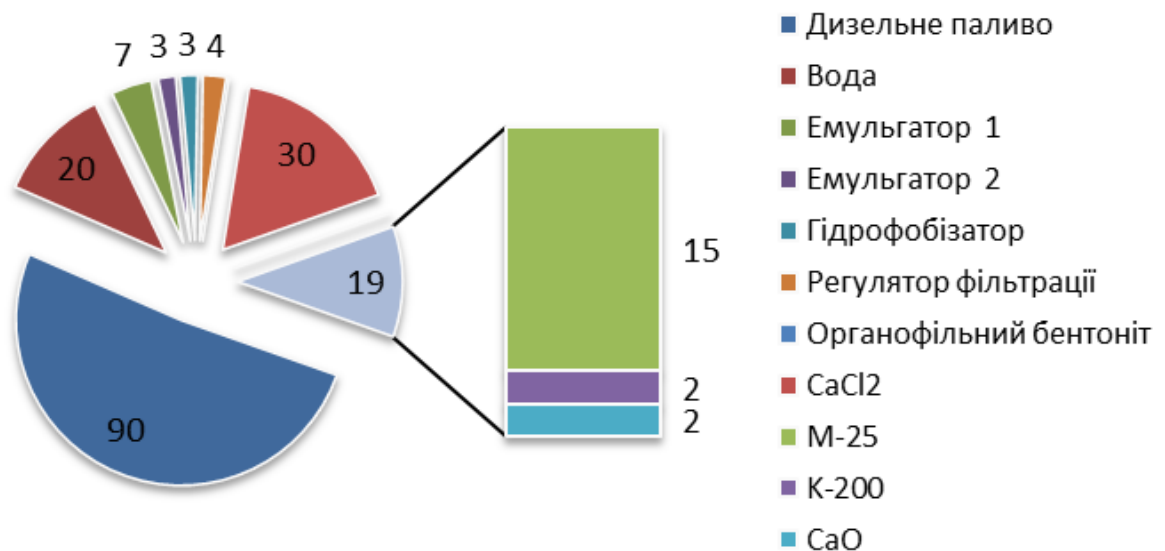


Рисунок 2.5 – Склад бурового розчину на основі IEP Witer II

При цьому органіфільний бентоніт використовується як твердий стабілізатор та наповнювач. CaCl₂ є мінералізатором водної фази, M-25 – це карбонатний кольматант, K-200 – органічний кольматант, а CaO виступає як нейтралізатор органічних кислот та регулятор рН. IEP відрізняється від інших розчинів застосуванням вуглеводневої рідини (дизельного палива) в якості дисперсійного середовища, а води і солей – як дисперсної фази [73].

Параметри бурового розчину наведені в табл. 2.1.

Під умовною в'язкістю розуміють тривалість витікання 500 см³ із залитих 700 см³ ретельно перемішаного бурового розчину через калібровану трубку з внутрішнім діаметром 5 мм і довжиною 100 мм. Статичне напруження зсуву (СНЗ) характеризує міцність сформованої суспензією тиксотропної структури у стані спокою та інтенсивність її зміцнення у часі, і відповідає мінімальному напруженню зсуву, яке необхідно прикласти до бурового розчину, щоб вивести зі стану рівноваги.

Таблиця 2.1 – Параметри бурового розчину на основі ІЕР Witer II

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Густина	кг/м ³	1020–1900
Умовна в'язкість	сек.	80–150
Статистичне напруження зсуву (СНЗ)	дПа	30/40–65/70
Фільтрація	см ³ /30хв.	0,5–2,5
Пластична в'язкість	мПа · с	20–60
Динамічне напруження зсуву (ДНЗ)	дПа	70–150

Вуглеводнева рідина утворює фільтрат розчину, що містить вуглеводневу рідину, повністю усуває проблему стійкості гірських порід на стінках свердловин та уникнення набухання глинистих мінералів у пластах-колекторах внаслідок їх гідратації. Таким чином, використання цього БР забезпечує оптимальні умови для безаварійного буріння і якісного розкриття продуктивних горизонтів [66, 67].

Для деяких досліджуваних зразків використовувався буровий розчин на глиняно-полімерній основі, до складу якого входили: обважнювачі (барит, гематит, крейда, мелений вапняк); суспензія вибурених порід чи бентоніту; карбоксиметилцелюлоза, інгібуючі реагенти, КСІ, розріджувачі, кальцинована сода, графіт. Відповідно, такі бурові розчини мають відмінні параметри у порівнянні з буровим розчином на основі ІЕР Witer II.

Зокрема, варто звернути увагу на ті параметри, що впливають на процес очищення ВБР, зокрема: густина: 1160–2300 кг/м³; в'язкість 50–120 сек.; СНЗ 40/60–80/120 дПа; фільтрація 6–8 см³/30хв. Буровий розчин на глиняно-

полімерній основі має вищі значення густини, статистичної напруги зсуву та фільтрації, та нижчу умовну в'язкість [66, 67].

2.2 Методика проведення експерименту

Відпрацьовані бурові розчини (ВБР) можуть завдавати значної шкоди верхнім шарам літосфери, особливо для лужних суглинкових і глинистих ґрунтів. Хоча для кислих ґрунтів з високим вмістом органічних речовин та піщаних ґрунтів негативний вплив ВБР менший. Одним із способів зменшення об'єму відходів ВБР, що містять БШ, та зниження їх шкідливого впливу на довкілля є регенерація та повторне використання ВБР у технологічному процесі [66, 67].

Екологічно безпечною технологією поводження з ВБР є його регенерація та повторне використання у технологічному процесі [66, 67]. На підставі проведеного літературного огляду встановлено, що ефективним способом розділення ВБР та БШ з одержанням технічної води, придатної для приготування нового бурового розчину, та твердої екологічно безпечної фази, є центрифугування. Експериментальні дослідження спрямовані на визначення технологічних, екологічних та експлуатаційних характеристик запропонованої технології, а також наукового обґрунтування закономірностей процесу інтенсифікації та безпосередньо розділення БШ у полі дії відцентрових сил.

У зв'язку з цим методика проведення експерименту передбачала такі етапи:

- 1) дослідження хімічного та фазового складу відходів, що використовувалися для експерименту, рівня їх екологічної безпеки;
- 2) визначення вологості досліджуваних зразків БШ;
- 3) проведення розділення БШ у центрифугі на тверду і рідку фази;
- 4) оброблення досліджуваних зразків БШ коагулянтами та флокулянтами з різними концентраціями, та проведення розділення БШ у центрифугі;

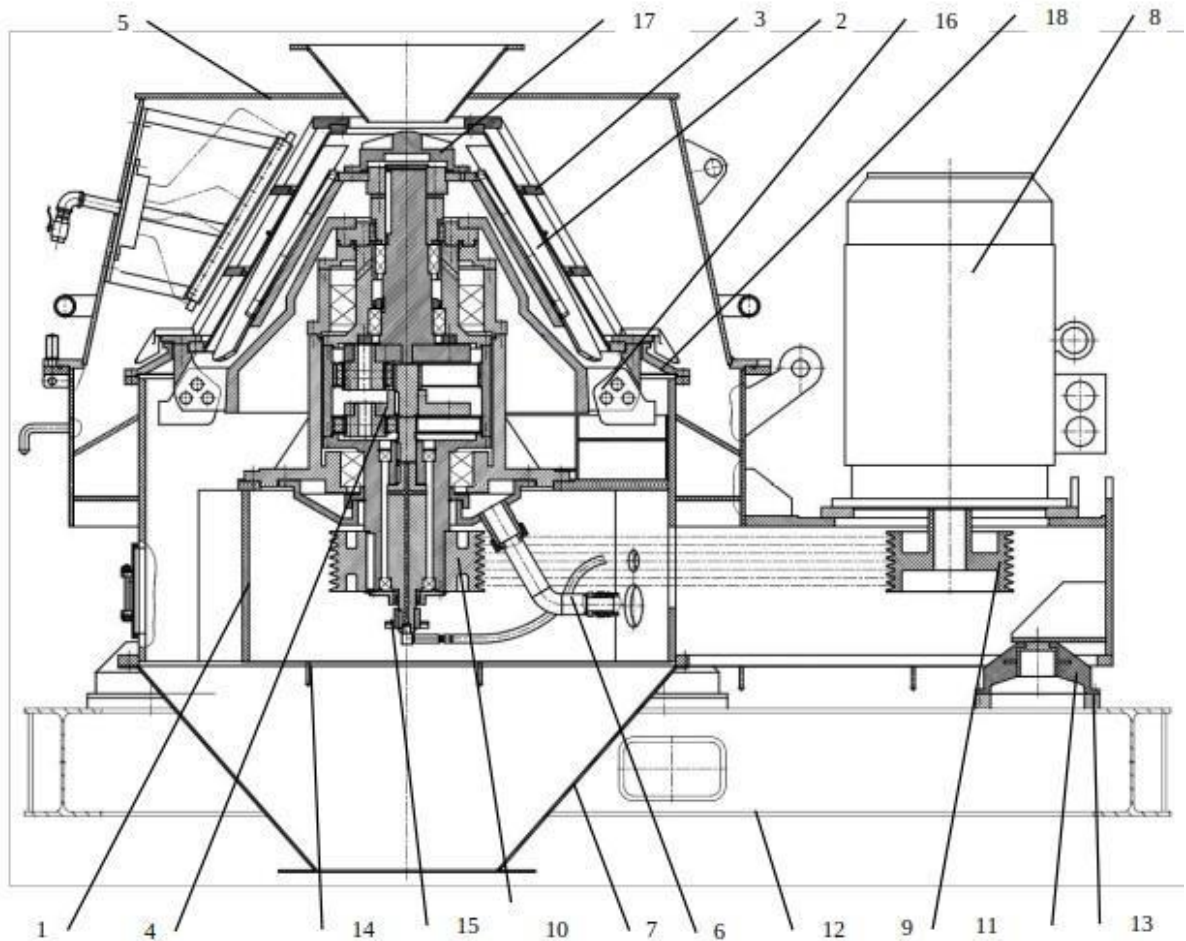
5) дослідження хімічного та фазового складу одержаних зразків твердої та рідкої фази БШ;

б) визначення вологості досліджуваних зразків твердої фази БШ після розділення та розрахунок ступеня осушення БШ;

7) статистичний аналіз одержаних результатів, встановлення ефективних концентрацій флокулянта та коагулянта, визначення ефективності осушувального режиму центрифуги.

План експерименту щодо встановлення оптимальних доз коагулянту та флокулянту полягав у додаванні різної кількості коагулянту та флокулянту до зразків № 1, № 5 та № 7 з подальшим розділенням у центрифугі, визначенням вологості зразків на виході з центрифуги та розрахунок ступеня осушення. При цьому доза коагулянта варіювалася в діапазоні 10–50 % мас. від вмісту твердої речовини, а доза флокулянта – 0,1–1 % мас. від вмісту твердої речовини.

Для відновлення ВБР було використано устаткування, що працює за принципом відцентрової сили, зокрема центрифуги. Дослідження було проведено з використанням вертикального шламового осушувача, який є вертикальною центрифугою безперервної дії, розробленою для очищення БР від вибуреної породи при бурінні нафтових і газових свердловин. Центрифуга входить до складу циркуляційних систем бурових установок і може бути використана як при амбарному, так і при безамбарному (маловідходному) бурінні, тому що він дозволяє одержати вихід шламу низької вологості. Осушувач має сучасну конструкцію, яка дозволяє обробляти різні об'єми шламу, в середньому до 50 тон. Вміст вуглеводневої суміші в осушеному шламі, яка відводиться з осушувача, зазвичай становить < 5–6% від початкової ваги (рис. 2.6) [46].



1 – корпус, 2 – ротор у зборі, 3 – кошик щілинний у зборі, 4 – редуктор у зборі, 5 – кришка верхня, 6 – маслосистема, 7 – днище, 8 – електродвигун, 9 - шків двигуна, 10 - шків редуктора, 11 - опора амортизатор, 12 – підрамник, 13 – фланець монтажний, 14 – кришка нижня, 15 – фіксатор, 16 – кришка, 17 – лоток, 18 – фланець

Рисунок 2.6 – Осушувач вертикальний шламівий ОВШ-950 [46]

ОВШ-950 (осушувач вертикальний шламівий) є вертикальною центрифугою безперервної дії, розробленою для очищення БР від надмірного вмісту твердої фази і відновлення обважнювача з обважнених БР під час буріння нафтових і газових свердловин. Вона також призначена для зневоднення стічних вод та очищення масел і інших матеріалів від механічних домішок. Технічні характеристики ОВШ-950 наведені в таблиці 2.2 [67].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики осушувача вертикального шламового ОВШ-950

Технічні характеристики	Значення	Технічні характеристики	Значення
Продуктивність, тонн/год	30–50	Тиск пневмоножа, МПа	0,7
Діаметр макс., мм	950	Подача пневмоножа, м ³ /хв	1,8
Щілинний зазор сита, мм	0,3–0,9	Насос очисний, шт	1
Швидкість обертання, об/хв	1200	Потужність, кВт	
- сита	1180	- двигуна	55
- ротора	1500	- масляного насоса	0,55
- двигуна		- очисного насоса	4
Відцентровий фактор поділу	764	Габарити, мм	2724x1882x2171
Об'єм масляного бака, л	47	Вага, кг	4400

Вертикальний осушувач з високошвидкісною вертикальною центрифугою є ефективним інструментом утилізації бурового шламу. Завдяки максимальній сепарації рідини і твердої фази у великих обсягах, цей осушувач дозволяє повернути бурові рідини з бурового шламу для подальшого використання. ОВШ-950 забезпечує оптимальну переробку бурових рідин і мінімізацію кількості відходів, що дозволяє значно знизити витрати для операторів.

Вертикальний осушувач ОВШ може бути застосований для висушування БШ та бурильної рідини як на основі вуглеводнів, так і на водній основі. ОВШ має істотні переваги для обробки БР як на вуглеводній так і на водній основі [46, 67]:

1) для БШ на вуглеводній основі вміст органіки може бути зменшено до 3–5 %;

2) для БШ на водній основі вміст вологи знижується до рівня нижче 50 % зазвичай, що полегшує його транспортування;

3) повернення БР для повторного використання задовольняє вимогам раціонального природокористування та є економічно ефективним підходом за рахунок економії коштів на закупівлю сировинних матеріалів для приготування БР, оскільки дорогі промивні рідини можуть відновлюватися з шламу, як і весь БР, втрачений через відмову вібросит;

4) зменшення кількості БВ, що є економічно виправданим з точки зору подальшої утилізації.

2.3 Методика дослідження ефективності осушення бурового шламу

Проби відбиралися у трьох кратному повторенні для забезпечення статистичної значимості результатів вимірювань. Дослідженням підлягали зразки на всіх етапах розділення БШ, причому первинним був вихідний зразок на вході в центрифугу. Для встановлення закономірностей осушення шламу в ОВШ-950 для аналізу використовували БШ різного генезису, тобто утворений у результаті буріння різних свердловин та на різних глибинах. Оскільки для кожного етапу життєвого циклу буріння свердловини використовується різного складу БР, то досліджувалися шлами, до складу яких входили ВБР на глиняно-полімерній основі, вуглеводневій основі, зокрема на основі IEP Witer II [67, 73].

Вологість зразків БШ визначали згідно із стандартними методиками відповідно до ДСТУ Б В.2.1–17:2009 та ДСТУ ISO 11465–2001 [74, 75]. Сушіння

зразків проводили в сушильній шафі за температури 105 С (рис. 2.7). Як рекомендовано за методикою [75], оброблені проби зразків відходів зважували з дотриманням вимог щодо похибки вимірювання, яка не повинна перевищувати 0,5–0,7 %.



Рисунок 2.7 – Сушильна шафа з температурою 105 С для сушіння зразків БШ

Абсолютну вологість БШ W у відсотках, яка визначає масову частку води у шламі, обчислювали за формулою

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де m_0 – маса сухого порожнього бюкса з кришкою, г;

m_1 – маса закритого бюкса з вологим БШ, г;

m_2 – маса закритого бюкса з висушеним у сушильній шафі БШ, г.

Масову частку сухої речовини W_{dm} , % розраховували за формулою

$$Wdm = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \cdot 100\%. \quad (2.2)$$

Ефективність ступеню осушення E визначали за формулою

$$E = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \cdot 100 \%, \quad (2.3)$$

де W_1 – вологість зразку шламу до осушувача (на вході), %;

W_2 – вологість зразку шламу після осушувача (на виході), %.

Ступінь розділення бурового шламу у центрифугі на рідку та тверду фази визначається реологічними властивостями основи бурового розчину, що було описано у першому розділі [61, 62]. Реологічні властивості визначали через в'язкість, яку вимірювали на приладі реометр Discovery Hybrid Rheometer HR 10 (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Реометр Discovery Hybrid Rheometer HR 10 для визначення в'язкості бурового шламу

Цей прилад дозволяє проводити найбільш чутливі вимірювання з високою точністю. Це дає змогу виміряти та дослідити меншу в'язкість і слабкі рідкі та м'які (тверді) структури, використовуючи менше вхідного матеріалу. Гарна динамічна продуктивність забезпечує високий рівень точності вимірювань G' і G'' [76].

Продуктивність гібридного реометра Discovery підтримується широким набором потужних, простих у використанні екологічних систем і аксесуарів, які дозволяють відтворювати вимогливі та складні умови навколишнього середовища, включати додаткові одночасні вимірювання або розширювати вимірювання за межі звичайної реології. Прилад HR 10 базується на перевірених у польових умовах точності та надійності сімейства гібридних реометрів Discovery. Використання передових технологій моделей HR 20 і HR 30, HR 10 забезпечує найкращі показники в галузі, що підходить для широкого спектру загальних вимірювань в'язкості та в'язкопружності, а також для цілодобового використання та контролю [76].

Усі температурні системи та аксесуари Discovery Hybrid Rheometer від TA Instruments розроблені з урахуванням ефективної продуктивності та простоти у використанні. Технології Smart Swap™ забезпечують швидку та просту заміну аксесуарів, а також автоматичне виявлення найоптимальніших параметрів та налаштування реометра для роботи [76].

2.4 Методика дослідження екологічної безпеки бурового шламу, хімічного та фазового складу

Радіоактивність БШ оцінювали еквівалентною дозою, яку вимірювали за допомогою приладу дозиметр-радіометр МКС-05 «Терра-П». Аналіз проводили згідно з методикою, наведеною у керівництві щодо експлуатування ВІСТ (412129.012 KE) [77]. Еквівалентна доза (у зівертах) характеризує вплив іонізуючого гамма-випромінювання на біологічний об'єкт (людину). Фоновий

рівень потужності гамма-випромінювання приймається за 0,1 мкЗв/год, а пороговий рівень – 0,3 мкЗв/год [66, 67].

Для визначення особливостей і характеру процесів вимивання хімічних елементів з БР проводили ідентифікацію елементного складу зразків. Дослідження проводили методом *рентгено-флуоресцентного аналізу* (РФА чи XRF) на приладі ElvaX Light SDD. За результатами аналізу одержують значення інтенсивності піків хімічних елементів, що дозволяє кількісно порівняти вміст конкретного елемента у різних зразках. Якісний елементний аналіз зразків БШ був виконаний на енергодисперсійному рентгенофлуоресцентному спектрометрі ElvaX Light SDD (ТОВ "ЕЛВАТЕХ", Київ), який є модифікацією спектрометра ElvaX з розширеним у бік легких елементів діапазоном.

Прилад призначено для експресного якісного та кількісного аналізу складу металічних сплавів, порошків, рідин, біопроб на вміст хімічних елементів від Na (атомний номер $Z = 11$) до U ($Z = 92$) в широкому діапазоні концентрацій. Точність визначення масових часток металів не нижча, ніж 0,1 %. Межі виявлення домішок ВМ в легкій матриці ≤ 1 ppm. Спектрометр занесено в Державний реєстр засобів вимірювальної техніки, які допущені до використання в Україні, під номером У1411-01 [66]. Для аналізу зразків застосовувалася рентгенівська трубка з родієвим анодом. При дослідженні першої групи елементів (від Na до Sc,) напруга на трубці складала 10 кВ. Фільтр первинного рентгенівського випромінювання відсутній. Для аналізу другої групи елементів (від Ti) встановлювали напругу на трубці 40 кВ та алюмінієвий фільтр первинного рентгенівського випромінювання товщиною 800 мкм. Сила струму підбиралася автоматично для досягнення рівня загрузки 50000 імп./с.

Фазовий склад проб БШ визначали *методом рентгенівської дифракції* (дифрактометр ДРОН-4-07, НВП «Буревісник»).

Система автоматизації ДРОН-4-07 ґрунтується на мікропроцесорному контролері, який забезпечує управління гоніометром ГУР-9 і передачу даних у цифровому вигляді на персональний комп'ютер. При зйомці витримувалися такі

параметри: випромінювання $\text{CuK}\alpha$ з довжиною хвилі 0,154 нм, фокусування по Бреґу–Брентано θ - 2θ (2θ – бреггівський кут), значення струму і напруги на рентгенівській трубці – 20 мА і 40 кВ. Зйомка зразків проводилася у режимі безперервної реєстрації зі швидкістю $1^\circ/\text{хв.}$ і діапазоном кутів 2θ від 15° до 105° . Для попередньої обробки експериментальні результати передавалися безпосередньо в програмний пакет підтримки експерименту DifWin-1 (ТОО «Еталон ПТЦ»). Кінцева ідентифікація кристалічних фаз проводилася за допомогою програмного пакета Crystallographica Search – Match (Oxford Cryosystems) при накладених обмеженнях на елементний склад зразка шляхом автоматичного порівняння отриманих результатів з картками бази даних PDF-2 з подальшою ручною вибіркою [66].

Кількісний вміст рухомих форм ВМ (заліза, міді, кобальту, нікелю, хрому) у БШ визначали методом *атомно-абсорбційної спектрофотометрії*. Для аналізу готують витяжки буферним амонійно-ацетатним розчином з рН 4,8 відповідно до стандартних методик (ДСТУ 4770.2:2007, ДСТУ 4770.4:2007, ДСТУ 4770.6:2007, ДСТУ 4770.7:2007, ДСТУ 4770.8:2007) [66, 78, 79, 80, 81, 82]. Приготовлені розчини аналізувалися на спектрофотометрі С115-М1 (ВАТ «СЕЛМІ», Україна) з електротермічним атомізатором. Для визначення кожного елемента будували калібрувальні графіки, використовуючи стандартні розчини елементів. Проведення вимірювань і розрахунків здійснювалося на базі програми AAS-SPECTR [66].

2.5 Методи дослідження інтенсифікації процесу розділення бурового шламу

Для розділення відходів буріння на фази ефективно використовується циркуляційна система очищення, що включає вібраційне сито, гідроциклон та центрифуги або декантер чи трикантер. Процес інтенсифікується за допомогою електрокоагулювання або реагентної коагулювання і флокування.

У результаті коагулювання утворюються агрегати – великі (вторинні) частинки, що складаються зі скупчення дрібних (первинних) частинок. Первинні частинки в таких агрегатах з'єднані міжмолекулярної силами взаємодії, безпосередньо або через прошарок навколишнього (дисперсійної) середовища [83, 84]. Коагулювання супроводжується прогресуючим та поступовим укрупненням частинок і зменшенням їх загальної кількості в обсязі рідини, як показано на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – Загальний механізм коагулювання з укрупненням частинок [83, 85]

Коагулянти у воді утворюють пластівці гідроксидів металів, які швидко осідають під дією сили тяжіння [86]. Ці пластівці мають здатність вловлювати колоїдні та зважені частинки й агрегувати їх. Оскільки колоїдні частинки мають слабкий негативний заряд, а пластівці коагулянтів – слабкий позитивний заряд, то між ними виникає взаємне тяжіння (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Механізм коагулювання за рахунок сил взаємного тяжіння [87]

Колоїдні частинки мають властивість утворювати на своїй поверхні подвійний електричний шар. Одна частина подвійного шару фіксована на поверхні розділу фаз, а інша створює хмару іонів, тобто одна частина подвійного шару є нерухомою, а інша рухомою (дифузійний шар) (рис. 2.11).

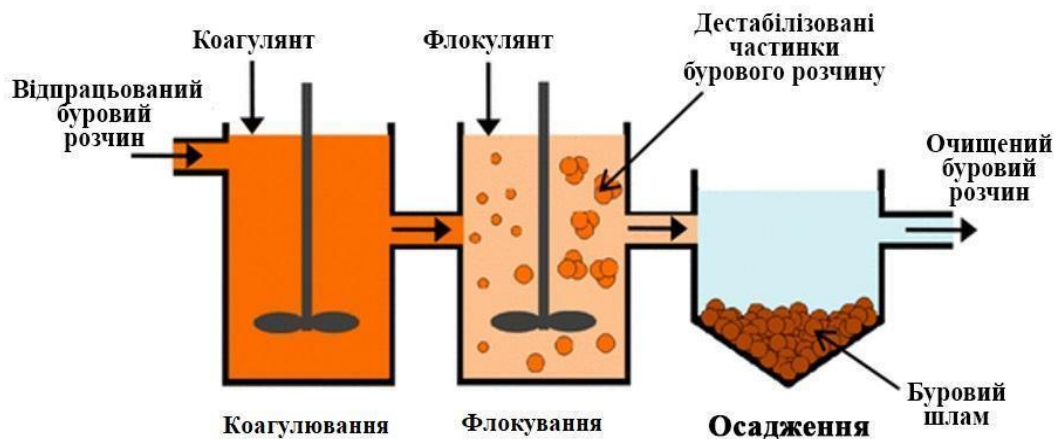


Рисунок 2.11 – Схема утворення колоїдних систем під впливом коагулянта та флокулянта (адаптовано на основі [88])

Механізм флокування глинистих частинок, як показано на рисунку 2.12, полягає у взаємодії негативно заряджених частинок із полімерними молекулами та їх “склеюванні” у такий спосіб.

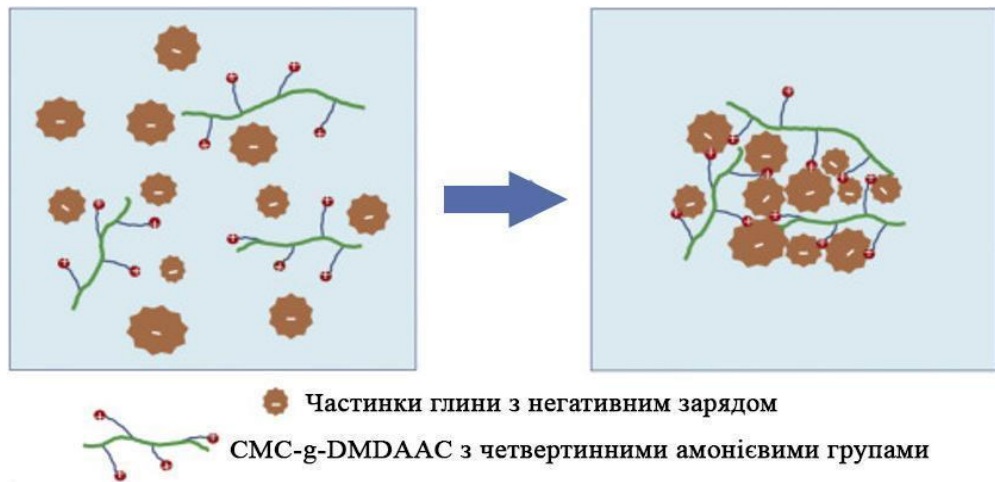


Рисунок 2.12 – Механізм флокування СМС-g-DMDAAC для глинистих частинок [89]

Флокування застосовують для інтенсифікації процесу утворення пластівців гідроксидів алюмінію і заліза з метою підвищення швидкості їх осадження. Використання флокулянтів дозволяє знизити необхідні дози коагулянтів, скоротити тривалість процесу коагулювання та підвищити швидкість осадження утворюваних пластівців (рис. 2.13).

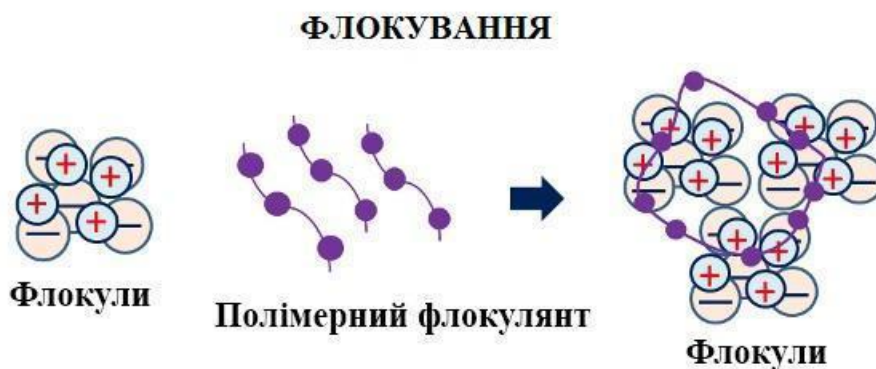


Рисунок 2.13 – Механізм флокування після проведення коагулювання [87]

Для проведення досліджень використано хітозан, який є деацетильованим похідним хітину, що складається з лінійного сополімера D-глюкозаміну та N-ацетил-D-глюкозаміну (рис. 2.14) [90, 91].

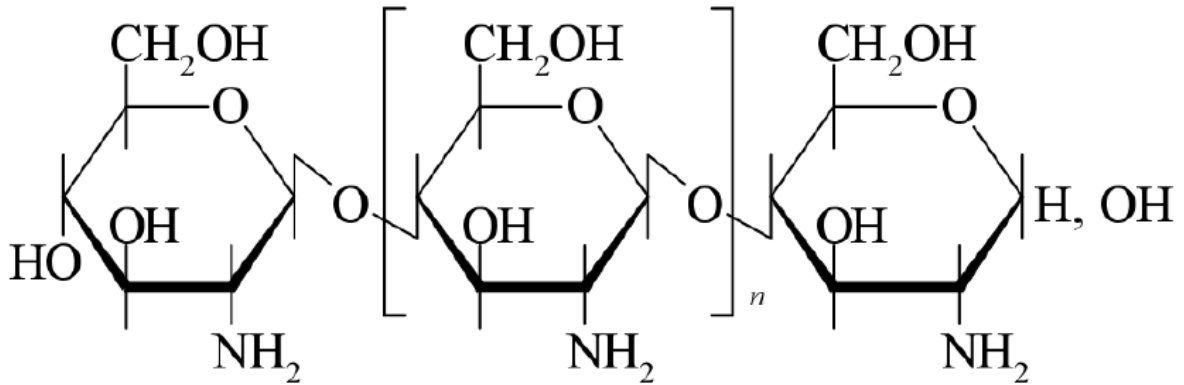


Рисунок 2.14 – Хімічна формула хітозану – сополімеру D-глюкозаміну та N-ацетил-D-глюкозаміну

Повний механізм флокування за допомогою хітозану недостатньо вивчений, проте встановлено, що в ході цього процесу переважає механізм мостика [92]. Флокуляційна здатність, як і інші властивості хітозану, залежить від ступеня деацетилювання, а також від рН середовища. Він розчинний у кислому середовищі, в якому аміногрупи протоновані, але нерозчинний у нейтральному та лужному середовищах [91].

2.6 Статистичний аналіз

Статистичну значущість даних про хімічний склад зразків бурового шламу оцінювали за допомогою аналізу варіацій (ANOVA). Дані вважалися суттєво різними, якщо $P \leq 0.05$. Систематичні помилки однаково для всіх значень показників відстежуються під час експерименту. Ця похибка була визначена точністю вимірювання та класом вимірювання.

Визначення випадкових помилок передбачало порівняння статистики вибірки, тобто середнього значення вибірки з деяким стандартним значенням, та знаходження відношення цієї різниці до стандартного відхилення або стандартної помилки. Програмне забезпечення для аналізу даних SPSS (IBM

SPSS Statistics, 29.0.0.0) та Matlab (MathWorks, R2020a) було використано для всіх статистичних аналізів та оцінки аналізу.

Кожен закодований зразок вважався незалежним і виконувались повторення [66, 67].

Висновки до розділу 2

У розділі 2 «Об'єкт та методи дослідження» одержано такі результати:

1. Розроблено методику експерименту, що передбачає дослідження властивостей бурових відходів до та після розділення, зокрема за показниками екологічної безпеки; встановлення закономірностей розділення відходів у центрифuzі у разі інтенсифікації процесу хімічним коагулюванням та флокуванням.

2. Запропоновано методи дослідження та показники оцінювання рівня екологічної безпеки бурових відходів до та після розділення.

3. Запропоновано використовувати ступінь осушення твердої фази у центрифuzі як показник ефективності інтенсифікації та параметрів робочого режиму осушувача.

4. Розглянуто механізм коагулювання та флокування як методів інтенсифікації осадження зважених частинок та відповідно ефективності розділення шламу на тверду і рідку фази, та ступеня осушення твердої фази шламу.

Основні результати дослідження опубліковані в наукових працях: [66, 67, 84].

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗДІЛЕННЯ БУРОВОГО ШЛАМУ НА ОКРЕМІ ФАЗИ

3.1 Дослідження екологічної безпеки твердої фази БШ

Дослідження елементного складу твердої фази бурового шламу та фазового аналізу дозволяє встановити його мінеральний склад та виявити наявність важких металів. Ці дані можуть бути використані для рекомендацій щодо способів утилізації відходів, наприклад, використання їх у виробництві будівельних матеріалів, для відсіпки доріг та інших корисних цілей. Це має екологічні переваги порівняно з захороненням відходів на полігонах.

3.1.1 Дослідження хімічного (елементного) складу зразків БШ

На основі проведеного рентгено-флуоресцентного аналізу та одержаних результатів було встановлено, що важкі метали утворюють окрему групу хімічних елементів, що містяться у всіх зразках. При цьому їх вміст є досить незначним, не перевищує 0,3%, а для деяких металів наявність відображається на рівні слідів. Необхідно відмітити, що для зразків бурового шламу на глино-полімерній основі (№ 1, 2) присутні такі елементи, як ферум, нікель, хром, кобальт, цинк, п्लюмбум, для зразків № 5 та № 6 – ферум, нікель, хром, цинк, п्लюмбум; для зразків на вуглеводневій основі (№ 3 та № 4) – ферум, нікель, кобальт, купрум, п्लюмбум; для зразків на основі IEP Witer II (№№ 7–10) – ферум, нікель, купрум, п्लюмбум.

Спектрограми для зразків бурового шламу наведені в Додатку Б (рис. Б.1–Б.10).

Дослідженням підлягали зразки БШ до центрифуги та після розділення в центрифугі на тверду і рідку фракції, тому для встановлення рівня екологічної

безпеки одержаних фракцій доцільно визначити розподіл важких металів у фазах після розділення та встановити закономірності переходу важких металів.

Якщо порівнювати кількісний вміст кожного металу, то спостерігається тенденція збільшення їх концентрації у зразку на виході з центрифуги у порівнянні з входом за рахунок концентрування у твердій фазі, тому можна припустити, що у фугаті їх вміст знизиться (рис. 3.1–3.8). Усі значення не перевищують встановлені ГДК для ґрунту [66, 67].

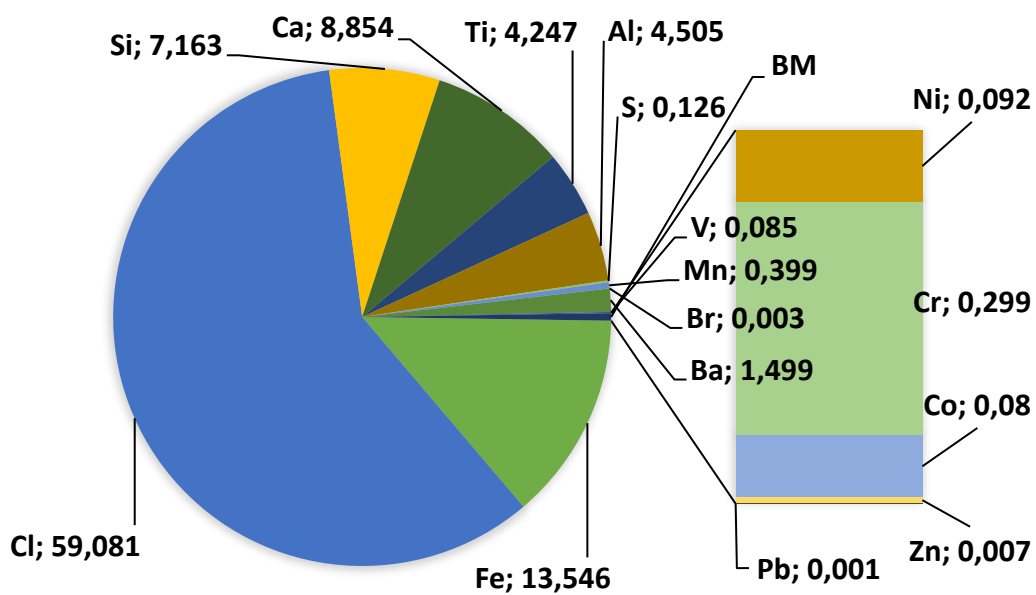


Рисунок 3.1 – Елементний склад бурового шламу зразка № 1 (на вході в центрифугу на глино-полімерній основі)

Під час експерименту була підтверджена гіпотеза про збільшення концентрації елементів, що є характерними для гірських порід, та зниження концентрації хімічних елементів, які містяться у складі бурового розчину та переходять до рідкої фази після розділення у центрифугу. Було проведено порівняння елементного складу зразків бурового шламу, які були взяті на вході (№ 1) та на виході (№ 2) з центрифуги (рис. 3.1 та 3.2 відповідно).

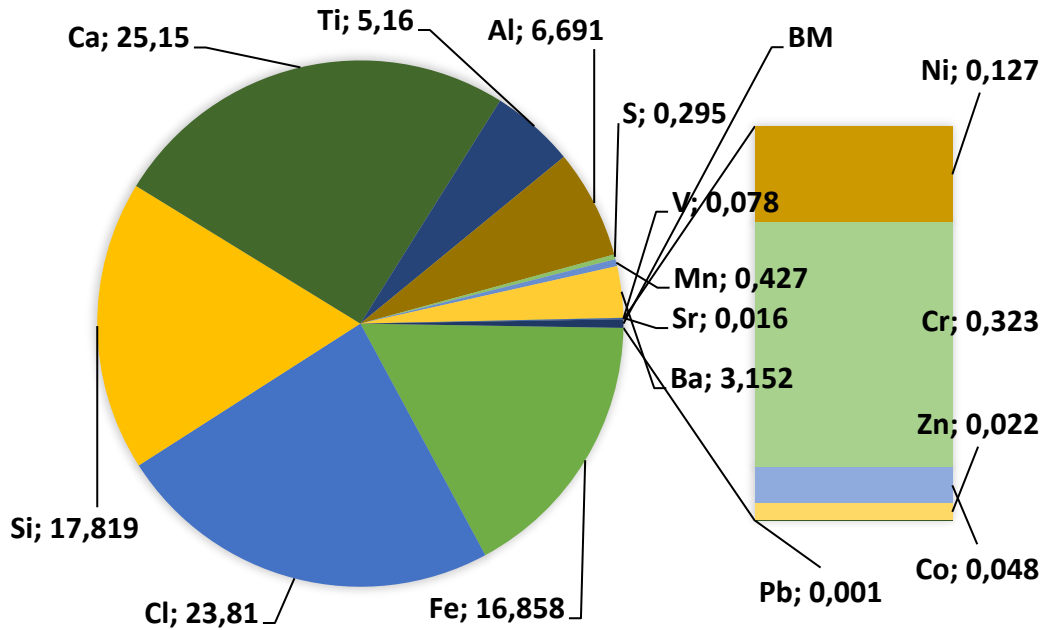


Рисунок 3.2 – Елементний склад бурового шламу зразка № 2 (на виході з центрифуги на глино-полімерній основі)

Як показали результати аналізу, частка хлору у буровому розчині знижується, а концентрація силіцію, заліза та кальцію збільшується. Результати аналізу хімічного складу зазначені на рисунку 3.1 та рисунку 3.2 та були підтверджені результатами рентгенофазового аналізу з ідентифікацією переважаючих фаз у досліджуваних зразках.

На рис. 3.3 та 3.4 наведені результати елементного складу бурового шламу зразків № 3 та № 4.

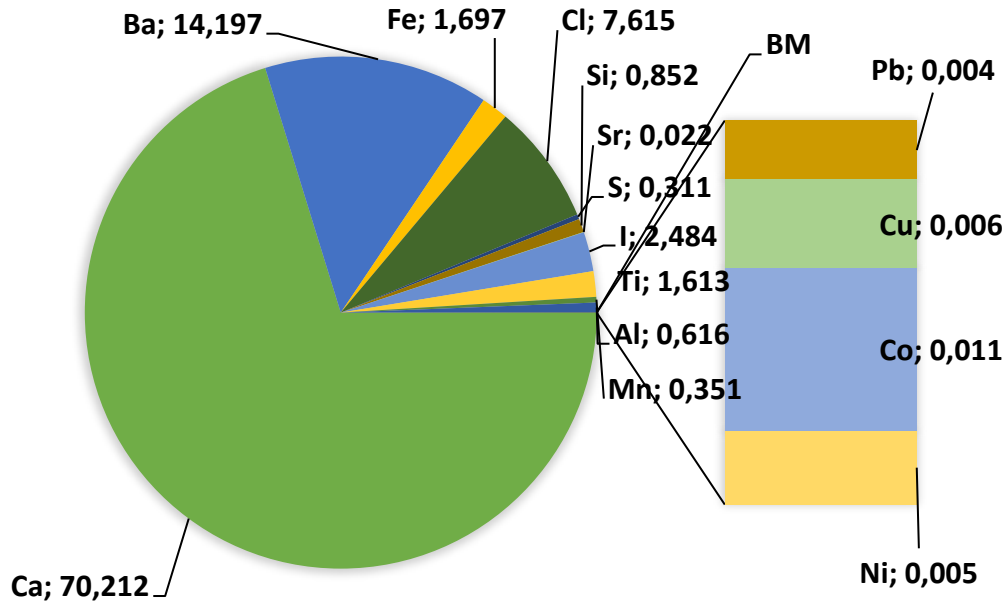


Рисунок 3.3 – Елементний склад бурового шламу зразка № 3 (на виході з центрифуги на вуглеводневій основі)

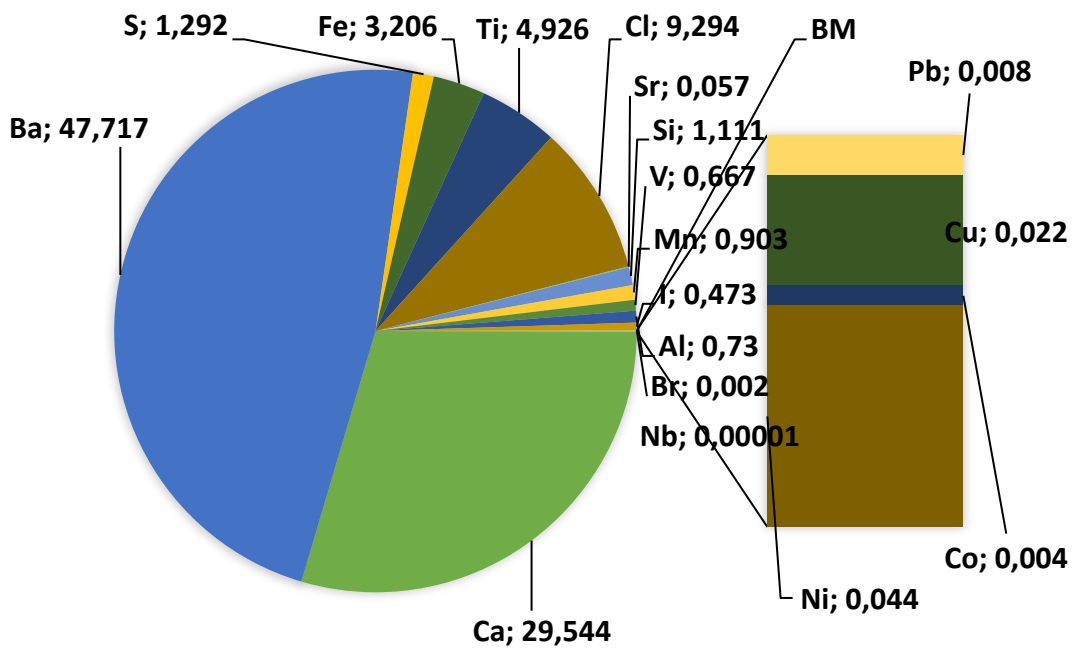


Рисунок 3.4 – Елементний склад бурового шламу зразка № 4 (фугату на виході з центрифуги на вуглеводневій основі)

Зразки БШ № 5 та №6 є аналогічними за походженням із зразками № 1 та № 2 відповідно. Результати елементного складу бурового шламу зразків № 5 та № 6 наведені на рис. 3.5 та 3.6.

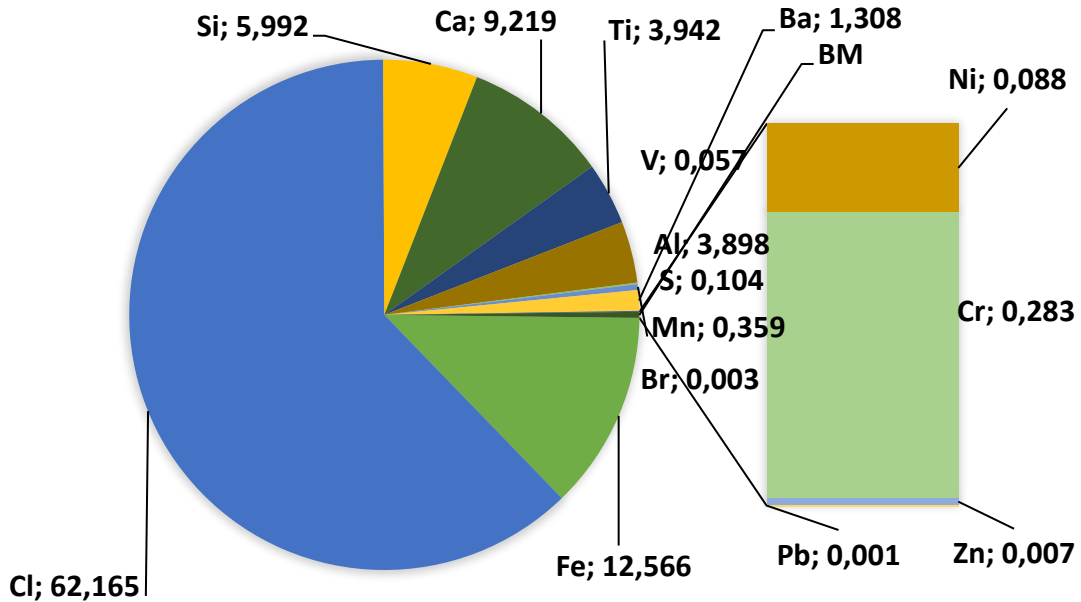


Рисунок 3.5 – Елементний склад бурового шламу зразка № 5 (на вході в центрифугу на глино-полімерній основі)

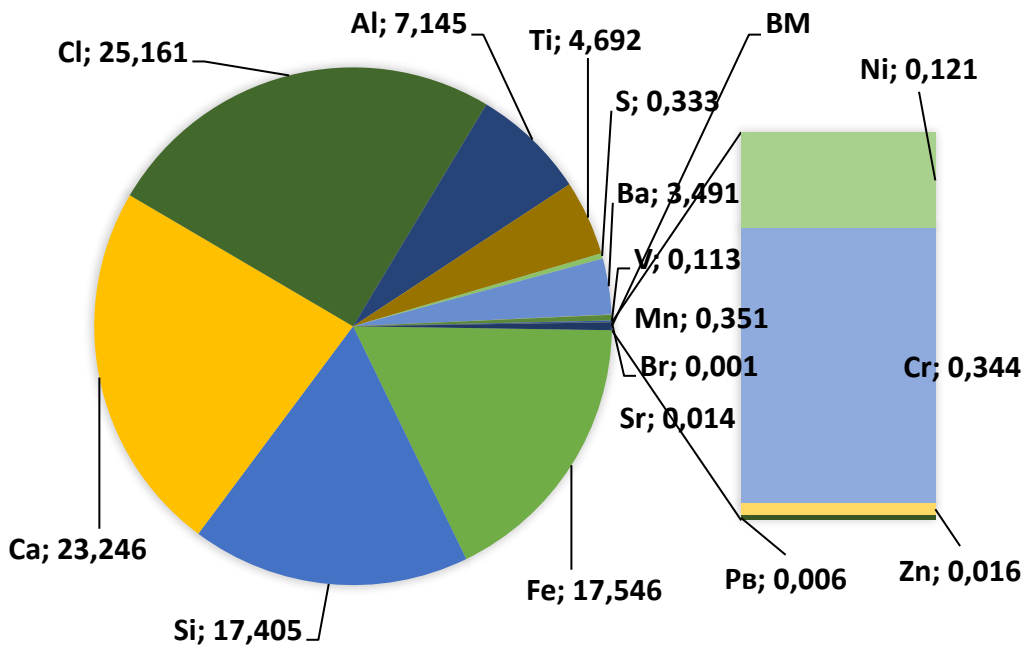


Рисунок 3.6 – Елементний склад бурового шламу зразка № 6 (на виході з центрифуги на глино-полімерній основі)

Для зразків бурового шламу на основі ІЕР Witer II наведемо результати елементного аналізу, що відповідають зразкам до та після центрифуги – № 7 та № 10 відповідно (рис. 3.7 та 3.8 відповідно).

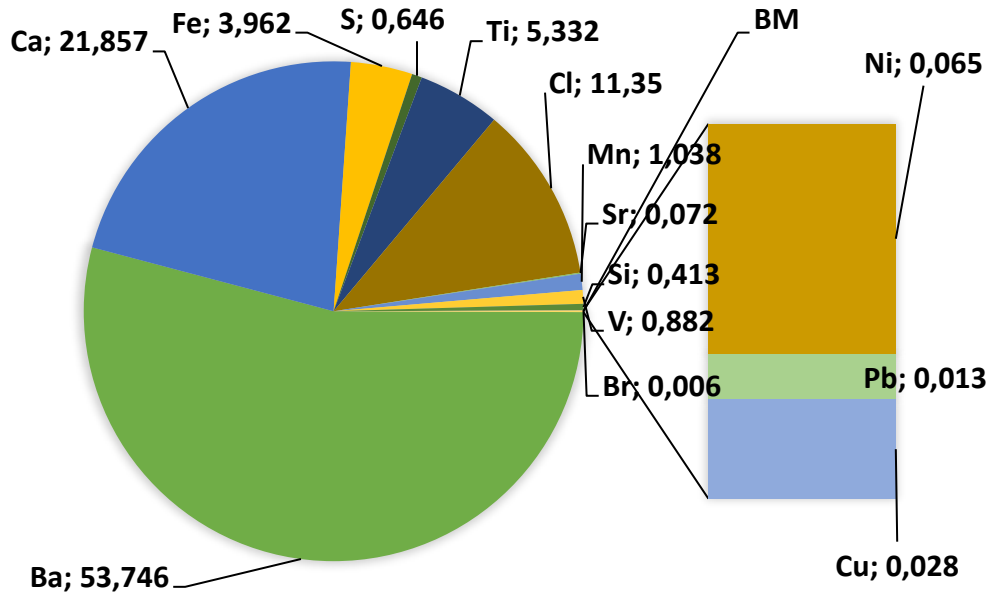


Рисунок 3.7 – Елементний склад бурового шламу зразка № 7 (на вході в центрифугу на основі ІЕР Witer II)

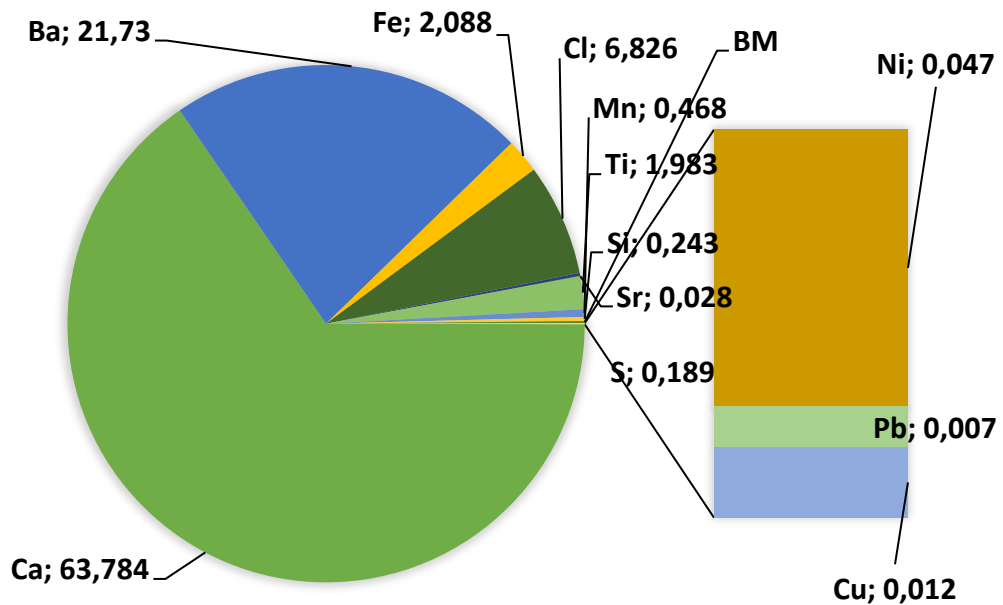


Рисунок 3.8 – Елементний склад бурового шламу зразка №10 (на виході з центрифуги на основі ІЕР Witer II)

На підставі проведеного рентгено-флуоресцентного аналізу та одержаних результатів встановлено, що серед виявлених у шламі хімічних елементів певною токсичністю володіє група важких металів, утворена для зразків №№ 7, 8, 9 та 10 такими елементами, як ферум, нікель, купрум, плюмбум. Усі значення не перевищують встановлені ГДК для ґрунту [66, 67].

3.1.2 Дослідження фазового складу зразків БШ

Фазовий аналіз проводили для зразків твердої фази, одержаної на виході з центрифуги, на глино-полімерній основі (зразок № 2) та на вуглеводневій основі (зразок № 3). Для фазового складу одержали таке співвідношення за фазами для зразків № 2 та № 3 (рис. 3.9 та рис. 3.10 відповідно). Відповідні дифрактограми та результати фазового складу для зразків наведено у Додатку В (рис. В.1 та В.2, і табл. В.1 та В.2 відповідно) [66, 67, 93].

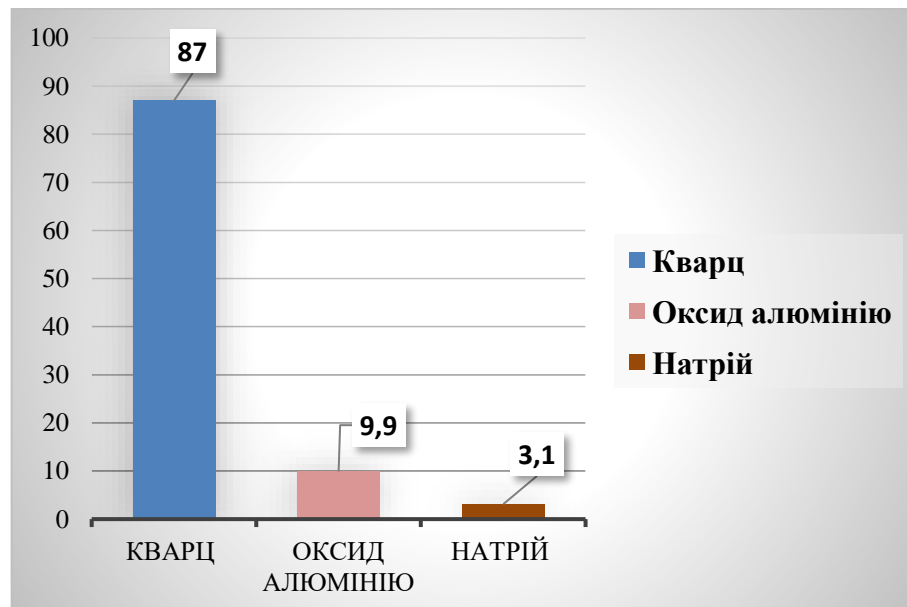


Рисунок 3.9 – Співвідношення між фазами для зразку № 2

Зразок твердої фази, отриманий на виході з центрифуги, містить високу концентрацію кварцу (87%), що може бути пояснено складом гірських порід в області буріння.

Також знайдено оксид алюмінію (10%), який походить з бурового розчину на глино-полімерній основі, що використовувався під час буріння.

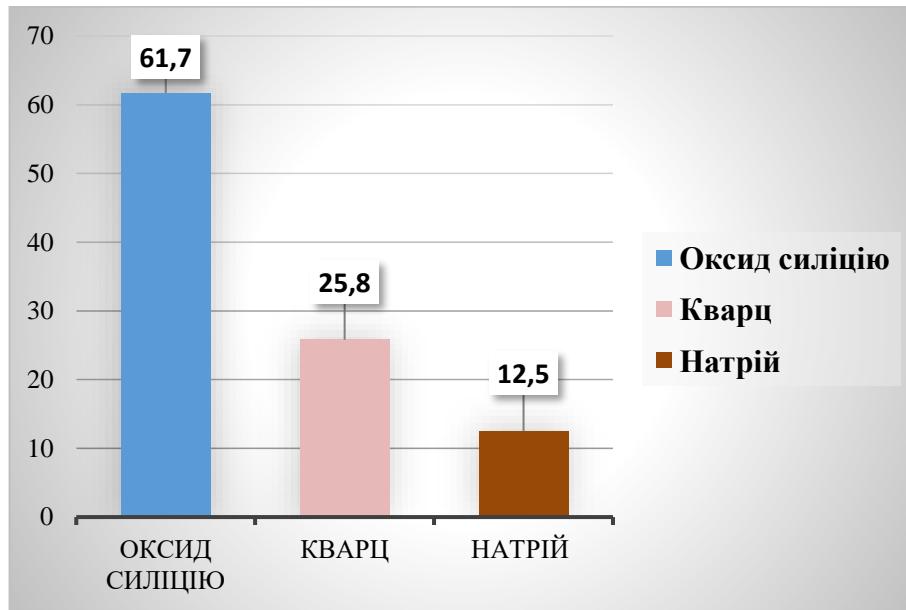


Рисунок 3.10 – Співвідношення між фазами для зразку № 3

Результати рентгенофазового аналізу для зразку №3 свідчать про різний склад порівняно зі зразком №2. Це може бути пояснено використанням бурового розчину з іншим хімічним складом на вуглеводневій основі для зразку №3. Переважаючою фазою виявився оксид силіцію (62%), а вміст кварцу знизився до 26%. Хоча хімічна формула SiO_2 та гексагональна кристалічна система однакові для обох фаз, різниця полягає у параметрах комірок кристалічних решіток.

Результати рентгенофазового аналізу підтверджують тісну кореляцію мінералогічного складу зразків шламу з хімічним складом бурового розчину та літологічною будовою шарів порід, які руйнуються у результаті проведення бурових робіт та є переважачим складником бурового шламу [94].

На підставі зазначених результатів для обґрунтування використання одержаних продуктів після розділення та осушення шламу за конкретним функціональним призначенням доцільно додатково провести дослідження щодо хімічного аналізу водної витяжки шламу за показниками: катіонний та аніонний склад (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , OH^-); водневий показник pH [67].

Проведення такого аналізу регламентується Базельською конвенцією, регламентними вимогами до технічної води, а у випадку скиду як стічної води – Правилами приймання стічних вод у міську каналізацію та Правилами охорони поверхневих вод від забруднення. Згідно Базельської конвенції хлориди натрію, калію та кальцію відносяться до Списку В, групи В2040. [67].

Однак, оскільки буровий шлам є не сухим відходом, то переважна більшість катіонів та аніонів, вміст яких обумовлений рецептурою бурового розчину, буде вимиватися у рідку фазу [66].

3.2 Дослідження ступеня ефективності осушення

Під час проведення процесу розділення шламів на фази, отримують нафтовмісну суміш та тверду фазу, які можуть бути використані як сировина. Значення абсолютної вологості вказує на ефективність відділення нафтовмісних продуктів від бурового шламу [67].

На основі отриманих даних про абсолютну вологість бурового шламу було обчислено середнє арифметичне значення відносної вологості шляхом усереднення трьох паралельних вимірів. Отримані результати вказують на середнє значення відносної вологості бурового шламу та наведені у табл.3.1 [67].

Таблиця 3.1 – Вологість досліджуваних зразків бурового шламу

Зразок	m_1 , г	m_2 , г	Вологість, %	Вологість, %
1	2	3	4	5
№1	11,1198	8,0394	27,70	27,55
	7,8355	5,6287	28,16	
	7,7923	5,7049	26,79	

Кінець табл. 3.1

1	2	3	4	5
№2	10,6261	10,0770	5,17	5,11
	9,1840	8,7201	5,05	
	9,5340	9,0468	5,11	
№3	9,9712	9,3127	6,60	6,39
	9,6161	9,0218	6,18	
	9,8211	9,1935	6,39	
№4	1,0000	0,7915	20,85	21,99
	2,0000	1,5374	23,13	
	0,6000	0,4681	21,99	
№5	14,2100	10,3247	27,34	27,77
	9,3085	6,6836	28,20	
	12,3850	8,9457	27,77	
№6	9,0855	8,5981	5,36	5,40
	8,9833	8,4968	5,42	
	9,1489	8,6549	5,40	
№7	1,5106	1,2072	20,09	20,09
	1,5106	1,2072	20,09	
	1,5106	1,2072	20,09	
№8	1,9257	1,5447	19,79	19,79
	1,9257	1,5447	19,79	
	1,9257	1,5447	19,79	
№9	1,2041	0,9385	22,06	22,06
	1,2041	0,9385	22,06	
	1,2041	0,9385	22,06	
№10	1,1423	1,0307	9,77	9,77
	1,1423	1,0307	9,77	
	1,1423	1,0307	9,77	

Ефективність ступеня осушення в центрифугі для бурового шламу на глиняно-полімерній основі для зразку № 1 становить:

$$E_1 = \frac{27,55 - 5,11}{27,55} \cdot 100\% = 81,45 \%$$

Ефективність ступеня осушення в центрифугі для бурового шламу на глиняно-полімерній основі для зразку № 5 становить:

$$E_2 = \frac{27,77 - 5,40}{27,77} \cdot 100\% = 80,55 \%$$

Ефективність ступеня осушення в центрифугі для бурового шламу для зразку № 7 становить:

$$E_1 = \frac{20,09 - 9,77}{20,09} \cdot 100 \% = 51,37 \%$$

Ефективність ступеня осушення в центрифугі для бурового шламу для зразку №8 становить

$$E_2 = \frac{19,79 - 9,77}{19,79} \cdot 100 \% = 50,63 \%$$

Ефективність ступеня осушення в центрифугі для бурового шламу для зразку № 9 становить

$$E_3 = \frac{22,06 - 9,77}{22,06} \cdot 100 \% = 55,71 \%$$

Таким чином, ефективність ступеня осушення в центрифугі для бурового шламу на глиняно-полімерній основі для зразків № 1 та № 5 становить 81,45 % та 80,55 % відповідно. Ефективність ступеня осушення в центрифугі для бурового шламу для зразків № 7, № 8 та № 9 становить 51,37 %, 50,63 % та 55,71 % відповідно [67].

З урахуванням отриманих результатів можна зробити висновок, що ступінь осушення бурового шламу на глиняно-полімерній основі вищий, порівняно з шламом на вуглеводневій основі. А саме, ступінь осушення шламу на глиняно-полімерній основі складає майже 82%, тоді як для шламу на вуглеводневій основі становить 56% [67].

Це обумовлюється хімічними та фізичними властивостями глиняно-полімерної основи шламу, а також показниками водовіддачі. Однією з цих властивостей є реологічна здатність бурового розчину, що використовувався для буріння свердловини. У результаті аналізу впливу початкової вологості бурового шламу на ступінь осушення шламу статистичної значущості результатів не виявлено. Крім того, дані табл. 3.2 засвідчують, що зразки бурового шламу на глиняно-полімерній основі № 1 та № 5 мали вищу початкову вологість, ніж зразок на вуглеводневій основі № 7. Тому початкова вологість бурового шламу не має впливу на ступінь осушення шламу в центрифугі [67].

Ефективний, з точки зору реології буровий розчин у низхідному потоці, повинен мати в'язкість, близьку до в'язкості води, а у висхідному потоці - мати в'язкість, необхідну та достатню для транспортування шламу на поверхню без акумуляції його у свердловині. Проте для проведення експериментальних досліджень використовувався реальний буровий розчин, однаковий і для низхідного, і для висхідного потоків. Однак, як було зазначено у підрозділі 2.1, дослідженням підлягали відібрані зразки на двох типах основ бурового розчину.

Буровий розчин та буровий шлам є прикладом бінгамівської рідини, яка в статичних умовах поводить себе як твердий матеріал, а при силовому впливі починає текти [95]. Для проведення ефективного розділення ВБР з

максимальним відділенням твердої фази, що містить мінімальну вологість, реологічні властивості бурового розчину повинні відповідати нижчим значенням умовної в'язкості та вищим показникам фільтрації [67, 95].

Для бінгамівських в'язкопластичних рідин криві течії описуються рівнянням Бінгама-Шведова (рис. 3.11):

$$\tau_{zc} = \tau_0 + \mu_{пл} \cdot j, \text{ якщо } \tau_{zc} > \tau_0, \text{ або } \tau = 0, \text{ якщо } \tau_{zc} < \tau_0 \quad (3.1)$$

де τ_0 – гранична напруга зсуву, Па;

$\mu_{пл}$ – коефіцієнт пластичної в'язкості;

j – швидкість зсуву du_x/dy .

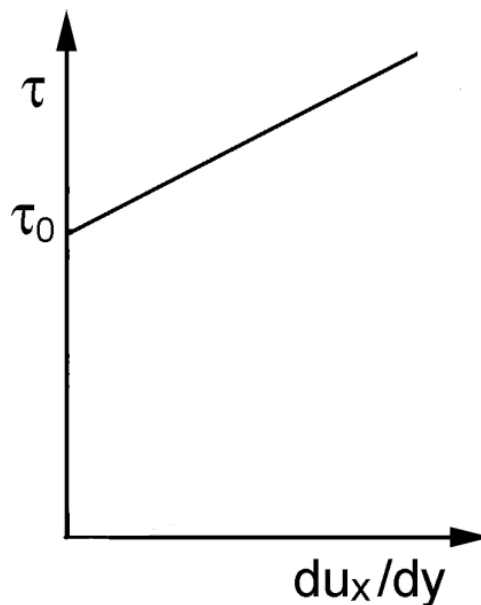


Рисунок 3.11 – Залежність між напругою зсуву і швидкістю зсуву (крива течії) [95]

Іншим визначальним фактором є відмінність у фізико-хімічних властивостях бурового розчину на глиняно-полімерній основі та вуглеводневій основі. Для зразків ВБР, де використовувався буровий розчин на вуглеводневій основі, зокрема ІЕР Witer II, спостерігається гідрофобізація поверхні шламу, що

затримує вільне відділення води від твердої фази, що додатково обумовлює нижчі показники ступеня осушення у порівнянні із зразками на глиняно-полімерній основі.

Порівнюючи водовіддачу та ступінь і якість осушення досліджуваних зразків встановлено, що вона вища у досліджуваному зразку на глиняно-полімерній основі, а ніж на вуглеводневій. Це пояснюється різними реологічними властивостями цих розчинів, і як наслідок різними фізичними властивостями та здатністю до регенерації [61, 66, 67].

3.3 Підвищення ефективності процесу розділення відходів

Розділення бурових відходів, зокрема ВБР та БШ, на тверду та рідку фази проводили за розробленим способом, що передбачає попереднє оброблення відходів коагулянтами і флокулянтами з наступним розділенням у центрифугі ОВШ-950. У такому разі рідка фаза повторно використовується для приготування бурового розчину, а тверда фаза підлягає екологічного безпечній утилізації, наприклад для одержання будівельних матеріалів, що відповідає вимогам оборотного водопостачання та раціонального збалансованого природокористування [96].

Для прискорення осадження зважених частинок використовували коагулянти алюміній поліоксохлорид $Al_2(OH)_5Cl$ та алюміній сульфат $Al_2(SO_4)_3$, який одержаний із відходів видобування вугілля – леткої золи. Катіони алюмінію здатні до вилуговування як хлоридною кислотою, так і сульфатною кислотою [67, 97]. У другому випадку одержуємо алюміній сульфат, який ефективно використовується як коагулянт і відповідає вимогам раціонального природокористування щодо утилізації відходів.

Експериментально встановлено, що алюміній поліоксохлорид має вищу ефективність щодо швидкості коагулювання за умов низьких температур та не утворює супровідних продуктів гідролізу, оскільки він має вище значення

основності, від якого залежать показники процесу коагулювання – величина пластівців, швидкість осадження, ефективність очищення води. Алюміній поліоксохлорид у водному середовищі являє собою колоїдний розчин, в якості дисперсної фази якого виступають позитивно заряджені аквагідроксокомплекси алюмінію, що фактично є полімерними частинками неорганічної природи.

Позитивно заряджений реагент нейтралізує негативний заряд, що оточує колоїдні частинки, що веде до їх зближення та злипання. Одночасно завдяки полімерній природі протікає процес хімічного зв'язування за рахунок довгих молекулярних "містків". За рахунок цього можливе глибше очищення від органічних речовин, проте застосування $Al_2(OH)_5Cl$ є виправданим за умови очищення БСВ до якості питної води. У межах цього дослідження такі вимоги не ставилися, тому обмежилися традиційним алюміній сульфатом.

Також для покращення процесу хімічного осадження використовували флокулянту на основі хітозану, який збільшує розмір пластівців після коагулювання та має широкий діапазон робочих значень рН (3,5–10,5) та температури (0–100 °С). Його основними перевагами є екологічна безпека у порівнянні з ПАА, легкість в отриманні та застосуванні, повна біорозкладність, відсутність шкідливих речовин у очищеній воді [56, 60].

Експериментальні дослідження щодо встановлення оптимальних доз коагулянту та флокулянту, які забезпечують максимально можливий ступінь осушення бурового шламу, проводили додатково з попередньо досліджуваними зразками № 1, № 5 та № 7, що відповідають зразкам ВБР, одержаним з бурового розчину на глиняно-полімерній основі (№ 1 та № 5) та на вуглеводневій основі ІЕР Witer II (№7) відповідно (див. рис. 2.4).

Експериментальні дослідження відповідно до методики, описаної у п. 2.2, дозволили визначити оптимальні дози коагулянтів і флокулянтів для досліджуваних зразків № 1, № 5 та № 7. На рис. 3.12 (а, б, в) наведені залежності ступеня осушення від дози коагулянта для зразків № 1, № 5 та № 7 відповідно.

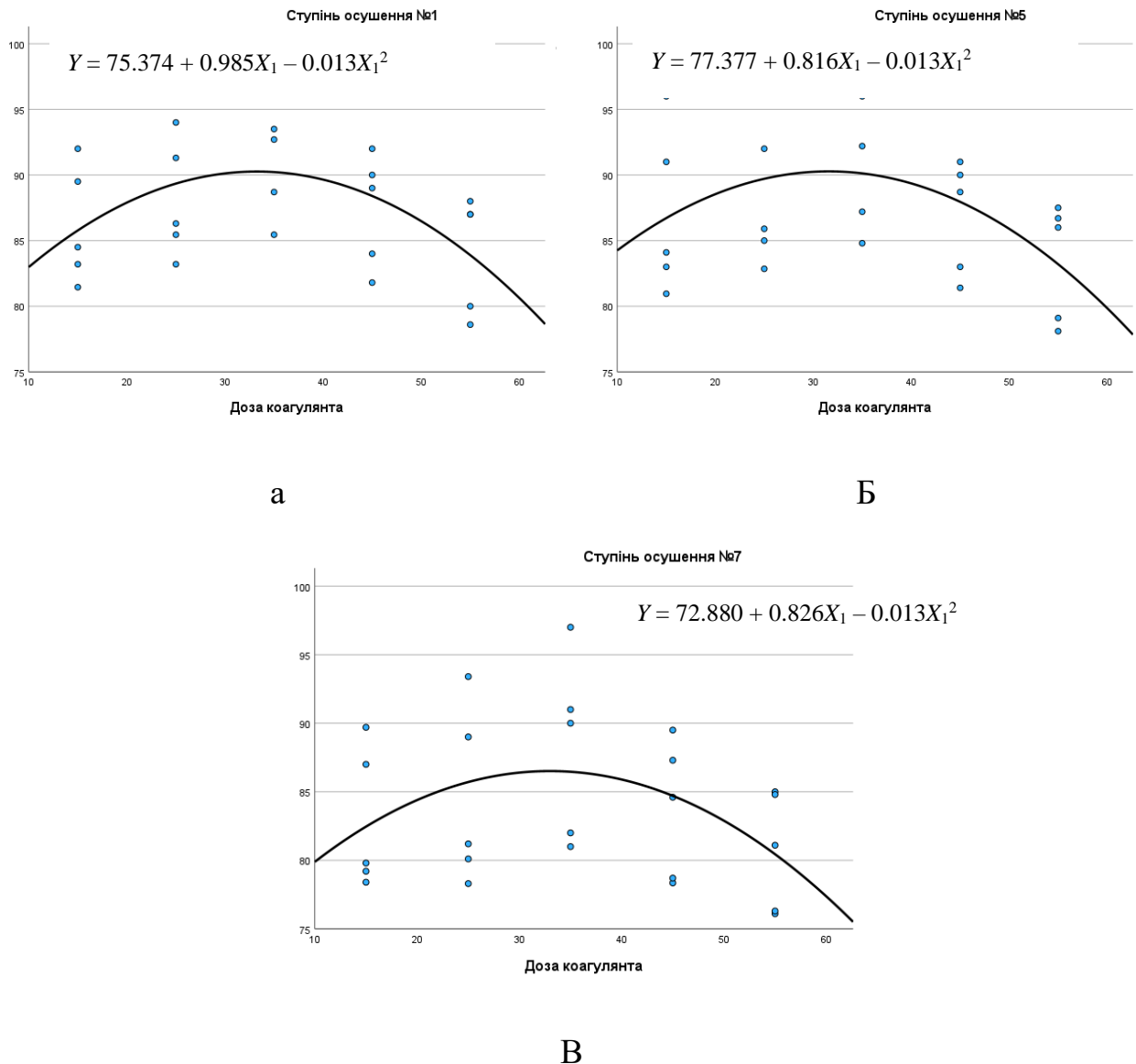


Рисунок 3.12 – Залежність ступеня осушення для зразків № 1, № 5 та № 7 (а, б, в) від дози коагулянта

Вплив дози коагулянта на ступінь осушення апроксимовано за допомогою рівнянь регресії, які наведено на графіках (рис. 3.12), де Y – ступінь осушення, %; X_1 – доза коагулянта, %.

Для цих моделей критерій Фішера становив $F = 3,347$, $F = 2,763$, $F = 2,039$ відповідно для зразків № 1, № 5 та № 7, $p < 0,05$, що вказує на статистично значущий зв'язок незалежної змінної (дози коагулянта) із залежною змінною (ступінь осушення). Результати статистичного оброблення з коефіцієнтами

дисперсійного аналізу ANOVA, стандартними помилками, F, t та p значеннями наведені на рис. Г.1–Г.3 додатку Г.

На рис. 3.13 (а, б, в) наведені залежності ступеня осушення від дози флокулянта для зразків № 1, № 5 та № 7 відповідно.

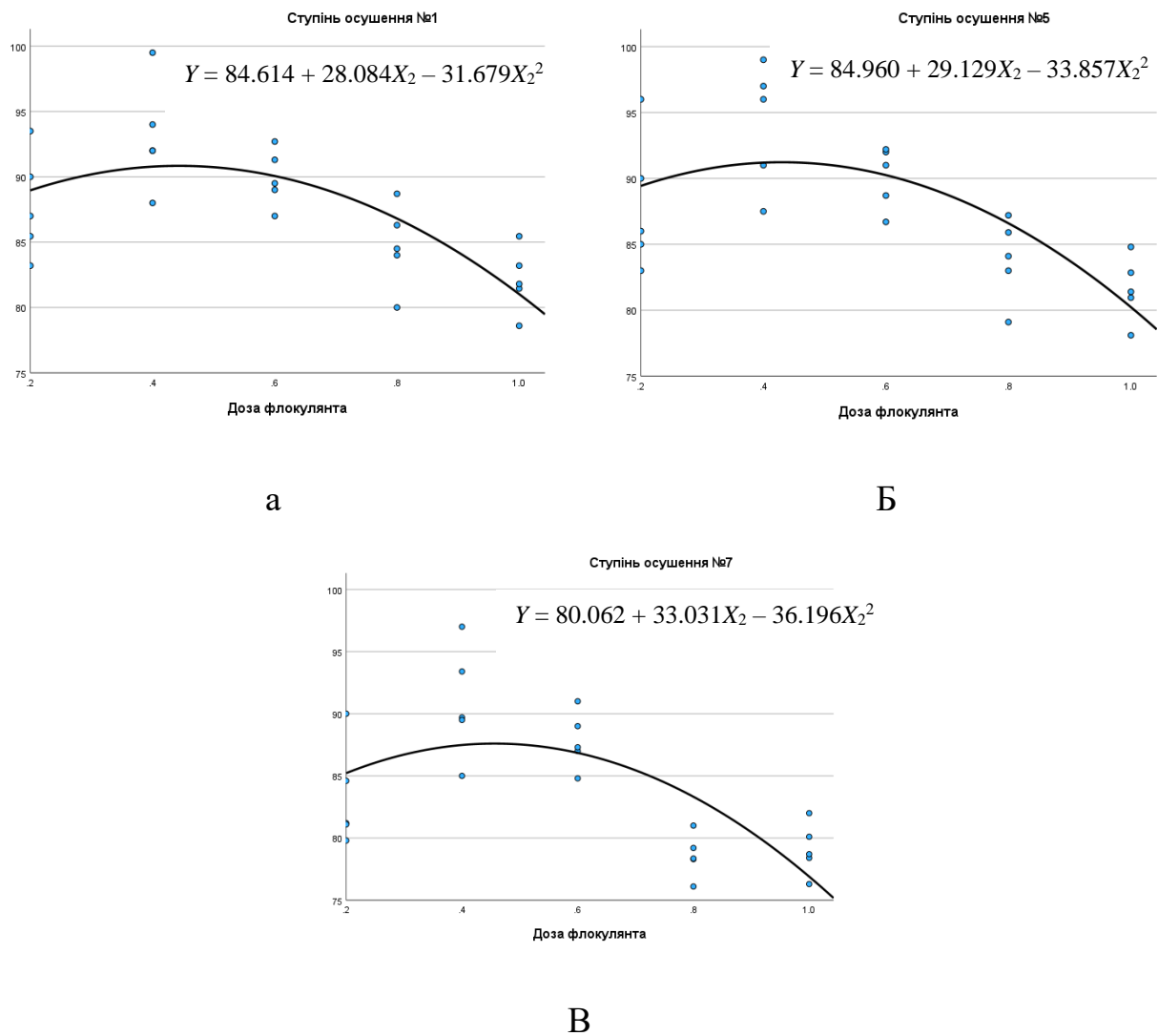


Рисунок 3.13 –Залежність ступеня осушення для зразків № 1, № 5 та № 7 (а, б, в) від дози флокулянта

Вплив дози флокулянта на ступінь осушення апроксимовано за допомогою рівнянь регресії, які наведено на графіках (рис. 3.13), де Y – ступінь осушення, %; X_2 – доза флокулянта, %.

Для цих моделей критерій Фішера становив $F = 12,080$, $F = 11,361$, $F = 9,528$ відповідно для зразків № 1, № 5 та № 7, $p < 0,05$, що вказує на статистично значущий зв'язок незалежної змінної (доза флокулянта) із залежною змінною (ступінь осушення). Результати статистичного оброблення з коефіцієнтами дисперсійного аналізу ANOVA, стандартними помилками, F , t та p значеннями наведені на рис. Г.4–Г.6 додатку Г.

Залежність ступеня осушення для зразків № 1, № 5 та № 7 від дози коагулянта та дози флокулянта наведена на рис. 3.14, 3.15 та 3.16 відповідно.

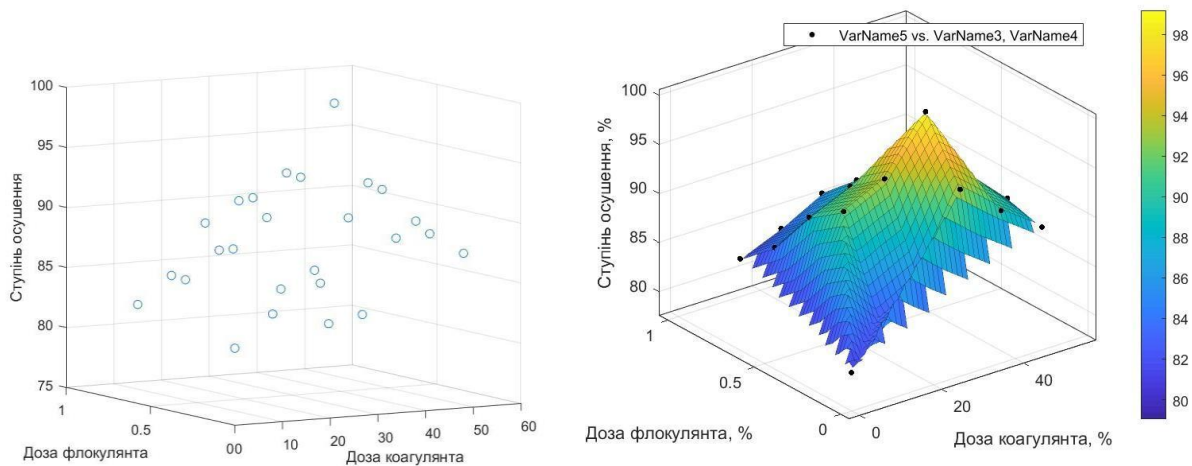


Рисунок 3.14 – Залежність ступеня осушення для зразку № 1 від дози коагулянта та дози флокулянта

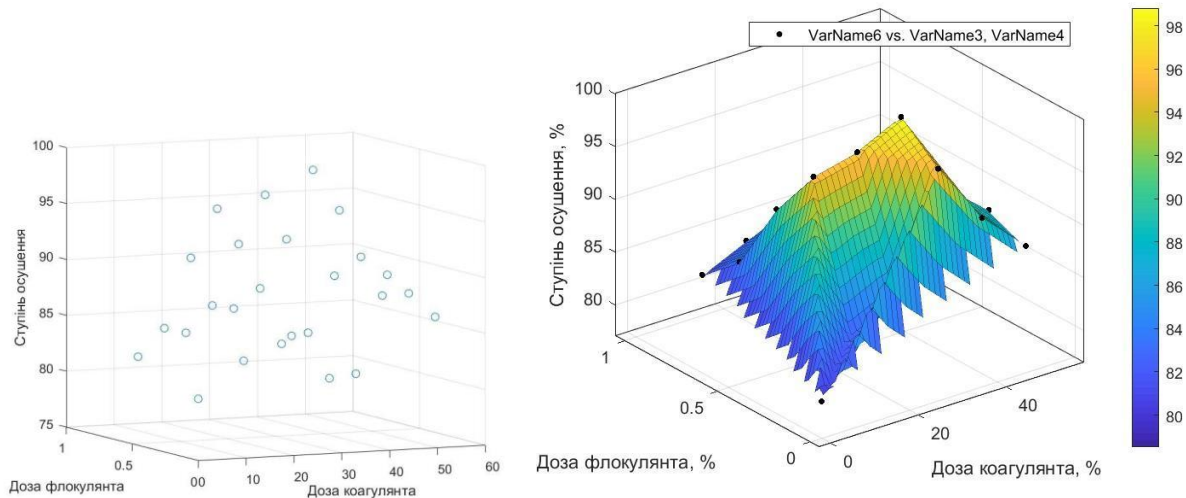


Рисунок 3.15 – Залежність ступеня осушення для зразку № 5 від дози коагулянта та дози флокулянта

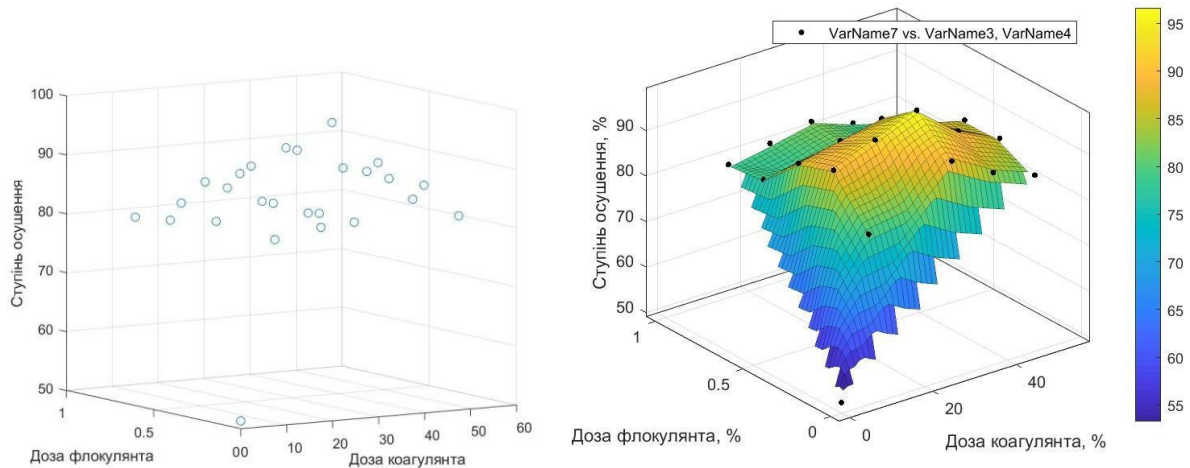


Рисунок 3.16 – Залежність ступеня осушення для зразку № 7 від дози коагулянта та дози флокулянта

Статистичну обробку результатів ступеня осушення зразків бурового шламу № 1, № 5 та № 7 проводили для встановлення кореляційного зв'язку між ефективністю осушення для відповідних зразків, що характеризувалися різними показниками осушення без попереднього хімічного оброблення зразків, за умови додавання однакових доз коагулянта та флокулянта. Кореляційний тест Пірсона виявив сильну позитивну кореляцію між ступенем осушення для зразків бурового шламу № 1 та № 5 ($r = 0,979$, $p < 0,05$) і позитивну кореляцію між ступенем осушення для зразків бурового шламу № 1 та № 7 ($r = 0,787$, $p < 0,05$) та зразків № 5 та № 7 ($r = 0,790$, $p < 0,05$) (табл. 3.2).

Збільшення швидкості осадження укрупнених частинок сприяє підвищенню коефіцієнта розділення у полі дії відцентрових сил, що реалізується у центрифугузі, тому на виході отримуємо тверду фазу з нижчим вмістом води.

Таблиця 3.2 – Факторний висновок Байєса щодо парних кореляцій між ступенем осушення для зразків бурового шламу № 1, № 5 та № 7 [98]

		Ступінь осушення №1	Ступінь осушення №5	Ступінь осушення №7
Ступінь осушення №1	Кореляція Пірсона	1	.979	.787
	Фактор Байєса		.000	.000
	N	26	26	26
Ступінь осушення №5	Кореляція Пірсона	.979	1	.790
	Фактор Байєса	.000		.000
	N	26	26	26
Ступінь осушення №7	Кореляція Пірсона	.787	.790	1
	Фактор Байєса	.000	.000	
	N	26	26	26

· (Фактор Байєса: нульова гіпотеза проти альтернативної) [98]

Встановлено, що використання розчину коагулянта з масовою концентрацією 15 % і 25 % від частки механічних домішок недостатньо для повного осадження домішок, що обумовлено утворенням пастоподібного осаду в'язкої консистенції. За умови використання коагулянта з масовою концентрацією 35 % відбувається утворення осаду з пластівців пухкої структури, що сприяє вищому ступеню розділення шламу на рідку і тверду фазу з нижчим вмістом води. Збільшення масової концентрації коагулянта до 45 % і 55 % призводило до поглинання і зв'язування водного осаду, що ускладнювало його відділення. Тому найбільш ефективним є розчин коагулянта з масовою концентрацією 35 %. Крім того, варто зазначити, що використання коагулянта алюміній сульфату є оптимальним за умови створення слабо кислої реакції середовища, що відповідає значенням рН на рівні 5–7,5 од.

Після коагулянта додавали флокулянт хітозан, який проявляє максимальні флокулюючі властивості у середовищі з слабо кислою або кислою реакцією. Досліджувані зразки бурових відходів мали слабо лужну та лужну реакцію середовища, тому їх попередньо підкислювали, додаючи розчин хлоридної кислоти у кількості з розрахунку доведення рН середовища до рівня 5–5,5 од., що є оптимальним показником як для роботи коагулянта, так і для роботи флокулянта. На підставі проведених експериментів встановлена оптимальна доза флокулянта на рівні 0,4 % мас. від частки механічних домішок. Послідовність проведення попереднього хімічного оброблення бурових відходів для прискорення седиментації проводили відповідно до описаного у п. 2.5 механізму, довівши початково реакцію середовища до рівня 5–5,5 од. за допомогою додавання хлоридної кислоти. У такий спосіб осад містить мінімальну кількість води та інтенсифікується процес розділення бурового шламу у центрифuzі на тверду та рідку фази.

Запропонована схема очищення стічних вод дозволяє повернути очищену воду в технологічний процес буріння свердловин, що відповідає принципам раціонального та ефективного використання водних ресурсів.

Висновки до розділу 3

У розділі 3 «Результати експериментальних досліджень розділення бурового шламу на окремі фази» одержано такі результати.

1. Показано результативність розділення бурових шламів, утворених у результаті буріння свердловин із застосуванням різних основ для бурових розчинів, на центрифuzі, та осушення осаду в осушувачі ОВШ-950.

2. Рівень вмісту небезпечних забруднювальних речовин (ферум, нікель, купрум, плюмбум, хром) у зразках бурового шламу до розділення на центрифuzі та в одержаній твердій фазі відрізняється, зокрема прослідковується тенденція

до концентрування важких металів у твердій фазі, проте їх концентрація знаходиться у межах нормативно допустимих значень.

3. Коефіцієнт екологічної небезпеки твердої фази знаходиться у межах допустимого значення ($K < 1$), що дозволяє зробити висновок про ступінь екологічної небезпеки твердої фази на рівні прийняттого.

4. Встановлено, що осушувач вертикальний ОВШ-950 забезпечує ступінь осушення бурового шламу залежно від типу бурового розчину, що використовувався, на рівні від 51 % до 82 % для ІЕР Witer II та глиняно-полімерної основи відповідно. Обґрунтовано взаємозв'язок вищого ступеня осушення для зразків на глиняно-полімерній основі з реологічними властивостями та показником водовіддачі.

5. Встановлено оптимальні дози коагулянта та флокулянта; доведено, що додавання коагулянта алюміній сульфату на рівні 35 % мас. від частки механічних домішок та флокулянта хітозану на рівні 0,4 % мас. з підтриманням кислої реакції середовища (рН на рівні 5–5,5 од.) забезпечує ступінь осушення твердої фази до 95–98 %.

Основні результати дослідження опубліковані в наукових працях: [66, 67, 93, 94, 96].

РОЗДІЛ 4

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

4.1 Фізичне моделювання процесу розділення бурових відходів

Для розділення відпрацьованого бурового розчину та осушення бурового шламу використовували метод відцентрового розділення, що базується на засадах прискорення осадження твердих частинок та відділення води від твердої фази за допомогою дії відцентрової сили [67].

Для створення поля відцентрових сил в процесі осадження твердих частинок і відділення води використовують два технічних прийоми. Перший прийом полягає у тому, що потік рідини або газу обертається в нерухомому апараті, наприклад, циклоні. Другий прийом полягає в тому, що потік надходить в обертовий апарат, такий як відстійна центрифуга або сепаратор, і обертається разом з ним.

Для проведення досліджень та моделювання процесу застосовували відстійну центрифугу ОВШ-950, у відцентровому полі якої здійснювалося два важливих процеси розділення бурових відходів – осадження та осушення твердої фази [67].

Оскільки фактор розділення та швидкість осадження залежать від розміру частинок відповідно до відомого рівняння Стокса, то проводили інтенсифікацію процесу та попереднє оброблення відходів, додаючи флокулянти та коагулянти, тобто застосовували фізичні методи коагулювання та флокування.

Реалізацію описаного вище фізичного процесу розділення бурових шламів виконували за рахунок використання об'ємних сил дисперсної фази в апараті, що має ротор з суцільною стінкою.

Процес розділення неоднорідних систем в центрифугах з суцільною стінкою ротора може бути поділений на дві стадії – стадію освітлення, коли вміст частинок дисперсної фази незначний, та стадію осадження, коли система містить значну кількість небажаних домішок [52, 99–103].

Осадження та відцентрова фільтрація є важливими процесами, що базуються на фізичних принципах, які включають у себе осадження твердих частинок, ущільнення залишку та часткове виділення рідини з залишку, утриманого молекулярними силами та складаються з трьох основних етапів. Перший етап – осадження твердих частинок, що зазвичай відбувається за допомогою фільтрувальних центрифуг, які забезпечують проходження елементів продукції через перфоровану оболонку. Другий етап – ущільнення залишку, що досягається шляхом відцентрового віджимання рідини. Третій етап – часткове виділення рідини з залишку, яку утримують молекулярні сили. Цей процес є важливим компонентом як для осадження, так і для відцентрової фільтрації [52].

Для моделювання фізичного процесу розділення бурового шламу у центрифугі використовували основні параметри, за допомогою яких можна розрахувати та оцінити ефективність роботи центрифуги [67].

Залежно від режиму руху рідини – ламінарного, турбулентного або перехідного, швидкість осадження може бути описана різними формулами. Однак загалом вона прямо залежить від розміру частинок.

Якщо частинка знаходиться в обертовому потоці, то на неї діє відцентрова сила $F_{ц}$. Ця сила призводить до того, що частинка рухається від центру до стінки апарату зі швидкістю, що дорівнює швидкості осадження. Величина відцентрової сили пропорційна масі частинки і обернено пропорційна радіусу обертання.

Фактор розділення Φ_p є показником інтенсивності впливу сили відцентрового поля на розділення речовин у центрифугі. Він вказує на те, що більш вигідно збільшувати частоту обертання центрифуги n , ніж радіус

обертання g . За значенням фактора розділення центрифуги, їх можна умовно розділити на дві групи. Нормальні центрифуги мають фактор розділення Φ_p менше 3000, тоді як ультрацентрифуги (надцентрифуги) мають фактор розділення більше 3000. Ми використовували нормальну центрифугу з фактором розділення 240.

На практиці продуктивність будь-яких центрифуг завжди буде меншою, ніж теоретично розрахована. Це пов'язано з кількома факторами. По-перше, швидкість обертання частинок рідини може відставати від швидкості обертання ротора центрифуги, що знижує продуктивність. По-друге, нерівномірність течії рідини вздовж ротора може призвести до того, що частинки, які осіли, змиваються з його стінок. По-третє, утворення вихрових потоків може каламутити частинки і знизити продуктивність. Коефіцієнт ефективності відстійних центрифуг враховує зниження дійсної продуктивності в порівнянні з розрахунковою. Цей коефіцієнт враховує зниження дійсної продуктивності порівняно з розрахунковою, що стосується кожної конкретної конструкції центрифуги. Зазначений коефіцієнт ефективності визначається дослідним шляхом [42].

Відношення періоду відстоювання τ_0 до тривалості робочого циклу $\tau_{ц}$ – це коефіцієнт використання центрифуги. Тривалість робочого циклу, а також допоміжних операцій визначається експериментально для окремої ситуації та кожної конкретної моделі та характеристик устаткування. [104, 105, 106].

Таким чином, загальний алгоритм фізичного моделювання оптимізації процесу розділення ВБР та осушення БШ (рис. 4.1) є основою для подальшого математичного моделювання.

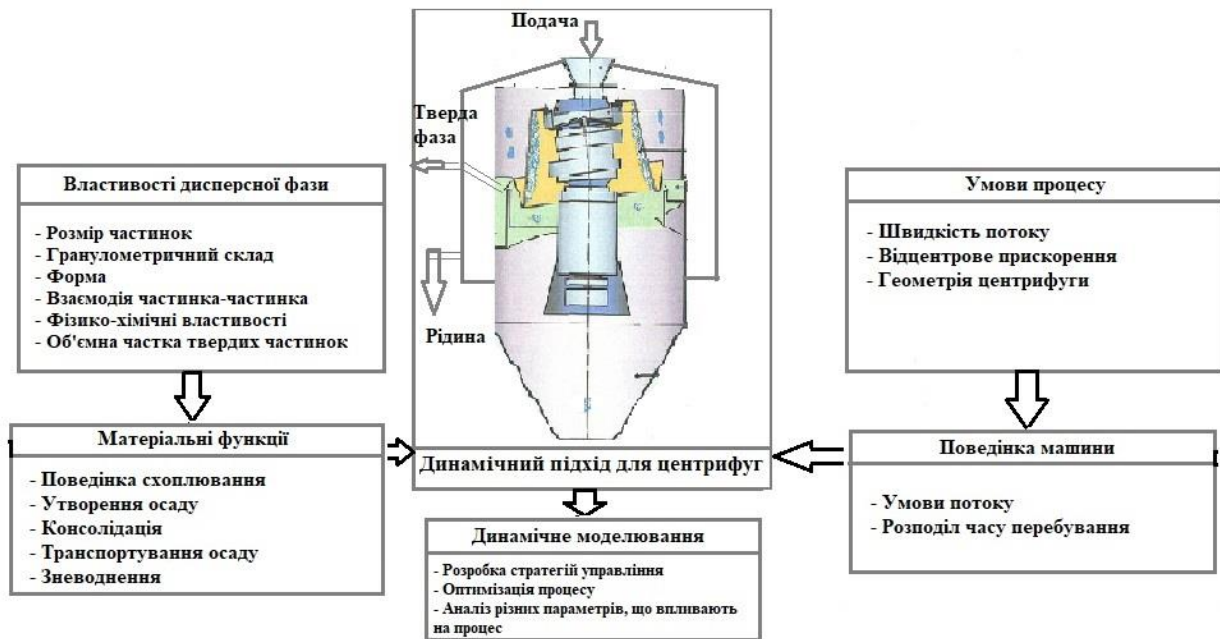


Рисунок 4.1 – Алгоритм моделювання оптимізації роботи центрифуги

4.2 Математичне моделювання процесу розділення бурових відходів

4.2.1 Постановка задачі оптимізації досліджуваного процесу

Основною метою проведення математичного моделювання фізичних процесів, що відбуваються у центрифугі як технології захисту навколишнього середовища, є оптимізація процесу розділення та осушення бурового шламу з метою забезпечення відповідності вимогам екологічної безпеки при поводженні з відходами. [67].

Оптимізація будь-якого фізичного процесу полягає у слідуванні чітко визначеним загальним етапам та ґрунтується на засадах математичного моделювання.

Опишемо ці етапи для досліджуваного процесу.

1. Постановка задачі із визначенням параметрів оптимізації. Оптимізація процесу розділення та осушення БШ забезпечить одержання твердої фази з мінімальним вмістом води, що полегшує подальшу утилізацію та задовольняє

нормам раціонального природокористування, а також повернення очищеної води знову до технологічного процесу для приготування бурового розчину або використання як технічної води. При цьому під поняттям “оптимізація” варто розуміти для досліджуваного процесу досягнення параметрів оптимізації, які будуть описані нижче, із визначенням заданих вхідних параметрів, мінімальних затрат енергетичних та матеріальних ресурсів.

Виходячи з постановки задачі визначено основний параметр оптимізації як ефективність осушення бурового шламу E .

2. Вхідні параметри задаються двома основним групами факторів (див. рис. 4.1):

а) властивості дисперсної фази, які впливають на поведінку матеріалу (поведінка осідання, накопичення осаду, консолідація, переміщення осаду, осушення):

- розмір частинок d ;
- розподіл частинок за розміром;
- форма частинок;
- взаємодія між частинками;
- фізико-хімічні властивості частинок;
- об’ємна частка твердої речовини на вході $\phi_{вх}$;
- пористість та щільність осаду $\rho_{ос}$.

Консолідація осаду не враховується під час проектування та масштабування центрифуг. Однак накопичення осаду впливає на ефективність сепарації установки. Шталь та ін. [107] розширили теорію, з урахуванням накопичення осаду для нестисливих і високостисливих матеріалів. Обидва підходи моделювання дозволяють оцінити рівень тимчасового заповнення та ефективність сепарації. Стікленд [108] пропонує математичну модель, що заснована на теорії Кінча [109] для моделювання седиментації, консолідації та транспортування осаду в роторі центрифуги.

б) умови процесу, що впливають на поведінку центрифуги (умови потоку та розподіл часу перебування):

- швидкість потоку (кутова швидкість ротора ω , різниця швидкостей між шнековим конвеєром і ротором);
- відцентрове прискорення (частота обертів n , радіус обертання r_0);
- геометрія центрифуги (висота ротора h_p , радіус ротора r_p , радіус перегородки r_n , крок витків шнека $t_{\text{шн}}$ і кількість витків шнека $n_{\text{шн}}$, кількість відділень m). Циліндрично-конічний ротор і внутрішня шнекова конвеєрна система утворюють основні частини центрифуги [52, 110, 111].

3. Обмеження на параметри: з експлуатаційно-технічних причин частота обертів центрифуги може бути в межах $n = 800\text{--}1200$ об/хв, геометрія центрифуги задається конкретними значеннями для досліджуваної центрифуги ОВШ 950, зокрема, висота ротора $h_p = 0,36$ м, радіус ротора $r_p = 0,264$ м. Крок витків шнека $t_{\text{шн}}$ дорівнює діаметру шнека $D_{\text{шн}}$.

4. При оптимізації ефективності осушення $E \rightarrow \max$ ціль і обмеження відображаються за допомогою математичних рівнянь, які детально описані у наступних пунктах та ґрунтуються, зокрема, на дослідженнях інших авторів (Gleiss та ін. [52, 110, 111, 112, 113]) з адаптацією та удосконаленням у розрізі досліджуваного процесу та технології. Найбільш ефективним є застосування динамічних систем, що відображають реальний розподіл часу перебування частинок у зоні потоку центрифуги за рахунок умовного розподілу робочого простору на відсіки, що є характерним для протиточних центрифуг.

4.2.2 Опис математичної моделі ефективності осушення шлам

Стоксова швидкість осідання забезпечується шляхом балансування відцентрової сили, плавучості та сили опору. Стоксова швидкість осідання у відцентровому полі [52] $u_{\text{СТ}} = \frac{(\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{р}}) \cdot d^2 \cdot c \cdot g}{18 \cdot \eta_{\text{р}}}$ залежить від густини чистої твердої речовини $\rho_{\text{т}}$ і рідини $\rho_{\text{р}}$, в'язкості рідини $\eta_{\text{р}}$, діаметру частинок d , відносного

відцентрованого числа C та сили тяжіння g . Стоксове осідання дійсне лише для повзучих потоків з $Re < 0,25$.

Проте ця модель не враховує більшість вхідних параметрів, які впливають на ефективність розділення шламу в центрифугі. Натомість теорія Сигма пов'язує час осідання частинок відповідно до рівняння, наведеного вище, із середнім часом перебування частинок у центрифугі $t_{\text{пер}}$, що визначається співвідношенням об'єму центрифуги $V_{\text{ц}}$, м³, до об'ємної швидкості потоку на вході $Q_{\text{вх}}$, м³/с [52, 110].

На основі двох наведених вище рівнянь щодо швидкості осідання частинок та часу перебування частинок у центрифугі можна описати розділення бурового шламу через радіус розділення:

$$R_{\text{розд}} = R_p \cdot \exp \left\{ - \frac{(p_T - p_p) \cdot R(\phi) \cdot d^2 \cdot \omega^2}{18\eta_p} \cdot \frac{A \cdot h_p}{Q_{\text{вх}}} \right\}, \quad (4.1)$$

де $R_{\text{розд}}$ – радіус розділення, м;

R_p – радіус чаші (резервуару) центрифуги, м;

$R(\phi)$ – утруднена функція осідання;

ω – кутова швидкість, об/с;

A – площа поперечного перерізу області потоку, м²;

h_p – висота ротора, м.

Для цього рівняння вводиться утруднена функція осідання $R(\phi)$, яка дозволяє врахувати зростання обміну імпульсом між твердою і рідкою фракціями у результаті збільшення дисперсних частинок у суспензії.

Чисельний алгоритм розрахунку перехідних процесів сепарації та формування осаду показано на рисунку 4.2. Умови процесу, геометрія центрифуги та властивості матеріалу визначаються перед початком процедури моделювання. Розв'язання динамічного балансу для кожного компонента в системі потребує чисельного методу та обробки результатів [52].

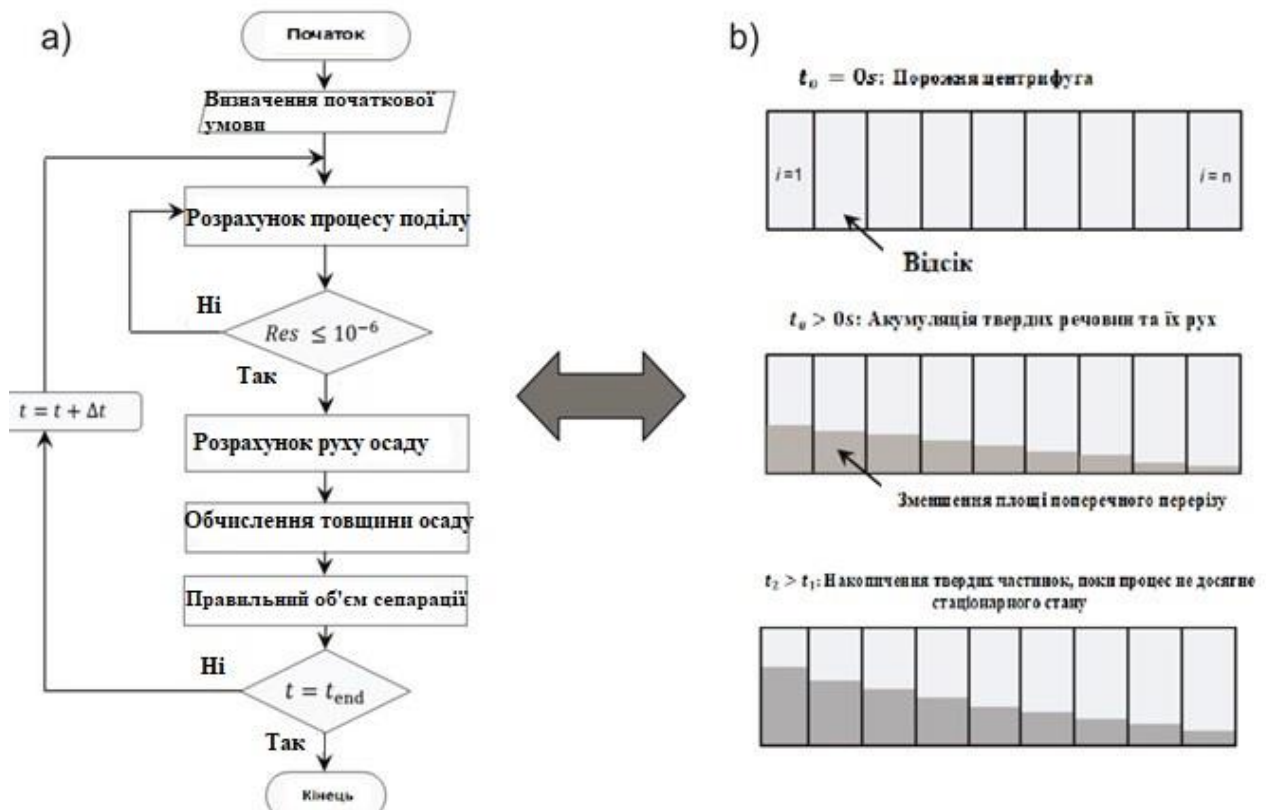


Рисунок 4.2 – Чисельний алгоритм розрахунку перехідних процесів сепарації та формування осаду

Таким чином, математичний підхід вирішує набір диференціальних рівнянь за допомогою методу Рунге-Кутта, доки не буде отриманий бажаний розв'язок. На наступному етапі необхідно обчислювати накопичення осаду за допомогою динамічного балансу маси нестисливої речовини з постійною пористістю. Накопичення твердих речовин призводить до зменшення в площині поперечного перерізу центрифуги в області потоку у секції розділення. Щоб розглянути цю фізичну поведінку, площа поперечного перерізу перераховується на наступному кроці алгоритму [52, 110].

Розглянемо рівняння, що лежать в основі чисельного підходу [114]. Модель динамічного процесу розв'язує баланс маси твердих речовин для кожного відділення i в циліндричній або роторній частині центрифуги.

Динамічний баланс мас визначається як:

$$\frac{dm_{T,c_i}}{dt} = \dot{m}_{T,c_{i-1}} - \dot{m}_{T,c_{i+1}} - \dot{m}_{T,розд_i}, \quad (4.2)$$

де $\frac{dm_{T,c_i}}{dt}$ визначає накопичення твердих речовин у i -ому відсіку, $\dot{m}_{T,c_{i-1}}$ та $\dot{m}_{T,c_{i+1}}$ є потоками маси твердої речовини з i -го відсіку.

Масовий потік $\dot{m}_{T,розд_i}$ визначає кількість відокремлених твердих речовин. Масові потоки замінені добутком густини твердих речовин ρ_T , об'ємної витрати Q та об'ємної частки твердих речовин ϕ з метою досягнення кращого застосування.

Припущення про постійну щільність твердих частинок і об'єм відділення для кожного часового кроку дає таку залежність:

$$\rho_T V_{ci} \frac{d\phi_{ci}}{dt} = \rho_T Q_{c_{i-1}} \phi_{c_{i-1}} - \rho_T Q_{c_{i+1}} \phi_{c_{i+1}} + \rho_T Q_{розд} \phi_{розд}. \quad (4.3)$$

Першу частину цього рівняння ліворуч можна розв'язати лише за допомогою чисельного алгоритму та різних припущень. Отже, осадження частинок відбувається відразу в кожному i -ому відсіку [52, 115]. Це дозволяє визначити ефективність розділення в залежності від властивостей для кожного i -го відсіку:

$$E_{розд,c_i} = \frac{Q_{розд} \cdot \phi_{розд}}{Q_{c_{i-1}} \cdot \phi_{c_{i-1}}}, \quad (4.4)$$

де $E_{розд,c_i}$ – ефективність розділення є відношенням відокремлених твердих речовин до загальної кількості твердих речовин у i -ому відсіку, %;

$Q_{розд}$ – швидкість потоку відокремлених твердих речовин, м/с;

$\phi_{розд}$ – об'ємна частка відокремлених твердих речовин, %;

$Q_{c_{i-1}}$ – швидкість потоку у i -ому відсіку, м/с;

$\phi_{c_{i-1}}$ – початкова об'ємна частка твердих речовин, %.

У представленому математичному підході, ефективність розділення визначає залежність від часу безрозмірної швидкості седиментації, яка перераховується для кожного часового кроку.

$$V_{c_i} \frac{d\phi_{c_i}}{dt} = Q_{c_{i-1}} [\phi_{c_{i-1}} (1 - E_{\text{розд},c_i}) - \phi_{c_i}]. \quad (4.5)$$

Розподіл часу перебування описує рух твердих речовин у зоні розділення центрифуги. Для цього передбачається зворотне змішування об'ємної частки твердих речовин ϕ_{c_i} на виході з відділення i [52, 110, 114].

Реологічна поведінка має значний вплив на процес розділення в центрифугах. Динамічна в'язкість є відповідним параметром, що визначається як співвідношення напруги зсуву τ і швидкості деформації $\dot{\gamma}$: $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$.

В'язкість суміші розраховували як функцію об'ємної частки твердої речовини. В'язкість бурового шламу пов'язана з в'язкістю чистої рідини та співвідношенням між об'ємною часткою твердої речовини та максимальною щільністю осаду $\eta_{\text{сус}} = \eta_l \frac{1}{(1 - \frac{\phi}{\phi_{\text{max}}})^2}$.

$$\eta_{\text{сус}} = \eta_l \frac{1}{(1 - \frac{\phi}{\phi_{\text{max}}})^2}.$$

Поведінка течії осаду може бути описана рідиною Гершеля-Балклі $\tau_{\text{sed}} = \tau_0 + K\dot{\gamma}^{n_{\text{rheo}}}$.

Кінематична в'язкість враховує різну щільність через різні об'ємні частки твердої речовини $\nu_m = (1 - \phi_{\text{corr}}) \frac{\eta_l}{\rho_l (1 - \frac{\phi}{\phi_{\text{max}}})^2} + \phi_{\text{corr}} \frac{1}{\rho_m} \frac{\tau_0 + K\dot{\gamma}^{n_{\text{rheo}}}}{\dot{\gamma}}$.

Ефективність сепарації є результатом від інтегрування ефективності сортування $T_{c_i}(x)$ та функції густини маси на вході $q_{3,c_{i-1}}(x)$.

$$E_{\text{розд},c_i} = \int_{x_{\text{min}}}^{x_{\text{max}}} [T_{c_i}(x) \cdot q_{3,c_{i-1}}(x)] dx. \quad (4.6)$$

Одним із характерних параметрів для опису ступеня ефективності центрифуги є лінійні розміри зони поділу. Доступна висота для сепарації у вертикальній центрифугі – це відстань уздовж спіралі шнека.

$$L_{\text{шн}} = n_{\text{шн}} \left((2\pi r_p)^2 + t_{\text{шн}} \right)^{0,5}, \quad (4.7)$$

де $L_{\text{шн}}$ – відстань не загорнутого гвинтового каналу шнека, м;

$n_{\text{шн}}$ – кількість витків шнека;

r_p – радіус ротора, м;

$t_{\text{шн}}$ – крок витків шнека, м.

Об'єм відсіку V_{c_i} визначається кількістю відсіків m , R_B – є радіусом зливу води, та $R_{oc_{c_i}}$ описує відстань до поверхні осаду.

Числовий алгоритм дозволяє розрахувати поверхню осаду для кожного руху в часі. Об'єм V_{c_i} представляє об'єм відсіку c_i та визначається як:

$$V_{c_i} = t_{\text{шн}} \cdot \frac{L_{\text{шн}}}{n} \cdot (R_{oc_{c_i}} - R_B). \quad (4.8)$$

Для дослідження обиралася центрифуга безперервної дії, тому накопичення твердої фази та рух осаду враховано під час моделювання перебігу розділення. Динамічний баланс маси для осаду із постійною пористістю та рівномірною швидкістю руху враховує накопичення осаду та рух твердих речовин [52, 110, 114, 115]. Рівняння балансу для рівномірного руху осаду може виглядати таким чином:

$$\frac{dm_{\tau, tr_i}}{dt} = \dot{m}_{\tau, sep_{c_i}} + \dot{m}_{\tau, tr_{i+1}} - \dot{m}_{\tau, tr_{i-1}}, \quad (4.9)$$

де $\frac{dm_{\tau, tr_i}}{dt}$ визначає накопичення твердих речовин;

$\dot{m}_{T,sep c_i}$ – масова швидкість потоку відокремлених твердих речовин, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$;

$\dot{m}_{T,tr i-1}$ – це масова швидкість потоку твердих речовин, що транспортуються у відсік, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$;

$\dot{m}_{T,tr i+1}$ – масова швидкість потоку з відділення, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$.

4.2.3 Аналіз одержаних результатів моделювання

Рух осаду значно залежить від вхідного потоку, тому розділення бурового шламу за звичайних умов та у разі застосування коагулянтів і флокулянтів буде значним чином відрізнятися. Саме експериментальне дослідження для встановлення ефективності фізичної інтенсифікації процесу та оптимальних доз коагулянтів і флокулянтів дозволило зробити висновки щодо властивостей утвореного осаду за різних концентрацій речовин, що додавалися. Для досягнення максимального ступеня осушення бурового шламу необхідно прагнути утворення осаду у вигляді пластівців пухкої структури.

Тим не менш, передбачення перехідних процесів, таких як процес розкручування, тимчасова зміна ємності заповнення або зміни об'ємної частки твердих речовин під час розділення може бути представлено певним алгоритмом. У результаті час перебування частинок у центрифугі значно зменшується. Під час прогнозування роботи центрифуги враховували продуктивність накопичення осаду. Для чисельного моделювання були задані такі початкові умови:

- об'ємна швидкість потоку на вході, $Q_{вх} = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- об'ємна частка твердої речовини на вході $\varphi_{вх} = 0,5$;
- відносне відцентроване число $C = 1000 \text{ g}$;
- крок обертів ротора центрифуги $\Delta n = 100 \text{ об/хв}$ за умови обмежень, означених у постановці задачі.

На рис. 4.3 показано результати чисельного моделювання рівня заповнення та ефективності розділення у часі для бурового шламу за заданих умов процесу.

Число обертів ротора центрифуги має значний вплив на процес наповнення центрифуги. Для $n = 1100$ об/хв об'єм твердих речовин у центрифугі досягає максимальне значення $U = 0,95$ через час $t = 10$ хв (600 с). Ефективність розділення знижується з часом у зв'язку з накопиченням осаду, проте своєчасне вивільнення осаду за допомогою шнеку дозволяє цього уникнути. Результати математичного моделювання показують, що вивантаження осаду треба проводити через 5 хв (300 с).

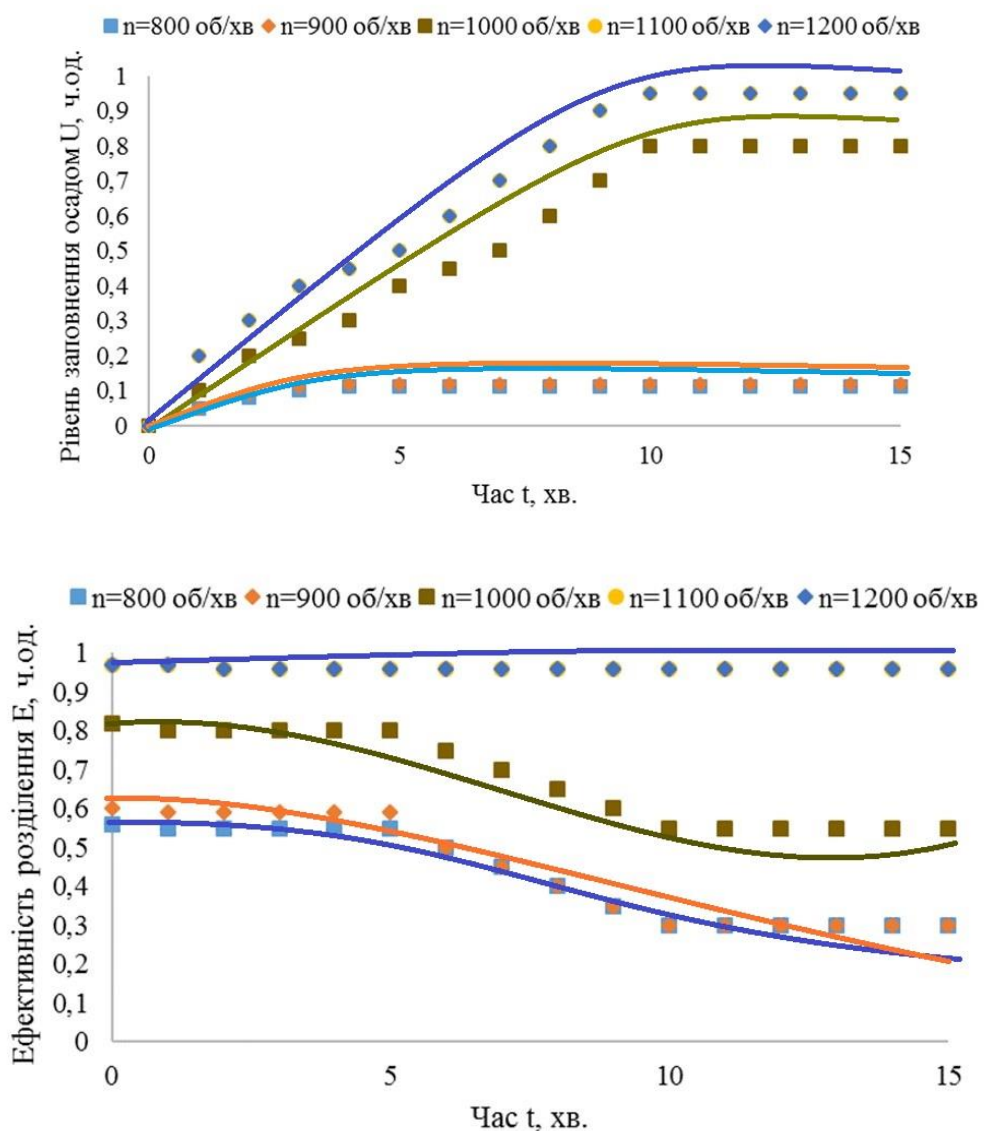


Рисунок 4.3 – Чисельне моделювання рівня заповнення (а) та ефективності розділення у часі для бурового шламу (б) (точки – експериментальні дані, лінія – модель)

Також проводили математичне моделювання процесу розділення бурового шламу у разі застосування інтенсифікації, при цьому дози коагулянта та флокулянта задавалися на основі експериментально встановлених. Результати такого моделювання для відпрацьованого бурового розчину на глиняно-полімерній основі наведені на рис. 4.4 та показують, що за частоти обертів 800 об/хв можна досягти тих самих показників, що і для більших обертів без застосування коагулювання та флокування.

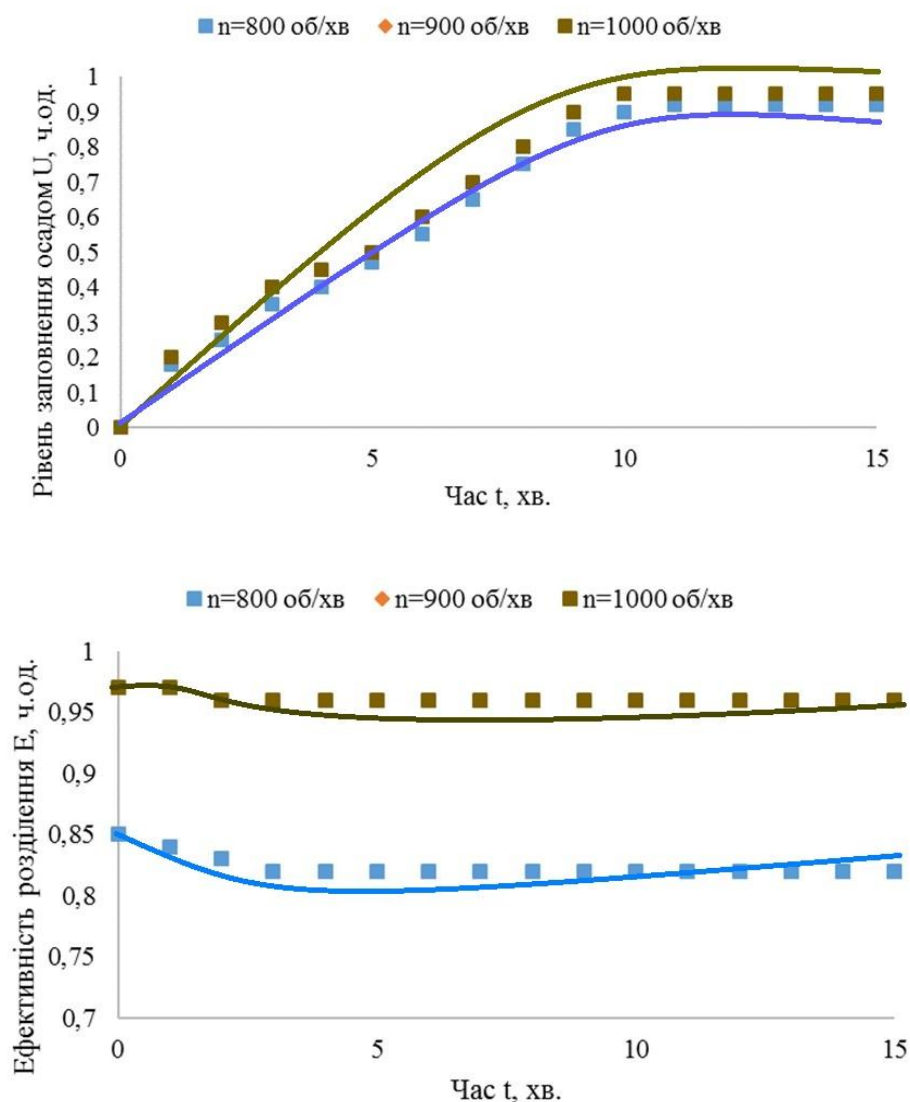


Рисунок 4.4 – Чисельне моделювання рівня заповнення (а) та ефективності розділення у часі для бурового шламу (б) на глиняно-полімерній основі у разі застосування інтенсифікації (точки – експериментальні дані, лінія – модель)

Аналогічні результати моделювання одержано для відпрацьованого бурового розчину на вуглеводневій основі ІЕР Witer II (рис. 4.5).

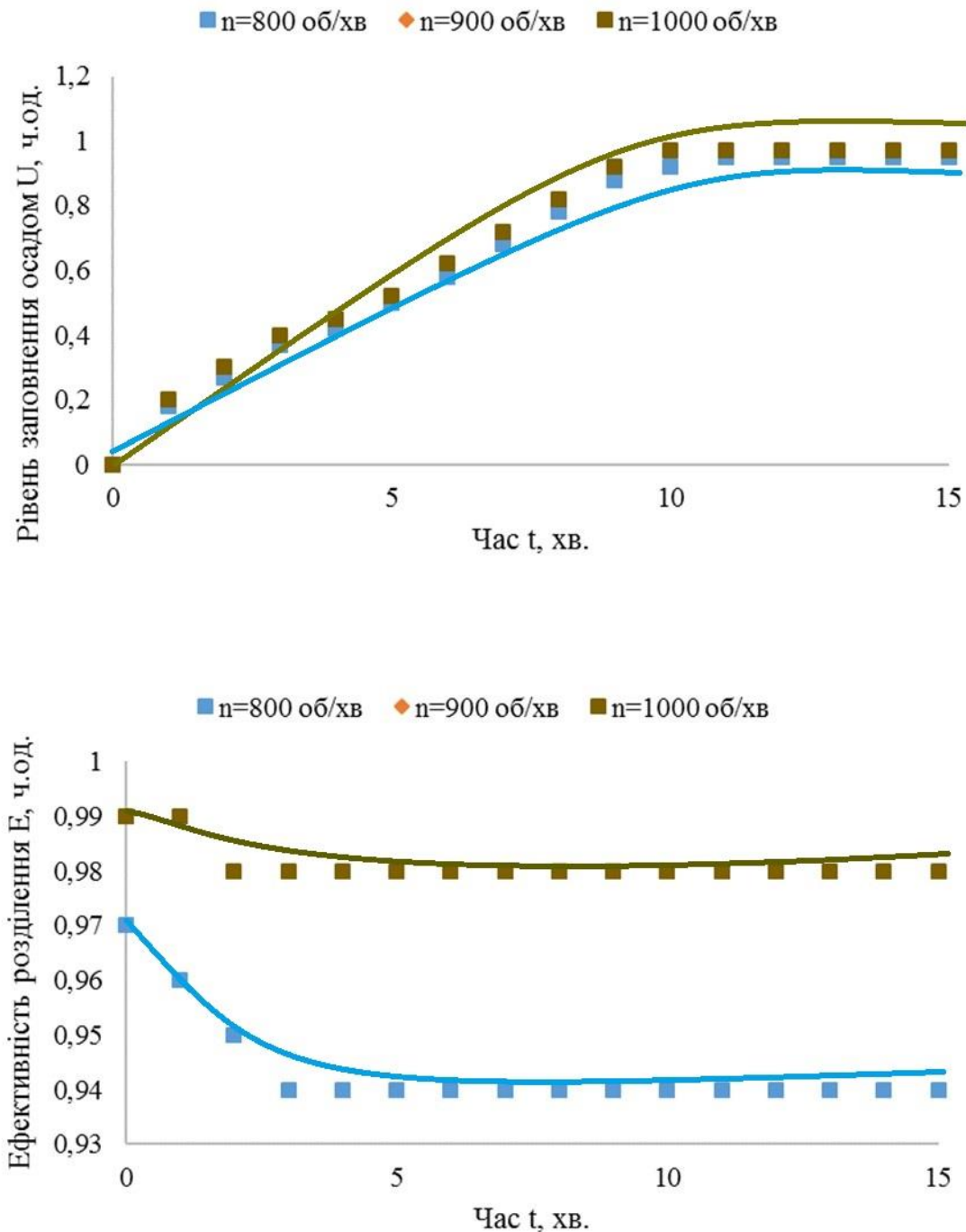


Рисунок 4.5 – Чисельне моделювання рівня заповнення (а) та ефективності розділення у часі для бурового шлам (б) на основі ІЕР Witer II у разі застосування інтенсифікації (точки – експериментальні дані, лінія – модель)

Відомо, що стадія розділення твердої фази та рідини залежить від матеріальних властивостей дисперсної фази. Завдяки зростанню високої обчислювальної потужності стає дедалі популярнішою розробка концепцій керування на основі моделі для процесів із твердими частинками.

Для неконтрольованого осаду збільшення об'ємної частки твердих речовин на вході призводить до зменшення ефективності розділення. На це впливають як об'ємна частка твердих речовин, так і умови процесу – ефективність розділення і рівень заповнення центрифуги. Причину помірного зниження ефективності сепарації можна знайти у збільшенні висоти осаду в центрифугі. Накопичення твердих частинок призводить до зменшення площі поперечного перерізу потоку та відповідно час перебування значно скорочується, а рідина через рух частинок виливається з центрифуги, що є неприпустимо [52, 110].

Контроль шляху розділення на основі цієї моделі має таку перевагу, що властивості матеріалу враховуються під час адаптації вхідних даних. Представлена модель регулює потік на вході залежно від об'ємної частки твердих речовин у переливі та демонструє швидкість керування переливом. Швидкість потоку буде скоригована, якщо змінна впаде до порогового значення. Ще однією можливістю модельного керування є регулювання диференціальної швидкості між шнековим конвеєром і ротором. У цьому випадку збільшення диференціальної швидкості також призводить до зниження рівня наповнення, що узгоджується із результатами, одержаними іншими авторами [52, 110, 114, 115].

Запропонована динамічна модель процесу дозволяє розрахувати часові зміни рівня наповнення та ефективності розділення для протиточних центрифуг за умови, що рух осаду в центрифугі можна розглядати як нестисливий осад. Математичний підхід використовує три категорії початкових параметрів, властивостей матеріалу, умов процесу та геометрії центрифуги. Розподіл часу перебування є глобальною функцією, що підсумовує відхилення від ідеальних

умов потоку. На відміну від сучасних моделей, представлений підхід враховує властивості бурового шламу.

Вплив твердого шару на стінки центрифуги враховується шляхом коригування площі поперечного перерізу в області потоку для кожного відрізка часу. Представлений підхід дозволяє моделювати технологічну схему, керувати на основі моделі та оптимізації параметрів процесу, з метою отримання постійних та адекватних умов розділення. У порівнянні з іншими моделями, представлений підхід може бути використаний для визначення критичних станів під час роботи центрифуг.

4.3 Моделювання процесу забруднення ґрунту нафтовміщуючими буровими відходами

Дослідження щодо встановлення рівня та глибини забруднення нафтовміщуючих буровими відходами для різних типів ґрунтів, які відрізняються своїм складом, походженням та геологією, дозволило встановити залежності для прогнозування зони забруднення, що може бути використано під час розрахунку еколого-економічного збитку від забруднення земель відходами. Проникнення нафти через ґрунт підлягає фізичним законам руху речовин через пористе середовище, зокрема закону Дарсі-Букінгема для потоку нафти [116] ненасиченого ґрунту, рівняння Букінгема-Річардса для руху вологи в ненасиченій зоні [116, 117].

Дослідженням підлягали чотири типи ґрунтів: Камбісол з піщаним складом (№ 1), Лювізол (сірий ліс) з суглинисто-піщаним складом (№ 2), Чорнозем типовий з супіщаним складом (№ 3), Кастанозем (тераса соснового лісу під соснами) з піщаною фактурою (№ 4). Зразки ґрунти були відібрані на території Сумської області, поблизу Бугруватівського родовища Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної зони. Зразки № 1 та № 2 містять більшу кількість фракції крупністю від 0,10 мм до 0,25 мм (дрібний пісок) – 55,4 % та 54 %

відповідно. Проба № 4 містить фракції з розміром частинок від 0,25 мм до 0,50 мм (середній пісок) переважає – 48,2 %.

На гістограмі представлені результати гравіметричного визначення вмісту нафти (НВ) в досліджуваному ґрунті після 30 днів просочування нафти у верхній частині трубки (позначено як Св) та в нижній частині трубки з найнижчим рівнем нафти (позначено як Сн). Дані гістограми демонструють швидкість проникнення нафти в різних типах ґрунту. (рис.4.6)

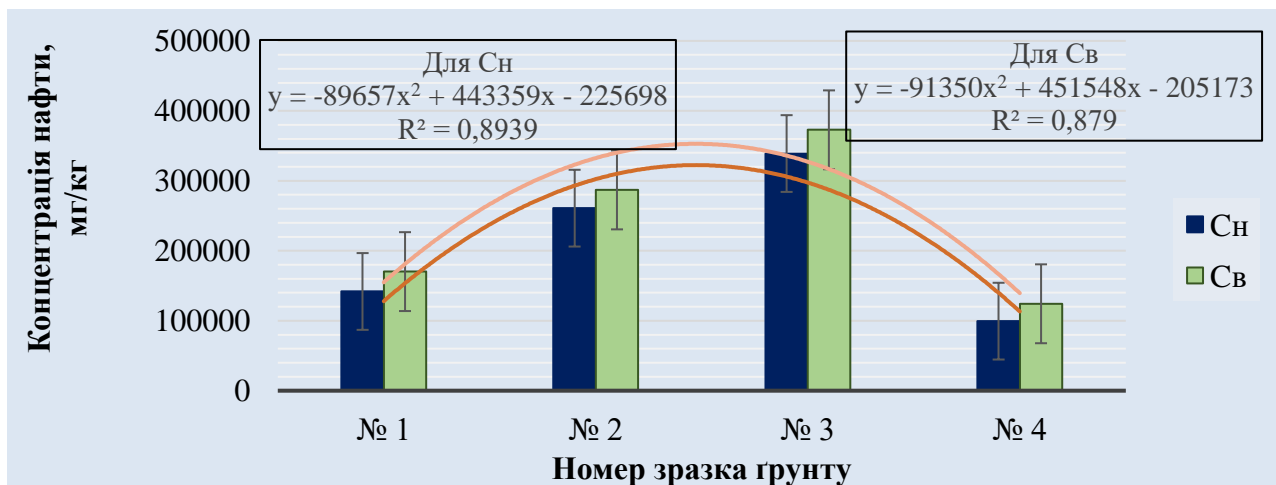


Рисунок 4.6 – Результати гравіметричного визначення

Коефіцієнти проникнення для сухих зразків ґрунту від № 1 до № 4 становили $0,0073 \text{ м} \cdot \text{добу}^{-1}$, $0,0077 \text{ м} \cdot \text{добу}^{-1}$, $0,0083 \text{ м} \cdot \text{добу}^{-1}$, $0,0067 \text{ м} \cdot \text{добу}^{-1}$ відповідно, а для вологих зразків ґрунту $0,0083 \text{ м} \cdot \text{добу}^{-1}$, $0,0093 \text{ м} \cdot \text{добу}^{-1}$, $0,0093 \text{ м} \cdot \text{добу}^{-1}$, $0,0083 \text{ м} \cdot \text{добу}^{-1}$ відповідно. Отримані коефіцієнти вуглеводневої проникності для різних систем дозволяють розрахувати глибину проникнення нафти за заданий час після аварійного розливу з урахуванням вологості ґрунту [118].

Залежність висоти шару ґрунту від часу для чотирьох досліджуваних зразків ґрунту - сухого та вологого відповідно зображено на рисунках 4.7 і 4.8. Криві на цих рисунках показують залежність висоти шару ґрунту для сухих зразків ґрунту $h1d$, $h2d$, $h3d$, $h4d$ (№ 1, 2, 3 і 4 відповідно) від моменту часу t . Ці залежності описуються рівняннями регресії, які показані на рисунку 4.7.

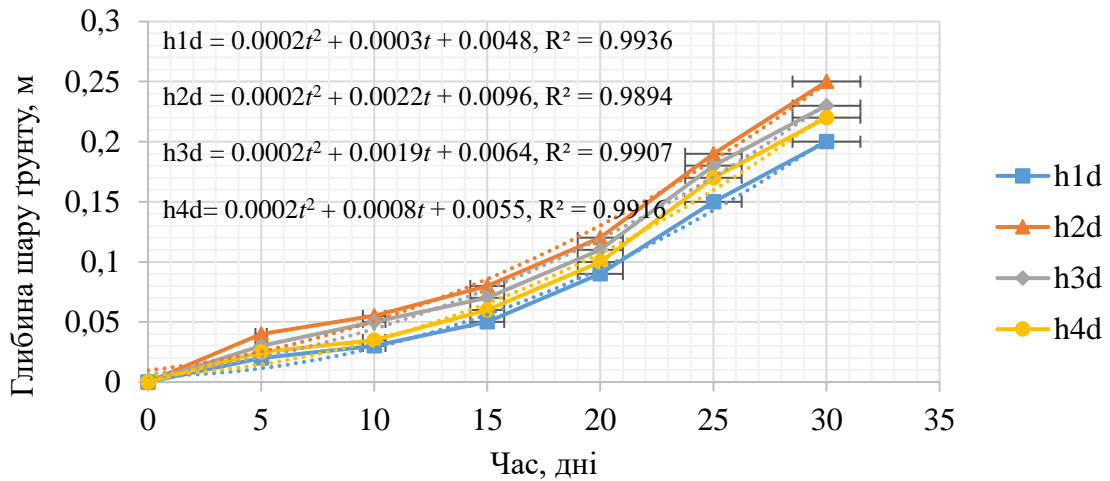


Рисунок 4.7 – Залежність глибини проникнення нафти через сухий ґрунт

Результати експерименту показали, що збільшення вологості ґрунту впливає на глибину проникнення вуглеводнів (рис. 4.8). Ці криві показують залежність глибини шару ґрунту для вологих зразків ґрунту h1w, h2w, h3w, h4w (висота шару ґрунту для зразків вологого ґрунту 1, 2, 3 та 4 відповідно) від часу t, які описуються регресійними рівняннями, показаними на рисунку.

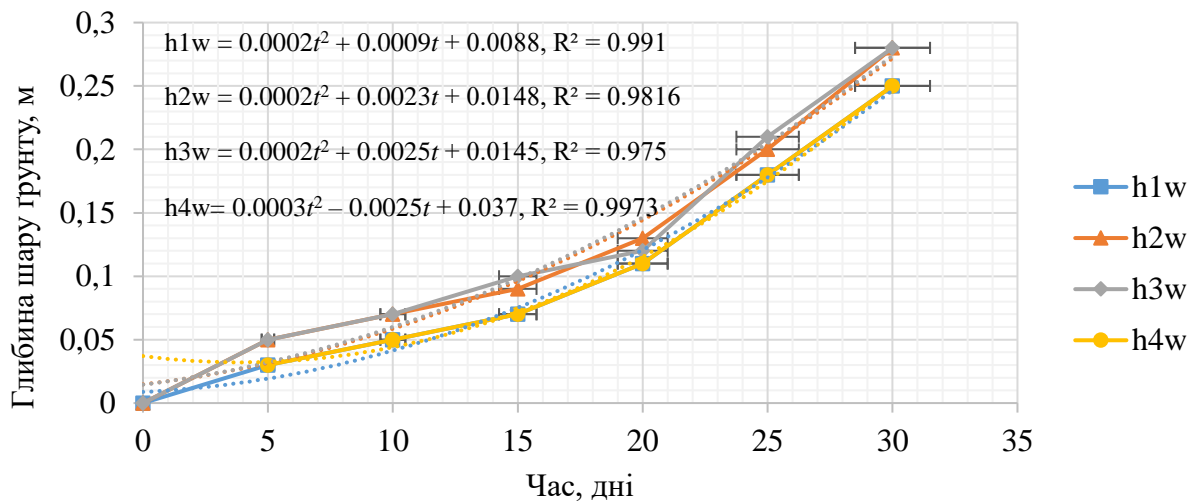


Рисунок 4.8 – Залежність глибини проникнення нафти через вологий ґрунт

Дані дослідження було використано для створення діаграми, що показує залежність швидкості проникнення нафти від заданих умов експерименту.

Одержані результати будуть використані для розрахунку екологічного збитку від забруднення ґрунту буровими відходами.

Висновки до розділу 4

У розділі 4 «Математичне моделювання технології захисту довкілля» одержано такі результати.

1. Проведено математичне моделювання процесу розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил.

2. Одержано залежності глибини проникнення нафти в ґрунті залежно від параметрів ґрунту, нафти та навколишнього середовище, зокрема визначальним є вологість та пористість ґрунту.

Основні результати дослідження опубліковані в наукових працях: [67, 118].

РОЗДІЛ 5

ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ПРОЄКТУ ІЗ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

5.1 Технологічна схема процесу розділення бурових відходів

Процес розділення відходів буріння нафтових свердловин може ефективно реалізуватися за запатентованим нами способом [119], що передбачає подальшу утилізацію окремих вже розділених фракцій. Проте технологічне оформлення заявленого способу зорієнтоване здебільшого на розділення нафтовмісних бурових відходів (нафтошламів), оскільки відповідно до технологічної схеми основним обладнанням є трикантер, який забезпечує розділення на три фази: водну, нафтову та тверду [6, 119]. Крім того, з метою підвищення рівня екологічної безпеки досліджуваного процесу варто переходити на використання біологічних флокулянтів.

У зв'язку з цим на основі зазначеного способу розділення бурових відходів та на підставі проведених експериментальних досліджень і одержаних результатів запропоновано модернізувати технологічну схему, спростити у випадку застосування бурових відходів типу відпрацьованого бурового розчину на різних видах основ бурового розчину.

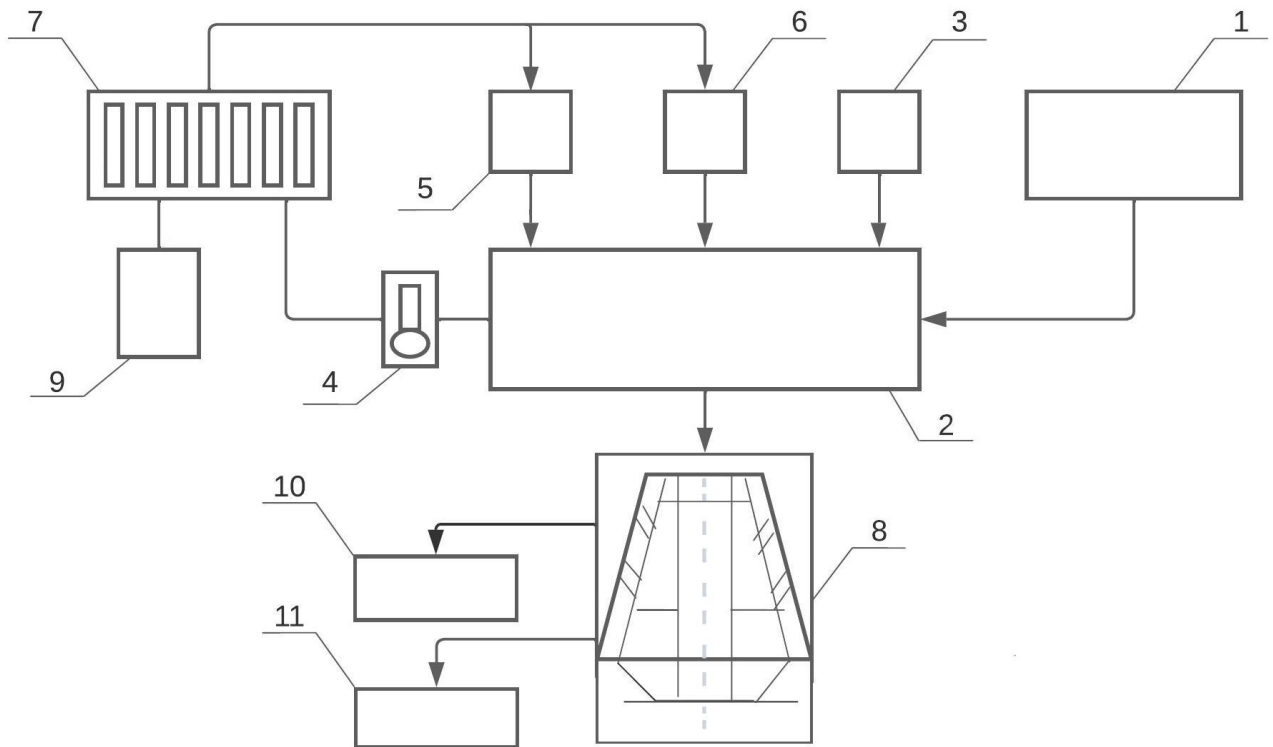
Розроблений спосіб передбачає збирання бурових відходів, попереднє фізико-хімічне оброблення із застосуванням неорганічного коагулянту та природного біофлокулянту, розділення оброблених відходів на тверду і рідку фази у вертикальній центрифугі. Практична реалізація запропонованого способу забезпечує одержання рідкої фази, параметри якості та екологічної безпеки якої відповідають екологічним нормативам та технологічним стандартам для повторного застосування під час приготування бурового розчину. Тверда фаза містить сліди важких металів, міцно іммобілізованих за рахунок додавання

біофлокулянту, в концентраціях, що не перевищують значення гранично допустимих концентрацій (ГДК). Крім того, за показниками радіаційної безпеки є безпечною, тому може підлягати утилізації для виробництва будівельних матеріалів, відсіпки доріг тощо [35].

На рисунку 5.1 наведена технологічна схема експериментальної установки розділення бурових відходів, зокрема ВБР та БШ.

Бурові відходи подають з ємності 1 збору відходів до ємності 2 підготовки бурових відходів. Для досягнення оптимального рівня рН середовища на рівні 5-5,5 од, що контролюється додатково за допомогою блоку регулювання рН 4, до ємності 2 додають розчин хлоридної кислоти з ємності 3 у необхідній кількості. Окремо в спеціальній ємності 5 підготовлений розчин коагулянту та у спеціальній ємності 6 підготовлений розчин флокулянту. Їх готують з використанням води через контейнер управління 7. Коагулянт та флокулянт додають до ємності 2, де проводиться підготовка бурових відходів.

Для підвищення ефективності осадження зважених часток відходів застосовують розчин алюміній сульфату з концентрацією 35% мас за масовою часткою зважених часток у відходах.



1 – ємність збору бурових відходів; 2 – ємність підготовки бурових відходів;
 3 – ємність з розчином хлоридної кислоти; 4 – блок регулювання рН; 5 –
 ємність підготовки рідкого коагулянту; 6 – ємність підготовки рідкого
 флокулянту;
 7 – контейнер управління; 8 – вертикальний осушувач; 9 – блок регулювання
 температури; 10 – резервуар для твердої фази; 11 – резервуар для рідкої фази
 Рисунок 5.1 – Технологічна схема експериментальної установки розділення
 бурових відходів із застосуванням вертикального осушувача

Для отримання коагулянту застосовується вилуговування катіонів алюмінію з вугільної золи сульфатною кислотою. Виробництво алюміній сульфату у такий спосіб відповідає принципам раціонального природокористування та підвищує економічну доцільність застосування такого коагулянту.

Хітозан з концентрацією 0,4 %мас за масовою часткою зважених часток у бурових відходах застосовується як флокулянт з метою підвищення процесу хімічного осадження [120]. Після підготовки відходи з реагентами з ємності 2

підготовки бурових відходів подають до центрифуги ОВШ-950 8, яка призначена для розділення на тверду та рідку фази з одночасним осушенням твердої фази. Температуру бурових відходів регулюють блоком 9 регулювання температури. Розділення бурових відходів на фази проводять за умови робочої температури на рівні 18–22 °С. Тверда фаза, представлена знешкодженими крупними, середніми та дрібними залишками вибуреної породи, надходить із центрифуги 7 до ємності 10 твердої фази. Рідка фаза – це розділена вода, що входила до складу бурових відходів та спеціально підготовлена вода для приготування розчину. Цю фазу збирають у резервуарі 11 для рідкої фази, після чого направляють на повторне використання для приготування бурового розчину. Оптимальні дози коагулянтів та флокулянтів визначені експериментальним шляхом та описані у п. 3.3.

Практична реалізація способу передбачає такі дії: приготування алюміній сульфату як коагулянту та хітозану як флокулянту; додавання їх до ємності 2 з буровими відходами з розрахунку, що відходи мають 60 % твердих часток (600 г на 1 кг відходів) – 210 г алюміній сульфату (35 %) та 2,4 г хітозану (0,4 %) на 1 кг відходів. Суміш відходів з реагентами залишається у ємності для протікання фізико-хімічних процесів коагулювання та флокування на 1 годину, після чого направляється до центрифуги 6, де відбувається розділення бурових відходів на тверду та рідку фази.

Бурові відходи, які складаються з механічних домішок (70%), води (28%) та нафтових вуглеводнів (<2%), підлягають розділенню. Даний процес проводять протягом 2 годин при робочій температурі близько 24°C.

Розроблений спосіб дозволяє повторно використовувати очищену воду під час технологічних процесів, зокрема при приготуванні бурових розчинів, та використовувати механічну фракцію для виготовлення будівельних конструкцій, що допомагає знизити техногенне навантаження на довкілля під час буріння нафтових чи газових свердловин [84].

Однак, у рідких бурових розчинах часто міститься значна кількість ВБР на водній та вуглеводневій основі, що може негативно впливати на гідросферу.

Тому важливо переглянути рецептури бурових розчинів та замінити токсичні компоненти на менш шкідливі, щоб запобігти негативному впливу на довкілля.

5.2 Інженерний розрахунок обладнання та установок

Потужність, що витрачається на роботу осушувача. Перш за все необхідно розрахувати витрати енергії [42]. Витрати енергії на роботу вертикального осушувача складаються з декількох статей витрат:

$$N_{\max} = N_p + N_{\text{ш}} + N_T + N_{\text{п}} \quad (5.1)$$

Складові цього рівняння визначають за відповідними виразами і формулами.

Потужність, що витрачається на обертання ротора N_p , кВт:

$$N_p = \frac{A_p}{\tau_{\text{роз}}} = \frac{m_p^2 \cdot r_p \cdot \omega^2}{2 \cdot 10^3 \tau_{\text{роз}}}, \quad (5.2)$$

де A_p – робота, що витрачається на надання кінетичної енергії ротору, Дж;

$\tau_{\text{роз}}$ – тривалість розгону, с, $\tau_{\text{роз}} = 120$ с;

m_p – маса ротора, кг, $m_p = 118$ кг;

r_p – радіус ротора, м, $r_p = 0,264$ м;

ω – кутова швидкість ротора, рад/с, $\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 800}{60} = 83,5$ рад/с.

$n = 800$ об/хв або $n = 800/60 = 13,3$ с⁻¹.

$$N_p = \frac{A_p}{\tau_{\text{роз}}} = \frac{m_p^2 \cdot r_p \cdot \omega^2}{2 \cdot 10^3 \tau_{\text{роз}}} = \frac{118^2 \cdot 0,264 \cdot (83,5^2)}{2 \cdot 10^3 \cdot 120} = \frac{25629544,78}{240000} = 106,78 \text{ кВт.}$$

Потужність, що витрачається на надання кінетичної енергії шламу $N_{\text{ш}}$, кВт:

$$N_{\text{ш}} = \frac{A_{\text{ш}}}{\tau_{\text{роз}}} = \frac{m_{\text{ш}}(r_p^2 - r_0^2)\omega^2}{4 \cdot 10^3 \tau_{\text{роз}}}, \quad (5.3)$$

де $A_{\text{ш}}$ – робота, що витрачається на надання кінетичної енергії шламу, Дж;

$m_{\text{ш}}$ – маса шламу, кг, $m_{\text{ш}} = V \cdot \rho = 600 \text{ м}^3 \cdot 1,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 1080000 \text{ кг}$;

r_o – внутрішній радіус кільця рідини, м, $r_o = 0,262 \text{ м}$;

$$N_{\text{ш}} = \frac{A_{\text{ш}}}{\tau_{\text{роз}}} = \frac{m_{\text{ш}}(r_p^2 - r_o^2)\omega^2}{4 \cdot 10^3 \tau_{\text{роз}}} = \frac{1080000 \cdot (0,264^2 - 0,262^2) \cdot 83,5^2}{4 \cdot 10^3 \cdot 120} = \frac{7981831,8}{480000} = 16,62 \text{ кВт.}$$

Потужність, що витрачається на подолання тертя в підшипниках $N_{\text{т}}$, кВт:

$$N_m = 10^{-3} m f \omega, \quad (5.4)$$

де $m = m_{\text{ц}} + m_{\text{ш}}$ – маса обертових частин центрифуги ($m_{\text{ц}}$) і шламу ($m_{\text{ш}}$), кг,

$m = 118 + 1080000 = 1080118 \text{ кг}$;

f – коефіцієнт тертя в підшипниках, від 0,005 до 0,00005. Приймаємо $f = 0,0005$.

$$N_m = 10^{-3} m f \omega = 10^{-3} \cdot 1080118 \cdot 0,0005 \cdot 83,5 = 45,09 \text{ кВт.}$$

Потужність, що витрачається на подолання тертя ротора об повітря $N_{\text{п}}$, кВт:

$$N_{\text{п}} = 2,85 \cdot 10^{-4} \cdot h_p \cdot D^4 \cdot n^3, \quad (5.5)$$

де h_p – висота ротора, м, $h_p = 0,36 \text{ м}$;

D – діаметр ротора, м; $D = 0,528 \text{ м}$;

n – частота обертання ротора, об/с; $n = 13,3 \text{ с}^{-1}$.

$$N_{\text{п}} = 2,85 \cdot 10^{-4} \cdot h_p \cdot D^4 \cdot n^3 = 2,85 \cdot 10^{-4} \cdot 0,36 \cdot 0,528^4 \cdot 13,3^3 = 0,0187 \text{ кВт,}$$

Відповідно до формули (5.1) знайдемо потужність, що витрачається на роботу центрифуги для розділення 600 м³ бурового шламу, що утворюється під час буріння однієї свердловини.

Тоді, $N_{\max} = N_p + N_{\text{ш}} + N_t + N_{\text{п}} = 106,78 + 16,62 + 45,09 + 0,0187 = 168,50$ кВт.

Відповідно, для осушення 600 м³ бурового шламу на установці ОВШ-950, витрачається 168,50 кВт енергії. Враховуючи ринкову вартість електричної енергії в Україні 6,13 грн/кВт для промислових підприємств, витрати складуть: 6,13 грн/кВт · 168,50 кВт = 1032,90 грн. Беручи до уваги продуктивність осушувача в 40 т/год та загальну масу бурового шламу який підлягає осушенню 1080 т, вертикальний осушувач повинен працювати 1080/40= 27 год. За цей період будуть затрачені ці витрати.

У робочий період витрати енергії значно менше і складають:

$$N_p = 0,25 \cdot N_{\text{ш}} + N_{\text{п}} + (2/3) \cdot N_t, \quad (5.6)$$

де N_p – потужність, що витрачається на роботу центрифуги в період осушення (τ_0).

$$N_p = 0,25 \cdot 16,62 + 0,0187 + (2/3) \cdot 45,09 = 34,23 \text{ кВт.}$$

Враховуючи ринкову вартість електричної енергії в Україні 6,13 грн/кВт для промислових підприємств [121], витрати складуть: 6,13 грн/кВт · 34,21 кВт = 209,7 грн.

5.3 Еколого-економічна ефективність технології захисту довкілля

Еколого-економічна ефективність застосування будь-якої технології зводиться до зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище, виражене у грошових коштах.

5.3.1 Еколого-економічний ефект від застосування розробленої технології захисту довкілля

Еколого-економічний ефект застосування технології захисту довкілля (Е) визначається як сума еколого-економічного ефекту за рахунок оптимізації екологічного податку в наслідок зменшення викидів у навколишнє природне середовище після застосування технології захисту довкілля (Еп) та еколого-економічного ефекту за рахунок зменшення еколого-економічного збитку (Ез).

Еколого-економічний ефект, одержаний за рахунок економії на сплаті економічного податку. Сума податку, який сплачується за розміщення бурових відходів (Прв), визначається, урахуванням ставки податку, фактичних обсягів розміщення бурових відходів та коригуючих коефіцієнтів за формулою:

$$\text{Прв} = \sum (\text{Нпі} \cdot \text{Млі} \cdot \text{Кт} \cdot \text{Ко}), \quad (5.7)$$

де Нпі – ставки податку в поточному році за тону і-того виду відходів, грн/т;

Млі – обсяг відходів і-того виду, т;

Кт – коригуючий коефіцієнт, який враховує розташування місця розміщення відходів і який визначається за пунктом 246.5 статті 246 розділу Екологічний податок Податкового Кодексу України [122];

Ко – коригуючий коефіцієнт, що застосовується у разі розміщення відходів на звалищах, які не забезпечують повного виключення забруднення атмосферного повітря або водних об'єктів.

Розрахунок проводимо для однієї свердловини, приймаючи, що за період експлуатації однієї свердловини в середньому утворюється 600 м^3 бурових відходів із середньою густиною $1,8 \text{ т/м}^3$.

Тоді за вихідними даними щодо коефіцієнтів одержуємо:

$$\text{Нпі} = 5,50 \text{ грн/т}; \text{Млі} = 600 \text{ м}^3 \cdot 1,8 \text{ т/м}^3 = 1080 \text{ т}; \text{Кт} = 3; \text{Ко} = 3.$$

$$\text{Прв} = 5,50 \cdot 1080 \cdot 3 \cdot 3 = 53\,460 \text{ грн.}$$

Завдяки економії на сплаті економічного податку та зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище після застосування технології переробки бурових відходів прослідковується позитивний еколого-економічний ефект, що становить 53 460 грн.

Еколого-економічний ефект, одержаний за рахунок зменшення еколого-економічного збитку. Відповідно до Закону України «Про відходи» [123] та Закону України «Про управління відходами» [124], зберігання відходів є одним з етапів управління відходами, що передбачає тимчасове утримання відходів на спеціальних об'єктах збирання (наприклад, сміттєзвалищах, контейнерах тощо) до їх подальшої переробки, використання або захоронення. При цьому необхідно дотримуватися екологічних та санітарно-епідеміологічних вимог, щоб уникнути негативного впливу на здоров'я людей та навколишнє природне середовище. Згідно з законодавством, тривалість зберігання відходів на об'єктах збирання не повинна перевищувати одного року з моменту їх утворення. Після цього відходи повинні бути відправлені на подальшу обробку або захоронення. Якщо вони не будуть в подальшому перетворені, то відбувається засмічення території на якій ці відходи тимчасово зберігаються.

Згідно з «Методикою визначення розміру шкоди, завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану» [125] :

1. Якщо у складі ґрунту виявляються негативні якісні зміни, то вважається, що ґрунт забруднений. При цьому зміни можуть бути спричинені не тільки появою в зоні аерації нових забруднюючих речовин, яких раніше не було, але й

перевищенням гранично допустимої концентрації небезпечних речовин у ґрунті [125].

2. Присутність на земельній ділянці сторонніх предметів, матеріалів, відходів та/або інших речовин без відповідних дозволів, що з'явилися на цій ділянці внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій, свідчить, що дані землі вважаються засміченими [125].

3. Уповноважені особи встановлюють факти забруднення ґрунтів та/або засмічення земель шляхом проведення різноманітних досліджень та огляду земельних ділянок. Для цього вони використовують різні джерела інформації, такі як документи, матеріали, відомості, довідки, експертизи, а також оперативні повідомлення фізичних та юридичних осіб. Важливо зазначити, що такі уповноважені особи діють виключно в межах повноважень, передбачених законодавством про охорону навколишнього природного середовища, з метою забезпечення додержання вимог цього законодавства та зменшення негативного впливу забруднення та засмічення на довкілля та здоров'я людей [125].

4. При визначенні обсягу забруднення ґрунтів важливим є врахування характеру та властивостей забруднюючої речовини, її токсичності, ступеня розповсюдження в ґрунті та наявності ризиків для здоров'я людини та навколишнього середовища. Для цього можуть використовуватися різноманітні методи дослідження та аналізу, зокрема хімічний аналіз ґрунту та визначення концентрації забруднюючих речовин, експертизи, моделювання процесів просочування та поширення забруднення, моніторингові дослідження тощо. Визначення обсягу засмічення земель також може залежати від характеру та складу сторонніх предметів та матеріалів, їх впливу на довкілля та можливості їх видалення чи переробки [125].

5. У випадках, коли обсяг забруднення ґрунту не може бути визначений шляхом визначення кількості забруднюючої речовини, що проникла у певний шар ґрунту, необхідно використовувати інші методи. Ці методи можуть включати інструментально-лабораторний контроль та залучення

спеціалізованих організацій. Крім того, може бути використано дистанційне зондування землі для отримання додаткової інформації про забруднення ґрунту. Всі ці методи дозволяють визначити обсяг забруднення ґрунту та прийняти належні заходи для його очищення та відновлення [125].

Визначення розміру шкоди внаслідок засмічення земель

1. Уповноважені особи, що здійснюють державний нагляд (контроль) за додержанням вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища, обчислюють розмір шкоди на основі, зокрема, матеріалів, що підтверджують факт завдання шкоди довкіллю, таких як результати вимірювань та аналізів зразків ґрунту, інших досліджень та документів, що містять відомості про характер та обсяги шкоди відповідно до пункту 3 розділу II даної Методики [125].

2. Відповідно до даної Методики [125] віднесення відходів, що спричинили засмічення земель, до небезпечних (токсичних) відходів здійснюється відповідно до чинних нормативно-правових документів у сфері поводження з відходами, затверджених у встановленому порядку, переліків небезпечних (токсичних) відходів тощо [125].

3. Розмір шкоди внаслідок засмічення земель визначається за формулою:

$$R_{шз} = A \cdot B \cdot G_{оз} \cdot Пдз \cdot K_{зз} \cdot K_{ег}, \quad (5.8)$$

де $R_{шз}$ – розмір шкоди від засмічення земель, грн;

A – питомі витрати на ліквідацію наслідків засмічення земельної ділянки, в тому числі прибирання, значення якого дорівнює 1;

B – коефіцієнт перерахунку, що при засміченні земельної ділянки сторонніми предметами, матеріалами, відходами та/або іншими речовинами без відповідних дозволів дорівнює 15, а небезпечними відходами та/або іншими небезпечними речовинами – 300.

Гоз – нормативна грошова оцінка земельної ділянки, що зазнала засмічення, грн/кв. м;

Пдз – площа засміченої земельної ділянки кв. м;

Кзз – коефіцієнт засмічення земельної ділянки, що характеризує ступінь засмічення її відходами, який визначається за додатком 5 до Методики 171 (табл. И.1 Додатку И);

Кез – коефіцієнт еколого-господарського значення земель визначається за додатком 2 до Методики 171 (табл. И.2 Додатку И).

4. Для визначення нормативної грошової оцінки засміченої земельної ділянки використовуються дані з будь-яких джерел з такими умовами:

1) якщо неможливо провести грошову оцінку *Гоз* земельної ділянки або отримати відповідні дані, то Головний орган з питань охорони земель обчислює її за допомогою середньої нормативної грошової оцінки площі ріллі в Автономній Республіці Крим або в області (для міста Києва - використовується середня нормативна грошова оцінка площі ріллі в Київській області), помножуючи її на коефіцієнт, що враховує негативні наслідки забруднення на родючість ґрунту, рівний 300;

2) у разі, коли неможливо отримати дані з нормативної грошової оцінки засміченої земельної ділянки або грошова оцінка земельної ділянки не була проведена, застосовується розрахована за підпунктом 1 даного пункту грошова оцінка. Ця оцінка використовується в формулі даного розділу замість нормативної грошової оцінки земельної ділянки (*Гоз*).

5. Коефіцієнт засмічення земельної ділянки (*Кзз*) визначається відповідно до ступеня її засмічення, що розраховується на основі обсягу відходів, згідно з додатком 5 до Методики 171 (табл. И.1 Додатку И).

У випадку земель, що засмічені багатотонними відходами (вага яких перевищує 10 000 т) гірничодобувної промисловості, коефіцієнт засмічення земельної ділянки (*Кзз*) приймається рівним 1,0 згідно з Методикою.

6. Коефіцієнт еколого-господарського значення земель (Кег) визначається відповідно до категорії земель, що були засмічені, або їх статусу як таких, що підлягають особливій охороні. Відповідно до додатку 2 Методики 171, встановлюється значення Кег для кожної категорії таких земель. (табл. И.2 Додатку И).

У випадку, коли земельна ділянка, що зазнала засмічення, може бути класифікована за декількома категоріями земель чи особливостями охорони згідно з додатком 2 до Методики 171, для розрахунків вибирається коефіцієнт еколого-господарського значення земель (Кег) з максимальним значенням серед відповідних коефіцієнтів за шкалою еколого-господарського значення земель.

7. Форма розрахунку наведена в додатку 7 до Методики 171 (табл. И.3 Додатку И).

Розрахунок розміру шкоди внаслідок засмічення земельної ділянки буровими відходами (буровими шламами) на території Охтирського району Сумської області проведено на основі наведеної вище методики, результати якого відображені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результат розрахунку розміру шкоди

№ з/п	Показники	Позначення показника	Джерело одержання або розрахунок показника	Значення показника (коефіцієнта)
1	2	3	4	5
1	Площа засміченої ділянки, кв. м	Пдз	За актом про засмічення земель та за матеріалами спеціальних вишукувань	600
2	Об'єм відходів, куб. м	Ов		600
3	Питомі витрати на ліквідацію наслідків засмічення	А	Постійна величина	0,5

Кінець табл. 5.1

1	2	3	4	5
4	Коефіцієнт перерахунку, що при засмічення земельної ділянки побутовими, промисловими та іншими відходами дорівнює 15, а небезпечними (токсичними) відходами – 300	Б	Перемінна величина	15
5	Нормативна грошова оцінка земельної ділянки (проіндексована), грн/ кв.м	Гоз	За довідкою територіального органу Держкомзему від 13.10.2022 №2/410-22	141,21
6	Коефіцієнт засмічення земельної ділянки	Кзз	Додаток 6 Методики	4
7	Коефіцієнт небезпеки відходів	Кнв	Додаток 5 Методики	1
8	Коефіцієнт еколого-господарського значення земель	Кег	Додаток 2 Методики	1
9	Розмір шкоди, грн	Ршз	$R_{шз} = A \cdot B \cdot G_{оз} \cdot P_{дз} \cdot K_{зз} \cdot K_{нв} \cdot K_{ег}$	2 541 780

Таким чином, внаслідок розміщення на земельній ділянці загальною площею 600 м² відходів буріння, а саме не переробленого бурового шламу загальним об'ємом 600 м³, розмір шкоди, нанесеної навколишньому природному середовищу становить – 2 541 780 грн, що і є еколого-економічним ефектом, одержаним за рахунок зменшення еколого-економічного збитку у разі застосування запропонованої технології, що попереджує забруднення ґрунту.

Тому загальний еколого-економічний ефект становить:

$$2\,541\,780 \text{ грн} + 53\,460 \text{ грн} = 2\,595\,240 \text{ грн.}$$

5.3.2 Оцінка еколого-економічної ефективності реалізації розробленої технології

Оцінку еколого-економічної ефективності (ЕЕЕ) проекту із зниження техногенного навантаження на навколишнє природне середовище за рахунок впровадження технології розділення бурових відходів та осушення бурового шламу проводили відповідно до наведеної нижче схеми на основі ОЖЦ.

Етапом, що включає в себе проведення технічного та економічного аналізу нових процесів та продуктів є інвентаризаційний аналіз. Під час цього аналізу створюються баланси матеріалів та енергії, що охоплюють сировину, реагенти, продукти, субпродукти, а також тверді, рідкі та газоподібні викиди та відходи. Метою інвентаризаційного аналізу є визначення вимог до необхідної кількості енергії та необроблених матеріалів (сировини), емісій в атмосферне повітря, скидів у водне середовище, твердих відходів та інших екологічних впливів на основі баз даних. Ці вимоги пов'язані з життєвим циклом продукції, процесом діяльності або технологією [33, 34, 126].

У таблиці 5.2 наведені дані щодо потужності та вартості основного обладнання відповідно до технологічної схеми на рис. 5.1.

Таблиця 5.2 – Вартість та енергоспоживання обладнання для перероблення бурових відходів

№ з/п	Найменування	К-ть	Установлена потужність, кВт	Вартість, тис. грн
1	Ємність збору бурових відходів	1	-	10
2	Ємність підготовки бурових відходів	1	5,5	15
3	Ємність з розчином хлоридної кислоти	1	-	10
4	Блок регулювання рН	1	0,5	10
5	Ємність підготовки коагулянта	1	0,5	10
6	Ємність підготовки флокулянта	1	0,5	10
7	Контейнер управління	1	5,5	15
8	Центрифуга ОВШ-950	1	55	2 000
9	Блок регулювання температури	1	0,5	9,5
10	Резервуар для твердої фази	1	-	10
11	Резервуар для рідкої фази	1	-	10
12	Насос для перекачування відходів	1	7,5	15
ВСЬОГО			75,5	2 124,5

У таблиці 5.3 наведені дані щодо витрат реагентів та матеріалів, необхідних для перероблення (розділення) бурового шламу від однієї свердловини (1080 тон).

Таблиця 5.3 – Витрати реагентів, матеріалів та енергоресурсів, необхідних для технологічного процесу

№ з/п	Найменування	Кількість	Од. вим-ня	Ціна, грн	Сума, тис. грн
1	Алюміній сульфат (коагулянт)	189000	кг	З відходів	
2	Хітозан (флокулянт)	2160	кг	40	86,4
3	Хлоридна кислота	1000	кг	55	55,0
4	Вода (для приготування розчинів)	20 або 20000	м ³ л	Використовується з оборотного водопостачання	
5	Електроенергія	168,5	кВт	6,13	1,032 92
ВСЬОГО					142,433

Розрахунок щорічних амортизаційних відрахувань виконують способом зменшеного залишку, задаючи річну норму амортизації для устаткування – 21,9 %. Але зважаючи на розрахунок для однієї свердловини, то маємо 1080 тон бурового шламу необхідно пропустити через центрифугу з пропускною здатністю 40 тон за годину. Одержуємо час 27 годин, що реалізується за 3–4 робочі зміни. Тому амортизаційні витрати у межах такого розрахунку не використовуємо.

При осушенні та подальшій переробці цього об'єму бурового шламу грошові витрати складаються з витрат на обладнання та реактиви, що становить: $2\,124\,500 + 142\,433 = 2\,266\,933$ грн.

Таким чином, еколого-економічна ефективність цієї технології навіть для розділення бурових відходів від однієї свердловини є значною (2 595 240 грн –

– 2 266 933 грн = 328 307 грн), та мотивує запровадженню запропонованого способу утилізації бурових відходів, чим значно зменшується техногенне навантаження на ґрунти. А з урахуванням використання цієї технології в подальшому для розділення бурових відходів, окупність технології окупиться у кілька разів.

Висновки до розділу 5

У розділі 5 «Технологічні рішення розробленого проєкту із захисту довкілля» одержано такі результати.

1. Удосконалено технологічну схему екологічно безпечної технології утилізації бурових відходів за рахунок застосування вискоєфективної центрифуги ОВШ-950 для розділення бурових відходів та інтенсифікації процесу шляхом додавання оптимальних доз коагулянта алюміній сульфату та флокулянта хітозану.

2. Проведено інженерний розрахунок основного обладнання центрифуги ОВШ-950 на основі енергетичних витрат, що дозволяє обґрунтувати доцільність та економічну ефективність її застосування у розробленій технологічній схемі.

3. Оцінено еколого-економічний ефект від впровадження запропонованої технології захисту довкілля за рахунок економії на сплаті екологічного податку та збитку за засмічення ґрунтової поверхні буровими відходами, що становить 2 595,240 тис. грн.

4. Розраховано еколого-економічну ефективність розробленої технології з урахуванням капітальних та поточних витрат на реалізацію проєкту, що складає 328,307 тис. грн.

Основні результати дослідження опубліковані в наукових працях: [6, 35, 84, 119].

ВИСНОВКИ

За результатами теоретичних та експериментальних оцінок у рамках виконання дисертаційних досліджень одержано висновки, які є наукоємними, практико-орієнтованими та у сукупності значущими для підвищення рівня екологічної безпеки процесу поводження з буровими відходами за рахунок обґрунтування, розроблення та впровадження технології захисту навколишнього природного середовища у нафтовидобувній галузі промисловості. Зокрема:

1. На підставі аналізу впливу бурових відходів на навколишнє природне середовище, зокрема атмосферне повітря, підземні та поверхневі води, ґрунт, встановлено, що значного деструктивного впливу у першу чергу зазнає ґрунтова поверхня. Проаналізовано доцільність та екологічність застосування фізико-хімічного способу попереднього оброблення відходів для інтенсифікації розділення з одержанням окремих фаз.

2. Розроблена методика проведення експерименту передбачає дослідження властивостей бурових відходів до та після розділення, зокрема за показниками екологічної безпеки; встановлення закономірностей розділення відходів у центрифугі у разі інтенсифікації процесу хімічним коагулюванням та флокуванням. Запропоновано використовувати ступінь осушення твердої фази у центрифугі як показник ефективності інтенсифікації та параметрів робочого режиму осушувача.

3. На підставі оцінювання рівня екологічної безпеки бурових відходів до та після розділення встановлено, що одержана тверда фаза не становить значної небезпеки для навколишнього середовища за показниками радіоактивності та вмісту важких металів, що перебувають у межах встановлених нормативів. Коефіцієнт екологічної небезпеки твердої фази знаходиться у межах допустимого значення ($K < 1$).

4. На підставі проведених досліджень щодо визначення ефективності роботи осушувача вертикального ОВШ-950 встановлено, що обладнання

забезпечує ступінь осушення бурового шламу залежно від типу бурового розчину, що використовувався, на рівні від 51 % до 82 % для IEP Witer II та глиняно-полімерної основи відповідно. Обґрунтовано взаємозв'язок вищого ступеня осушення для зразків на глиняно-полімерній основі з реологічними властивостями та показником водовіддачі.

5. Обґрунтовано інтенсифікацію процесу розділення бурового шламу за допомогою хімічного коагулювання та флокування. Доведено, що додавання коагулянта алюміній сульфату на рівні 35 % мас. від частки механічних домішок та флокулянта хітозану на рівні 0,4 % мас. з підтриманням за рахунок додавання хлоридної кислоти слабо кислої реакції середовища (рН на рівні 5–5,5 од.) забезпечує ступінь осушення твердої фази до 95–98 %.

6. Проведено математичне моделювання процесу розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил. Одержано залежності для швидкості та глибини проникнення нафтових вуглеводнів у ґрунті. Встановлено, що у вологому ґрунті проникнення забруднювачів відбувається швидше.

7. Удосконалено технологічну схему екологічно безпечної технології утилізації бурових відходів за рахунок застосування вискоелективної центрифуги ОВШ-950 для розділення бурових відходів та інтенсифікації процесу шляхом додавання оптимальних доз коагулянта алюміній сульфату та флокулянта хітозану.

8. Оцінено еколого-економічний ефект від впровадження запропонованої технології захисту довкілля за рахунок економії на сплаті екологічного податку та збитку за засмічення ґрунтової поверхні буровими відходами, що становить 2 595,240 тис. грн. Розраховано еколого-економічну ефективність розробленої технології з урахуванням капітальних та поточних витрат на реалізацію проєкту, що складає 328,307 тис. грн.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sharif M. D. A., Nagalakshmi N. V. R., Reddy S. S., Vasanth G., Uma Sankar K. Drilling waste management and control the effects. *J Adv Chem Eng*. 2017. Vol. 7: 166. DOI: [https://doi: 10.4172/2090-4568.1000166](https://doi.org/10.4172/2090-4568.1000166).
2. Екологічна безпека нафтогазового комплексу у західному регіоні : колективна монографія / О. М. Адаменко та ін. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 384 с.
3. Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Будьоний О. П. Дослідження складу та структури бурового шламу з метою обґрунтування вибору методу його подальшої утилізації. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2014. № 2 (85). С. 172–178.
4. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96. Затверджено і введено в дію наказом Держстандарту України №89 від 29.02.1996 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vb089217-96#Text> (дата звернення: 09.06.2022).
5. Kazamias G., Zorpas A. A. Drill cuttings waste management from oil & gas exploitation industries through end-of-waste criteria in the framework of circular economy strategy. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 322. ID 129098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129098>.
6. Луценко С. В., Аблєєва І. Ю. Утилізація нафтового шламу у відцентровому полі. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Суми, 16–19 квітня 2019 р. Суми: Сумський державний університет, 2019. С. 172–173.
7. Адаменко Я. О. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2010. 2. С. 58–63.

8. Ismail A. R., Alias A. H., Sulaiman W. R. W., Jaafar M. Z., Ismail I. Drilling fluid waste management in drilling for oil and gas wellsю *Chemical Engineering Transactions*. 2017. Vol. 56. P. 1351–1356. DOI: <https://doi:10.3303/CET1756226>.

9. Про затвердження Правил розробки нафтових і газових родовищ: наказ Мінприроди України №118 від 15.03.2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0692-17#Text> (дата звернення: 21.06.2022).

10. Закон України «Про нафту і газ». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 50, ст. 262. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2665-14#Text> (дата звернення: 22.06.2022).

11. Заєць В. О., Дмитрик В. В., Дригулич П. Г., Пукіш А. В. Проблеми поводження з небезпечними відходами у нафтогазовій галузі України. *Нафтогазова галузь України*. 2017. № 1. С. 32–36.

12. Kausalya Tamalmani, Hazlina Husin. Review on Corrosion Inhibitors for Oil and Gas Corrosion Issues. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10 (10). P. 3389. DOI: <https://doi:10.3390/app10103389>.

13. Дригулич П. Г. Еколого-геологічний моніторинг забруднення довкілля об'єктами нафтогазового комплексу : автореф. дис. ...канд. геол. наук : 21.06.01. Івано-Франківськ, 2008. 19 с.

14. Плаксієв Л. В. Методологія оцінювання поверхневих вод в місцях впливу об'єктів нафтопровідного транспорту. *Науково-технічний журнал*. 2016. № 2 (14). С. 24–28.

15. Helmy Q, Kardena E. Petroleum Oil and Gas Industry Waste Treatment; Common Practice in Indonesia. *J Pet Environ Biotechnol*. 2015. Vol. 6, Issue 5. ID 241. DOI: <https://doi:10.4172/2157-7463.1000241>.

16. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст. 546 Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 05.07.2022).

17. Аблєєва І. Ю., Лук'яненко Є. В., Янченко І. О., Луценко С. В. Технології захисту гідросфери від нафти та нафтопродуктів. *Галузеві проблеми*

екологічної безпеки – 2021 : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих вчених, м. Харків, 27 жовтня 2021 р. Харків : ХНАДУ, 2021. С. 34-36.

18. Вдовенко С. В. Розроблення комплексу ресурсощадних заходів раціонального використання вуглеводнів на нафтопереробних заводах. Дис. канд. техн. наук : 05.17.07. Київ. 2016, 163 с.

19. Звіт з Оцінки впливу на довкілля планової діяльності зі спорудження свердловини №280 Гнідинцівського родовища. Реєстраційний номер 20187121225. ПрАТ “Галс-К” 2018, 193 с.

20. Звіт з Оцінки впливу на довкілля Спорудження та облаштування розвідувальної свердловини №716 Пролетарського НГКР для розвідки покладів вуглеводнів з її підключенням до тимчасової замірно-сепараційної установки (ТЗСУ) Пролетарського НГКР, видобуток вуглеводнів 07-08/20-ОВД. Реєстраційний номер 20208206466. ТОВ “Ромірет”. Полтава, 2020. С. 231 URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/602/f7d/8c0/602f7d8c0dd7b260817336.pdf> (дата звернення 09.06.2022).

21. Портал даних видобувної галузі України : вебсайт. URL: <https://eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/rodovishe/> (дата звернення: 09.06.2022).

22. Pliatsuk L. D., Ablieieva I. Yu. System approach to oil production wastewater treatment. *Water supply and wastewater disposal* : collective monograph. Lublin : Lublin University of Technology, 2018. P. 242–250.

23. Закон України “Про охорону атмосферного повітря”. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 50, ст. 678. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> (дата звернення: 11.04.2022).

24. Звіт з оцінки впливу на довкілля спорудження пошукової свердловини №3 Деркачівсько-Войтенківської площі глибиною 4900м. Реєстраційний номер 20193153108. ТОВ НТВК “Україна”. Харків, 2019. С. 225. URL:

<https://kovyagi.com/wp-content/uploads/2019/05/ovd-zuravlyna3.pdf> (дата звернення: 11.07.2021).

25. Земельний Кодекс України. Відомості Верховної Ради України, 2002, № 3-4, ст. 27. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 11.07.2021).

26. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо структури і змісту розділів ТЕО з екологічного обґрунтування кондицій для підрахунку запасів нафти і газу : наказ Державної комісії України по запасах корисних копалин №191 від 28.05.2009 р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FIN48832> (дата звернення: 11.07.2021).

27. Закон України «Про охорону земель» №962-IV від 19.06.2003 р. Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 12.07.2021).

28. Пукіш А.В. Дослідження особливостей формування фізико-хімічного складу поверхневих та підземних вод в межах нафтового родовища. *Нафтогазова галузь України*. 2017. № 2. С. 36–38.

29. Водний Кодекс України, №213/95-ВР від 06.06.1995 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 12.07.2021).

30. Яцишин Т.М. Розроблення наукових основ запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів нафтогазовидобувними об'єктами : дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.02. Івано-Франківськ. 2021, 418 с.

31. Про затвердження Правил розробки нафтових і газових родовищ : наказ Мінприроди України №118 від 15.03.2017 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0692-17#Text> (дата звернення: 14.07.2021).

32. Системний підхід до підвищення екологічної безпеки нафтовидобувних територій : монографія / Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д. Суми : Сумський державний університет, 2021. 275 с.

33. ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. 2006. 20 p.

34. ДСТУ ISO 14040:2013. Екологічне управління «Оцінювання життєвого циклу» Принципи та структура. Київ. 2014. 22 с.

35. Аблеєва І. Ю., Луценко С. В., Янченко І. О. Утилізація нафтового шламу у відцентровому полі: світовий досвід. VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2019) : збірник наукових праць, м. Вінниця, 25–27 вересня, 2019 р. Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 40.

36. Луценко С. В., Бережна І. О., Янченко І. О. Практичні аспекти покращення ефективності утилізації нафтошламів та відходів буріння. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів VI Міжнародного конгресу, м. Львів, 23–25 вересня 2020 р. Львів : Західно-Український Консалтинг Центр, ТЗОВ, 2020. С. 138.

37. Рикусова Н. І. Сучасні методи переробки та утилізації відходів буріння нафтогазових свердловин. *Екологічні науки*. 2018. №1 (20), Том 2. С. 130–135.

38. Рикусова Н. І. Вплив на навколишнє природне середовище бурових робіт та відходів буріння нафтогазових свердловин. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПИ»*. 2017. № 20 (1242). С. 98–102.

39. Берзіна С. В. Системи екологічного управління. Довідниковий посібник з впровадження міжнародних стандартів серії ISO 14000. Київ : Aiva Plus Ltd. 2009. 62 с.

40. Ablieieva I., Berezna I., Bereznyi D., Prast A. E., Geletukha G., Lutsenko S., Yanchenko I., Carraro G. Technologies for Environmental Safety Application of Digestate as Biofertilizer. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, Issue 3. P. 106–119.

41. Akhlar A., Guilayn F., Torrijos M., Battimelli A., Shamsuddin A. H., Carrère H. Correlations between the Composition of Liquid Fraction of Full-Scale

Digestates and Process Conditions. *Energies*. 2021. 14. 971. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14040971>.

42. Alan Records, Ken Sutherland Decanter Centrifuge : 1st Edition. Handbook. Elsevier Science. 2001. 421 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-856173-69-8.X5000-X>.

43. Гречко О.В. Сучасні методи термічної переробки твердих побутових відходів. *Промислова енергетика*. 2006. № 9. С. 25–29.

44. Аблєєва І. Ю. Підвищення рівня екологічної безпеки при утилізації відходів нафтогазового видобутку : дис. ... канд. техн. наук, 21.06.01. Суми. 2016. 194 с.

45. Біологічні методи охорони навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами : монографія / В. П. Шапорев та ін. Харків : НТУ «ХПІ», 2015. 216 с.

46.осушувач вертикальний шламівий ОВШ-950. Технічний опис та інструкція з експлуатації. ТОВ «Укрнафтозапчастина» : вебсайт. URL: <https://ukrnz.com.ua/produksiya/oborudovanie-dlya-neftyanyh-i-gazovyh-skvazhin-dobychi-nefti-i-gaza/osushitel-vertikalnyj-shlamovyj-ovsh-950/> (дата звернення: 15.07.2021).

47. Шкоп А.О. Закономірності процесів розділення шламівих вод з полідисперсною твердою фазою в осаджувальних центрифугах : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08. Суми. 2017. 136 с.

48. Over 150 years of separation solutions...Thomas Broadbent & Sons Ltd. Queen Street South Huddersfield HD1 3EA England. URL: <https://www.twi-global.com/who-we-are/who-we-work-with/members-showcase/members/thomas-broadbent-and-sons-limited> (дата звернення: 22.06.2021).

49. M-S SWACO : website. URL: www.miswaco.slb.com (дата звернення: 15.07.2022).

50. Plyatsuk L., Lutsenko S. Separation of drilling waste in the centrifugal field using a tricanter. *The II International Science Conference «Issues of practice and science»*. September 27–29, 2021. London, Great Britain, 2021. P. 170-171.

51. Mechanical separation technology and separation solutions. Flottweg : website. URL: www.flottweg.com (дата звернення: 15.07.2022).

52. Gleiss M., Hammerich S., Kespe M., Nirschl H. Development of a Dynamic Process Model for the Mechanical Fluid Separation in Decanter Centrifuges. *Chem. Eng. Technol.* 2018. Vol. 41. P. 19–26. DOI: <https://doi.org/10.1002/ceat.201700113>.

53. Chatsungnoen T., Chisti Y. Oil production by six microalgae: impact of flocculants and drying on oil recovery from the biomass. *J Appl Phycol.* 2016. Vol. 28. P. 2697–2705. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0823-6>.

54. Tawan Chatsungnoen, Yusuf Chisti Chapter 11 – Flocculation and electroflocculation for algal biomass recovery. *Biofuels from Algae* (Second Edition), Elsevier. 2019. P. 257–286. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64192-2.00011-1>.

55. Lucie Van Haver, Sasi Nayar Polyelectrolyte flocculants in harvesting microalgal biomass for food and feed applications. *Algal Research.* 2017. Vol 24, Part A. P. 167–180. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.03.022>.

56. Loganathan P., Gradzielski M., Bustamante H., Vigneswaran S. Progress, challenges, and opportunities in enhancing NOM flocculation using chemically modified chitosan: A review towards future development. *Environmental Science: Water Research and Technology.* 2020. Vol. 6. P. 45–61. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9EW00596J>.

57. Shuanglei Peng, Guancheng Jiang, Xinliang Li, Lili Yang, Fan Liu, Yinbo He Flocculation of submicron particles in water-based drilling fluids by CMC-g-DMDAAC. *Journal of Petroleum Science and Engineering.* 2018. Vol. 162. P. 55–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.12.036>.

58. Popovic, A., Hai, T., Tchigvintsev, A. et al. Activity screening of environmental metagenomic libraries reveals novel carboxylesterase families. *Sci Rep.* 2017. Vol. 7. Paper ID 44103. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep44103>.

59. Popović V., Mihailović V., Vasiljević S., Kiproovski B., Rajičić V., Tabaković M., Zorić L. Š., Tatić M. Seed quality of the facelia-variety NS Priora grown in Serbia // *VIII International Scientific Agriculture Symposium "Agrosym 2017"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2017. P. 974-981.

60. Li Feng, Kunyu Zhong, Wen Zhou, Jiajun Liu, Bingzhi Liu, Wanying Wang, Huaili Zheng, Synthesis of a chitosan-based flocculant CS-g-P(AM-IA-AATPAC) and evaluation of its performance on Ni²⁺ removal: Role of chelating-coordination and flocculation. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* Vol. 11, Issue 1. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.109138>.

61. Alexander Malkin, Avraam Isayev Rheology: Concepts, methods, and applications : 2nd Edition. ChemTec Publishing 2011. P. 528. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-04626-4>.

62. Полутренко М.С., Богославец В.В., Волошин Ю.Д. Дослідження поверхневих і реологічних властивостей безглинистого біополімерного бурового розчину, обробленого поверхнево-активною речовиною М-1. *Нафтогазова енергетика.* 2021. 1 (35). С. 91-97. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2021-1\(35\)-91-97](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2021-1(35)-91-97).

63. Рикусова Н.І. Підвищення екологічної безпеки газовидобування шляхом очищення та утилізації рідких відходів буріння : дис. ... докт. філософії : 101 – екологія. Харків, 2021. С. 172.

64. Shestopalov O., Rykusova N., Hetta O., Ananieva V., Chynchyk O. Revealing patterns in the aggregation and deposition kinetics of the solid phase in drilling wastewater. *Eastern-European journal of enterprise technologies.* 2019. 1/10 (97). P. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157242>.

65. Мислюк М. А. Реодинаміка у технологіях буріння свердловин. *Наука та інновації.* 2005. Т. 1. № 5. С. 77–86.

66. Ablieieva I., Plyatsuk L., Yanchenko I., Zinchenko V., Berezna I., Lutsenko S., Prast A. E. Assessment of environmental safety of solid phase of drilling sludge after centrifusion separation. *Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»*. 2020. Vol. 8 (2/2020). P. 3–11.

67. Аблеєва 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*. 2020. 108. С. 3–9.

68. Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т. / В. С. Білецький та ін. Донецьк : Східний видавничий дім, 2004. Т. 3. 752 с.

69. Кодекс України «Про надра»/ Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1994, № 36, ст. 340. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 23.07.2022).

70. Грищенко О.Л. Звіт з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності Семиренківського газоконденсатного родовища. Реєстраційний номер справи про оцінку впливу на довкілля планованої діяльності 20187111203. 2018. С. 132.

71. Висновок оцінки впливу на довкілля ПрАТ «Нафтогазвидобування» № 21/01-20217218280/1 від 22.11.2021р. URL: <https://machtg.gov.ua/zvit-po-provedennju-sposterezhen-za-stanom-navkolishnogo-prirodnogo-seredovischa-v-mezhah-zoni-mozhlivogo-vplivu-sverdlovini-%E2%84%96-71-machuhsk-14-31-26-18/> (дата звернення: 24.06.2022).

72. Звіт НАК «Надра України» по проведенню спостережень за станом навколишнього природного середовища в межах зони можливого впливу свердловини № 71 Мачухського газоконденсатного родовища (згідно висновку оцінки впливу на довкілля № 21/01-20217218280/1 від 22.11.2021 р. URL: https://rada.info/upload/users_files/21046808/d6a501e3a936ea940df77c6fb5ca48d2.pdf (дата звернення: 24.06.2022).

73. Witer II – інвертний емульсійний буровий розчин. ТОВ «Геосинтез інженірінг»: вебсайт. URL: <http://gse.ua/produksiya/sistemi-promivalnikh->

ridin/272-witer-ii-invertnij-emulsijnij-burovij-rozchin.html (дата звернення: 24.06.2022).

74. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Київ. 2010. 34 с.

75. ДСТУ ISO 11465-2001. Якість ґрунту. Визначання сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод. Київ. 2002. 5 с.

76. Discovery Hybrid Rheometer : Getting Started Guide. TA Instruments – Waters. 2014. 58 р. URL: <http://www.ifug.ugto.mx/~labblanda/manuales/Content/Resources/PDF%20Files/DH R%20Getting%20Started%20Guide.pdf> (дата звернення: 12.06.2022).

77. Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П»: керівництво щодо експлуатування ВІСТ.412129.012 КЕ. Львів : ПП «НПЧП» Спаринг-Віст Центр», 2008. 55 с. URL: <http://ecotest.ua/wp-content/uploads/2014/09/Terra-P-Kerivnitstvo-shhodo-ekspluatuvannya1.pdf> (дата звернення: 12.06.2022).

78. ДСТУ 4770.2:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук цинку в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Харків. 2009.

79. ДСТУ 4770.4:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук заліза в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Харків. 2009.

80. ДСТУ 4770.6:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Харків. 2009.

81. ДСТУ 4770.7:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук нікелю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Харків. 2009.

82. ДСТУ 4770.8:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук хрому в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Харків. 2009.

83. Chun-Yang Yin Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*. Vol. 45, Issue 9. 2010. P. 1437-1444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>.

84. Луценко С. В., Аблеєва І. Ю., Пляцук Л. Д. Інтенсифікація та посилення показника ефективності розділення бурових шламів у полі дії відцентрових сил. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Суми, 20–23 квітня 2021 р. Суми : Сумський державний університет, 2021. С. 136.

85. Lee D. Wilson PhD. An Overview of Coagulation-Flocculation Technology // *Water Conditioning & Purification Magazine*. URL: <https://wcponline.com/2014/04/17/overview-coagulation-flocculation-technology/> (дата звернення: 13.06.2022).

86. Yanjun Liu 1, Junjie Jia 1, Huifeng Zhang, Shujuan Sun Enhanced Cr(VI) stabilization in soil by chitosan/bentonite composites *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 238, 15 June 2022, 113573 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113573>.

87. Flocculation treatment / Sludge drying, Recycling drying. Kenki Dryer : website. URL: <https://kenkidryer.com/2020/05/10/flocculation-treatment/> (дата звернення: 14.06.2022).

88. Chee Yang Teh, Pretty Mori Budiman, Katrina Pui Yee Shak, and Ta Yeong Recent Advancement of Coagulation–Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. *Wu Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2016. 55 (16). P. 4363-4389 DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04703>.

89. Shuanglei Peng, Guancheng Jiang, Xinliang Li, Lili Yang, Fan Liu, Yinbo He Flocculation of submicron particles in water-based drilling fluids by CMC-g-DMDAAC. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2018. Vol. 162. P. 55-62/ DOI: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.12.036>.

90. Li Feng, Kunyu Zhong, Wen Zhou, Jiajun Liu, Bingzhi Liu, Wanying Wang, Huaili Zheng, Synthesis of a chitosan-based flocculant CS-g-P(AM-IA-AATPAC) and

evaluation of its performance on Ni²⁺ removal: Role of chelating-coordination and flocculation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol. 11, Issue 1. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.109138>.

91. Yanjun Liu, Junjie Jia, Huifeng Zhang, Shujuan Sun Enhanced Cr(VI) stabilization in soil by chitosan/bentonite composites. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. Vol. 238. 113573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113573>.

92. Ang T-H, Kiatkittipong K, Kiatkittipong W, Chua S-C, Lim JW, Show P-L, Bashir MJK, Ho Y-C. Insight on Extraction and Characterisation of Biopolymers as the Green Coagulants for Microalgae Harvesting. *Water*. 2020; 12(5):1388. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051388>.

93. Луценко С. В., Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д. Аналіз фазового складу відходів буріння для обґрунтування екологічно безпечної технології утилізації. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції, м. Суми, 21–24 квітня 2020 р. Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 158.

94. Луценко С.В., Пляцук Л.Д., Аблєєва І.Ю. Визначення екологічної безпеки бурового шламу залежно від глибини буріння. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування* : матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції молодих вчених, м. Харків, 25–26 листопада 2021 р. Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2021. С. 172-173.

95. An Hiroshi Nogami, Jun-ichiro Yagi An Application of Bingham Model to Viscous Fluid Modeling of Solid Flow in Moving Bed. *ISIJ International*. 2004. Vol. 44, Issue 11. P. 1826-1834. DOI: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.44.1826>.

96. Луценко С.В., Аблєєва І.Ю., Пляцук Л.Д., Янченко І.О. Підвищення ефективності розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил з використанням температурного впливу. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів 6-го Міжнародного молодіжного

конгресу, м. Львів, 9-10 лютого 2021 р. Львів: Західно-Український Консалтинг Центр, ТзОВ, 2021. С. 149.

97. Hu K., Zhao Q.-L., Chen W., Tang, F. Preparation of an Aluminum and Iron-Based Coagulant From Fly Ash for Industrial Wastewater Treatment. *Clean – Soil, Air, Water*. 2017. 45. 1600437. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201600437>.

98. Bayes factor inference on pairwise correlations. IBM : вебсайт. URL: <https://www.ibm.com/docs/en/spss-statistics/saas?topic=hire-bayes-factor-inference-pairwise-correlations> (дата звернення: 16.06.2022).

99. Mike Billeaud Rotary Vacuum Dryer Technology. Paper on *Drilling Fluids Conference American Association of Drilling Engineers*, Texas, April 6-7, 2004, AADE-04-DF-HO-26. URL: <https://www.aade.org/application/files/6015/7295/4814/AADE-04-DF-HO-26.pdf> (дата звернення: 16.06.2022).

100. Wallace W.-F. Leung Torque requirement for high-solids centrifugal sludge dewatering. *Filtration & Separation*. 1998. Vol. 35, Issue 9. P. 883-887. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(98\)80050-5](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(98)80050-5).

101. ZHU Mingjun, HU Dapeng Design analysis of three-phase decanter centrifuge and influence research of structural parameters on separation effect. *CIESC Journal*. 2021. Vol. 72, Issue (4). P. 2113-2122. doi: 10.11949/0438-1157.20201079.

102. Wallace Woon-Fong Leung 9 - Selection and Sizing of Centrifuges. *Centrifugal Separations in Biotechnology*. Academic Press. 2007. P. 165-188. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-185617477-0/50009-4>.

103. Letki A.G. Preparative Centrifugation. II / *CENTRIFUGATION / Theory of Centrifugation*. 2000. P. 336-342.

104. Ambler C.M.. The theory of scaling up laboratory data for the sedimentation type centrifuge. *Journal of Biochemical and Microbiological Technology and Engineering*. 1959. 1. P. 185-205. DOI: <https://doi.org/10.1002/JBMTE.390010206>.

105. A. Fritsch Preparative density gradient centrifugations. Beckman Instruments International S.A Geneva 1975. P 24, URL:

http://www.icb.usp.br/~cewinter/centrifugation/Centrifugation_1.pdf (дата звернення: 18.06.2022).

106. Zeki Berk Centrifugation Food Science and Technology (Second Edition) 2013, Pages 241-257 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415923-5.00009-5> (дата звернення: 18.06.2022).

107. Stahl S., Spelter L.E, Nirschl H., Investigations on the Separation Efficiency of Tubular Bowl Centrifuges. *Chem. Eng. Technol.* 2008. 31. P. 1577-1583. DOI: <https://doi.org/10.1002/ceat.200800300>.

108. Stickland A.D., White L.R., Scales P.J. Modeling of solid-bowl batch centrifugation of flocculated suspensions. *AIChE J.* 2006. 52. P. 1351-1362. DOI: <https://doi.org/10.1002/aic.10746>.

109. Kynch G.J. A Theory of Sedimentation. *Transactions of the Faraday Society.* 1952. 48. P. 166-176. DOI: <https://doi.org/10.1039/tf9524800166>.

110. Gleiss M., Nirschl H. Modeling Separation Processes in Decanter Centrifuges by Considering the Sediment Build-Up. *Chem. Eng. Technol.* 2015. 38. P. 1873-1882. DOI: <https://doi.org/10.1002/ceat.201500037>.

111. David R., Vasel J.-L., Wouwer A. Settler dynamic modeling and MATLAB simulation of the activated sludge process. *Chemical Engineering Journal.* 2009. 146. P. 174–183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.05.038>.

112. Joachim Werther , Stefan Heinrich, Maksym Dosta, Ernst-Ulrich Hartge The ultimate goal of modeling—Simulation of system and plant performance. *Particuology.* 2011. 9. P. 320–329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2011.03.006>.

113. Baust H.K., Hammerich S., König H., Nirschl H., Gleib M. A Resolved Simulation Approach to Investigate the Separation Behavior in Solid Bowl Centrifuges Using Material Functions. *Separations.* 2022. Vol. 9. 248. P. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/separations9090248>.

114. Amirante R., Catalano P. Fluid dynamic analysis of the solid-liquid separation process by centrifugation *Journal of Agricultural Engineering Research.*

January 2000. Vol. 77 (2). P. 193-201: Politecnico di Bari Università. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0586>.

115. Lester Daniel R. Estimation of the hindered settling function $R(\phi)$ from batch-settling tests. *Aiche Journal*. 2005. 51. P. 1158-1168. DOI: <https://doi.org/10.1002/aic.10333>.

116. Erick R. Burns, Maria I. Dragila, John S. Selker, Ronald B. Guenther, Jean-Yves Parlange, Noam Weisbrod Correction of the Buckingham–Darcy Law for flow of high strength salts in variably saturated porous media. *Advances in Water Resources*. 2007. Vol. 30, Issue 3. P. 469-482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2006.04.010>.

117. Dalila Titouna, Saadi Bougoul Resolution of the Richards Equation for the Water Transport in a Growing Substrate. *Energy Procedia*. 2013. Vol. 36. P. 915-922. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.105>.

118. Ablieieva I, Plyatsuk L, Roi I, Chekh O, Gabbassova S, Zaitseva K, Lutsenko S. Study of the oil geopermeation patterns: A case study of ANSYS CFX software application for computer modeling. *J Environ Manage*. 2021. Vol. 1. 287. Paper ID 112347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112347>.

119. Спосіб розділення відходів буріння нафтових свердловин з подальшою утилізацією окремих фракцій : пат. 146525 Україна / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук, С. В. Луценко, І. О. Янченко. № 202006531; заявл. 09.10.20; опубл. 24.02.21, Бюл. № 8. 6 с.

120. Chang M, Ma X, Dong X, Fan Y, Chen R. The Synergistic Effects of Al^{3+} and Chitosan on the Solid–Liquid Separation of Coal Wastewater and Their Mechanism of Action. *Polymers*. 2022. Vol. 14 (19). 3970. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14193970>.

121. Тарифи. ТОВ «Енера» : вебсайт. URL: <https://sm.enera.ua/el/tariff> (дата звернення: 23.06.2022).

122. Податковий Кодекс України. Київ : Вісник Державної Фіскальної служби України, 2016. 336 с.

123. Закон України «Про відходи» Втрата чинності, відбудеться 09.07.2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 25.06.2022).

124. Закон України «Про управління відходами». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 25.06.2022).

125. Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України №167 від 04.04.2022 р. UR: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text> (дата звернення: 26.06.2022).

126. Закон України “Про оцінку впливу на довкілля”. Відомості Верховної Ради. 2017. 29. Ст. 315. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 28.06.2022).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**Статті у фахових наукових виданнях із переліку МОН України**

1. Ablieieva I., Plyatsuk L., Yanchenko I., Zinchenko V., Berezna I., Lutsenko S., Prast A. E. Assessment of environmental safety of solid phase of drilling sludge after centrifusion separation. *Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»*. 2020. Vol. 8(2/2020). P. 3–11.

Здобувач поставив експеримент та провів дослідження хімічного і фазового складу бурових відходів, що дозволило оцінити рівень екологічної безпеки твердої фази.

2. 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.

Здобувач спланував експеримент, розробив методіку дослідження ступеня очушення бурового шламу, провів статистичну обробку результатів щодо розділення бурового шламу в центрифuzі та ступеня його осушення.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, які індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science

3. Ablieieva I., Plyatsuk L., Roi I., Chekh O., Gabbassova S., Zaitseva K., Lutsenko S. Study of the oil geopermeation patterns: a case study of ANSYS CFX software application for computer modeling. *Journal of Environmental Management*. 2021. Volume 287. P. 112347. (Web of Science, Scopus, Q1)

Здобувач адаптував залежність проникнення нафти через ґрунт як пористе середовище для встановлення рівня забруднення ґрунту у результаті витоків з шламових амбарів та розрахунку збитку для навколишнього середовища.

4. Ablieieva I., Berezhna I., Berezhnyi D., Prast A. E., Geletukha G., Lutsenko S., Yanchenko I., Carraro G. Technologies for Environmental Safety Application of Digestate as Biofertilizer. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, Issue 3. P. 106–119. **(Scopus)**

Здобувач провів критичний аналіз методів інтенсифікації розділення шламів у шнекових центрифугах та декантерах, розробив модель сепарації та обґрунтував ефективність застосування центрифуг для осушення шламів.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Луценко С.В., Аблеєва І. Ю. Утилізація нафтового шламу у відцентровому полі. *Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції* (Суми, 16–19 квітня 2019 р.). Суми: Сумський державний університет, 2019. С. 172–173.

6. Аблеєва І.Ю., Луценко С.В., Янченко І.О. Утилізація нафтового шламу у відцентровому полі: світовий досвід. *VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* (Екологія/Ecology–2019) : збірник наукових праць (Вінниця, 25–27 вересня, 2019 р.). Вінниця: ВНТУ, 2019. С. 40.

7. Луценко С.В., Аблеєва І.Ю., Пляцук Л.Д. Аналіз фазового складу відходів буріння для обґрунтування екологічно безпечної технології утилізації. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.). Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 158.

8. Луценко С. В., Бережна І. О., Янченко І. О. Практичні аспекти покращення ефективності утилізації нафтошламів та відходів буріння. *Сталий*

розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : збірник матеріалів VI Міжнародного конгресу (Львів, 23–25 вересня 2020 р.). Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2020. С. 138.

9. Луценко С.В., Аблєєва І.Ю., Пляцук Л.Д., Янченко І.О. Підвищення ефективності розділення бурового шламу у полі дії відцентрових сил з використанням температурного впливу. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів 6-го Міжнародного молодіжного конгресу (Львів, 9-10 лютого 2021). Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. С. 149.

10. Луценко С.В., Аблєєва І.Ю., Пляцук Л.Д. Інтенсифікація та посилення показника ефективності розділення бурових шламів у полі дії відцентрових сил. *Сучасні технології у промисловому виробництві* : матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 20–23 квітня 2021 р.). Суми : Сумський державний університет, 2021. С. 136.

11. Plyatsuk L., Lutsenko S. Separation of drilling waste in the centrifugal field using a tricanter. *The II International Science Conference «Issues of practice and science»* (September 27–29, 2021). London, Great Britain, 2021. P. 170-171.

12. Аблєєва І.Ю., Лук'яненко Є.В., Янченко І.О., Луценко С.В. Технології захисту гідросфери від нафти та нафтопродуктів. *Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2021*: збірка матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих вчених (Харків, 27 жовтня 2021 р.). Харків: ХНАДУ, 2021. С. 34-36.

13. Луценко С.В., Пляцук Л.Д., Аблєєва І.Ю. Визначення екологічної безпеки бурового шламу залежно від глибини буріння. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування*: матеріали IX Міжнародної наукової конференції молодих вчених (Харків, 25–26 листопада 2021 р.). Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2021. С. 172-173.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

14. Спосіб розділення відходів буріння нафтових свердловин з подальшою утилізацією окремих фракцій / Аблєєва І. Ю., Пляцук Л. Д., Луценко С. В., Янченко І. О. Пат. 146525 Україна, МПК (2019.01) C02F 11/12; заявник та патентовласник Сумський державний університет. – № u202006531; заявл. 09.10.2020; опубл. 24.02.2021, бюл. № 8. – 4 с.

Додаток Б

Спектрограми зразків бурового шламу

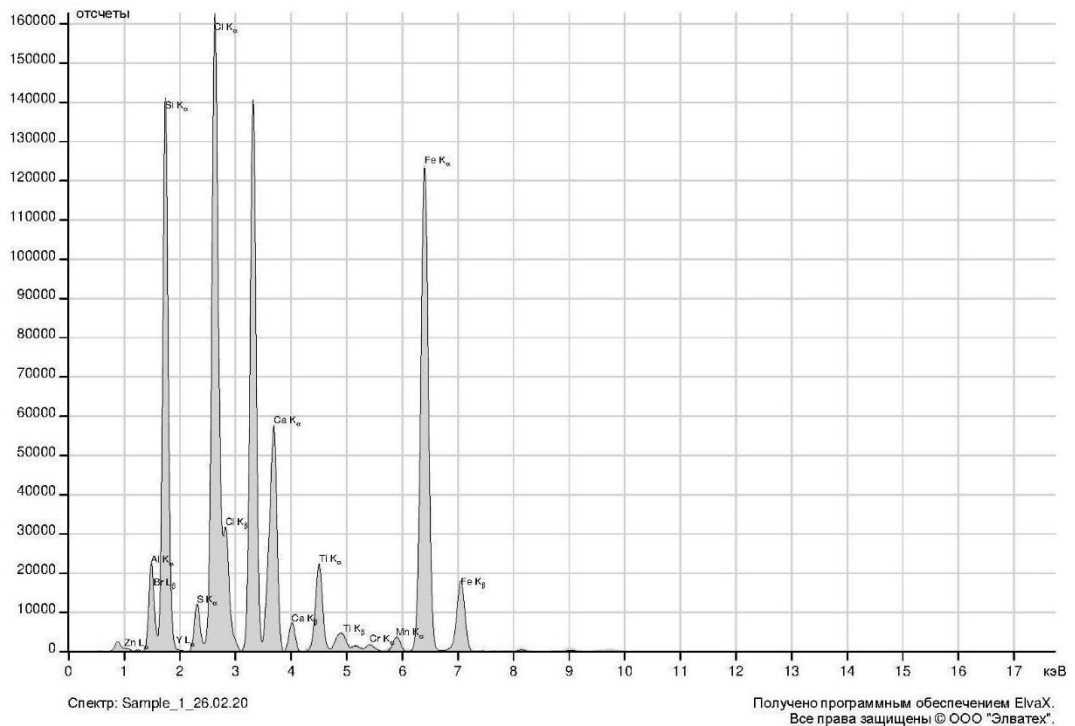


Рисунок Б.1 – Спектрограмма бурового шламу зразка №1

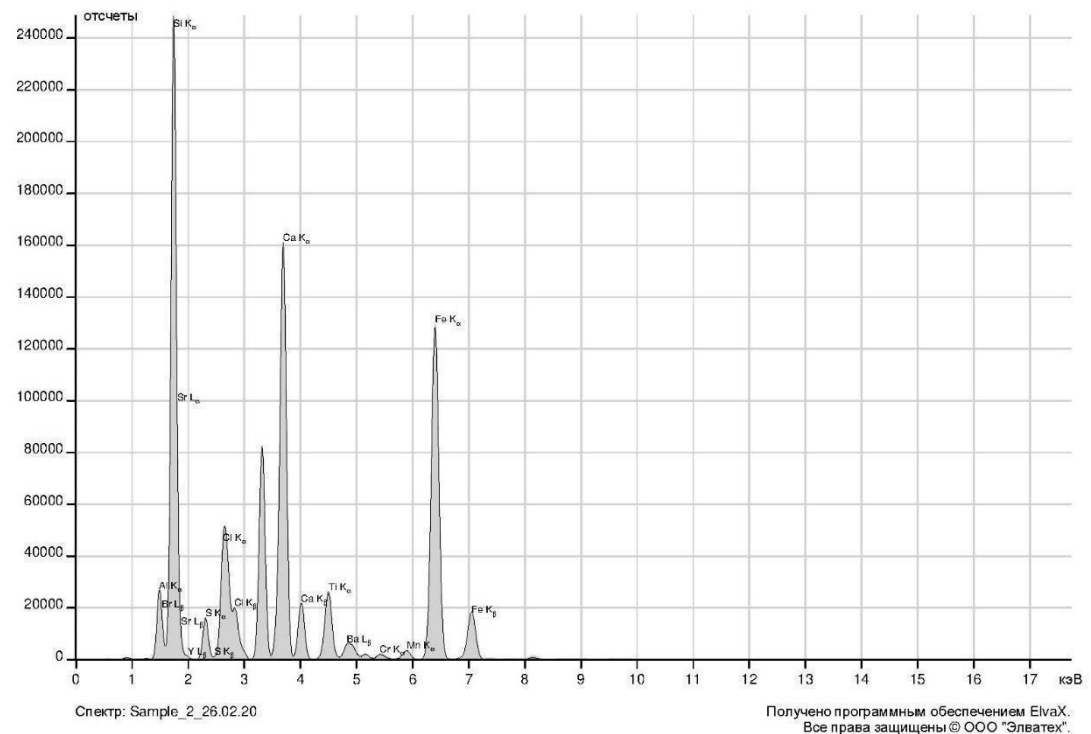


Рисунок Б.2 – Спектрограмма бурового шламу зразка №2

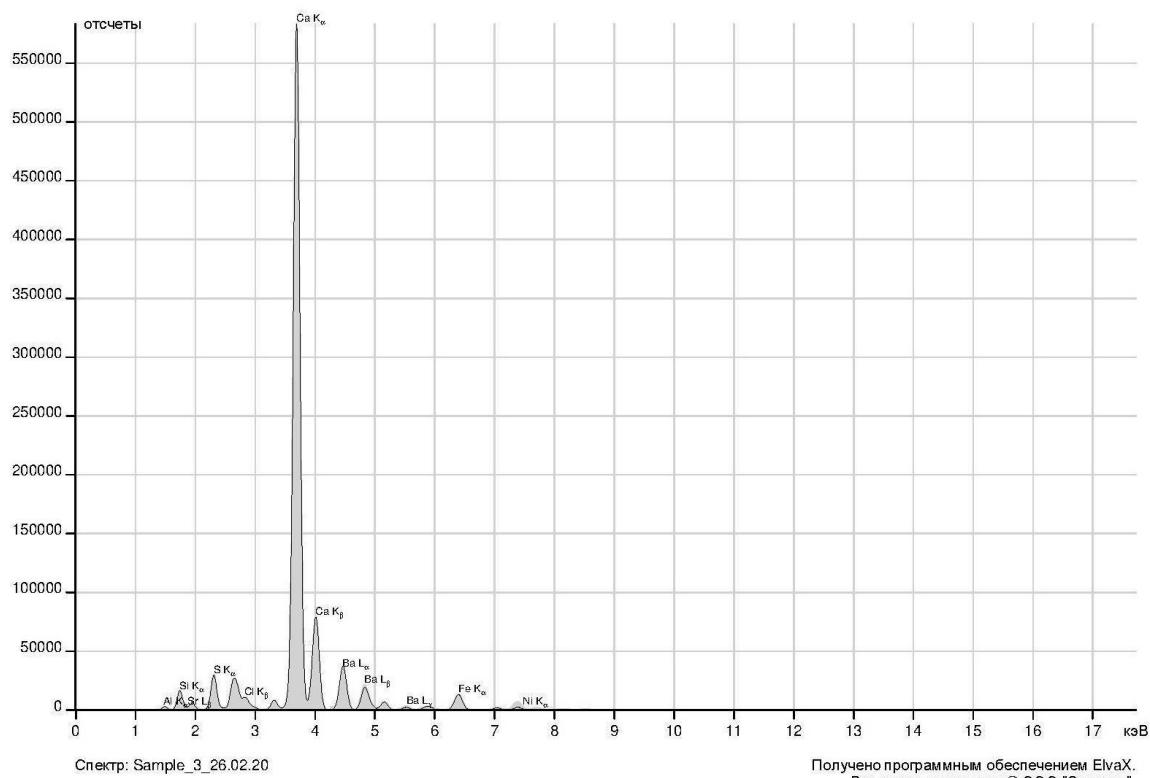


Рисунок Б.3 – Спектрограмма бурового шлама зразка №3

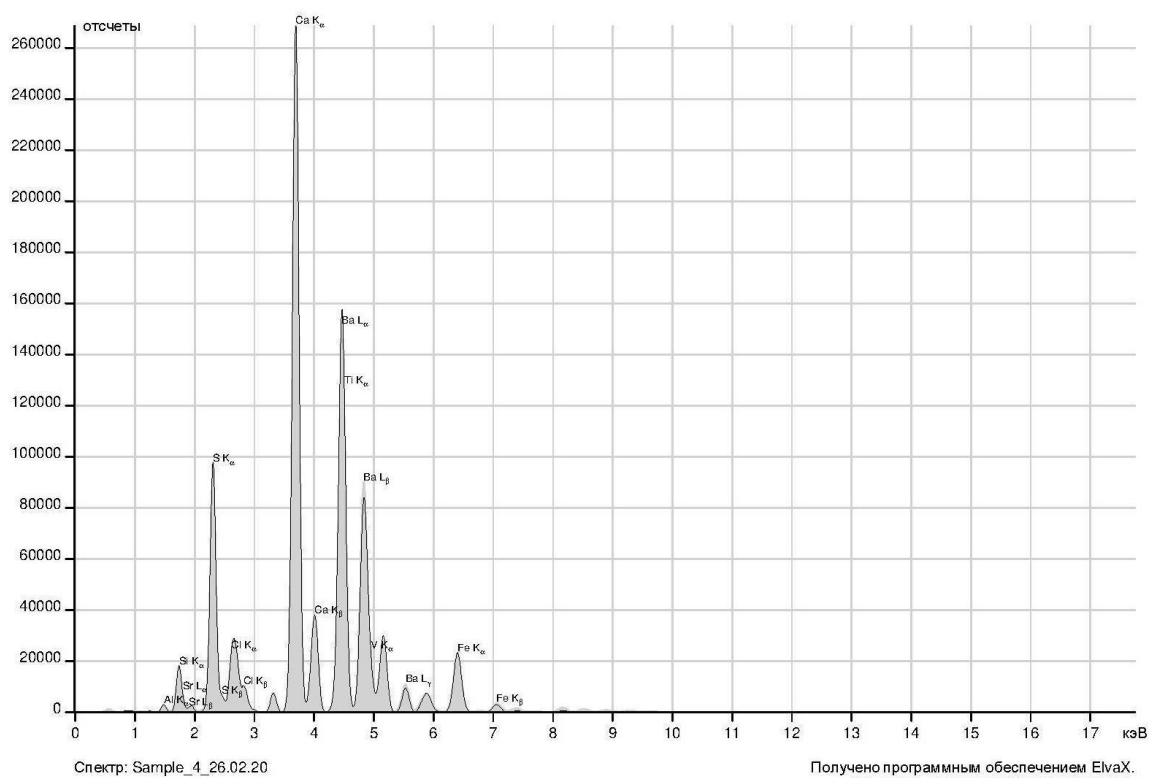


Рисунок Б.4 – Спектрограмма бурового шлама зразка №4

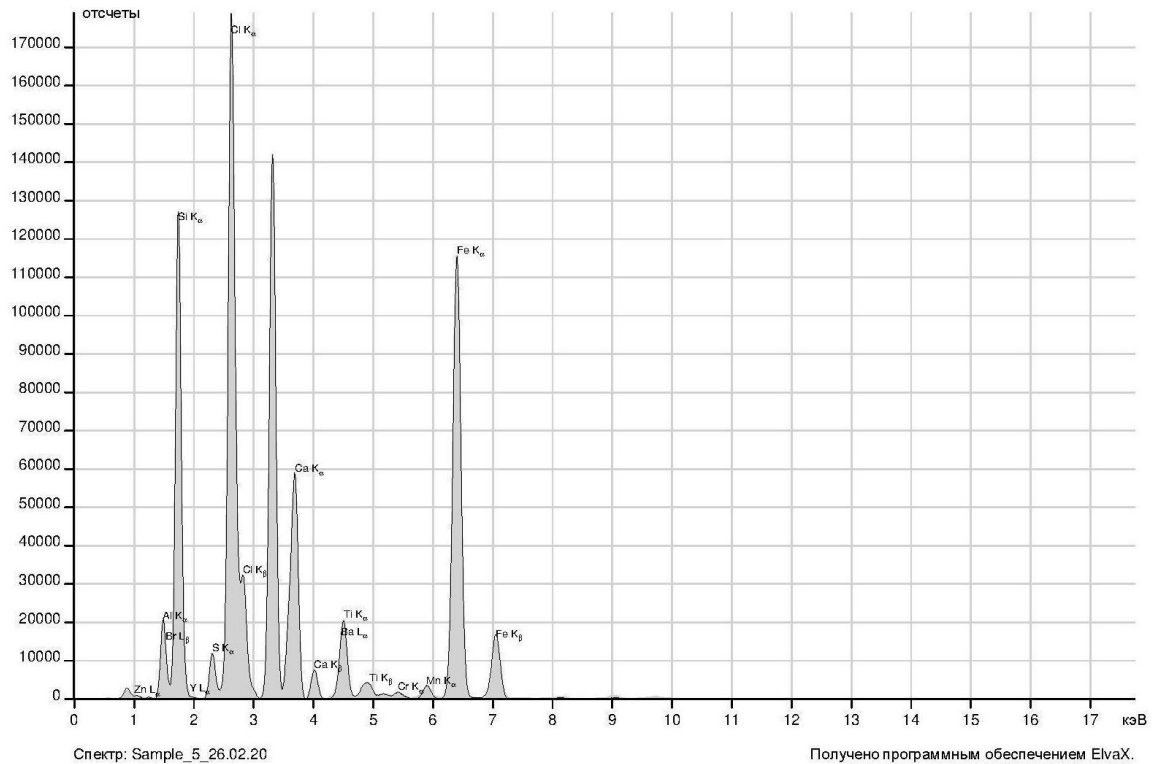


Рисунок Б.5 – Спектрограмма бурового шлама зразка №5

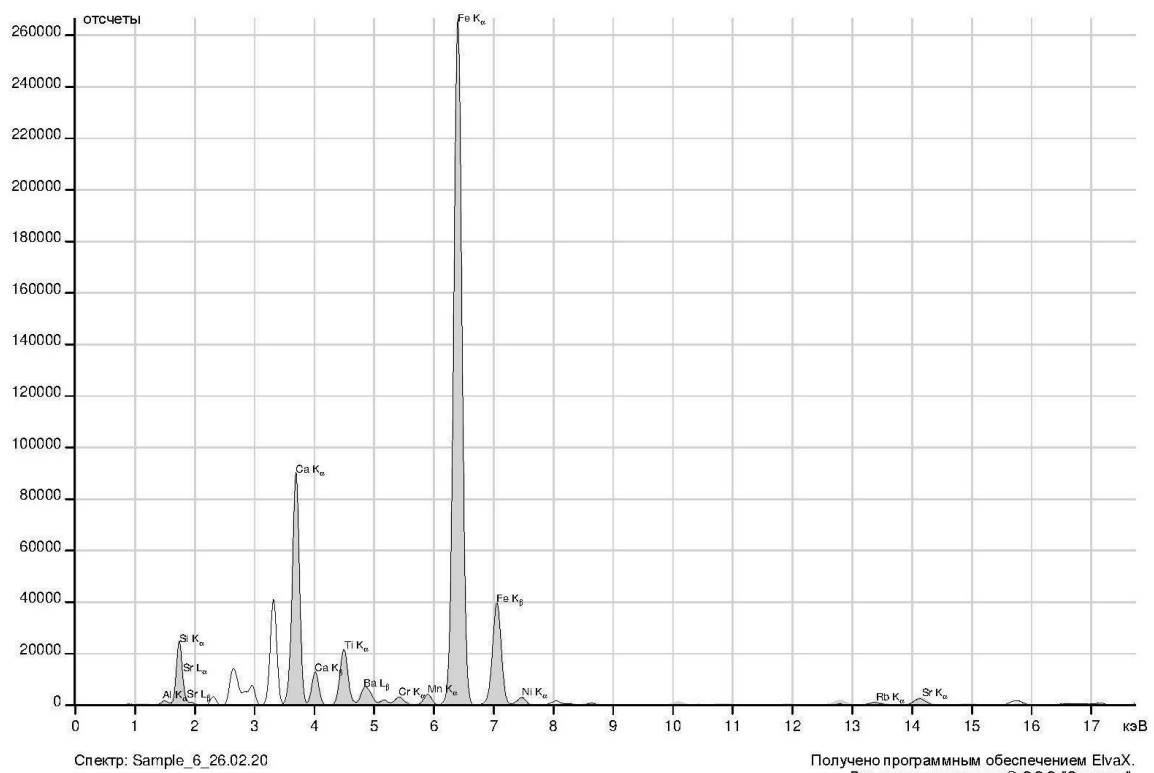


Рисунок Б.6 – Спектрограмма бурового шлама зразка №6

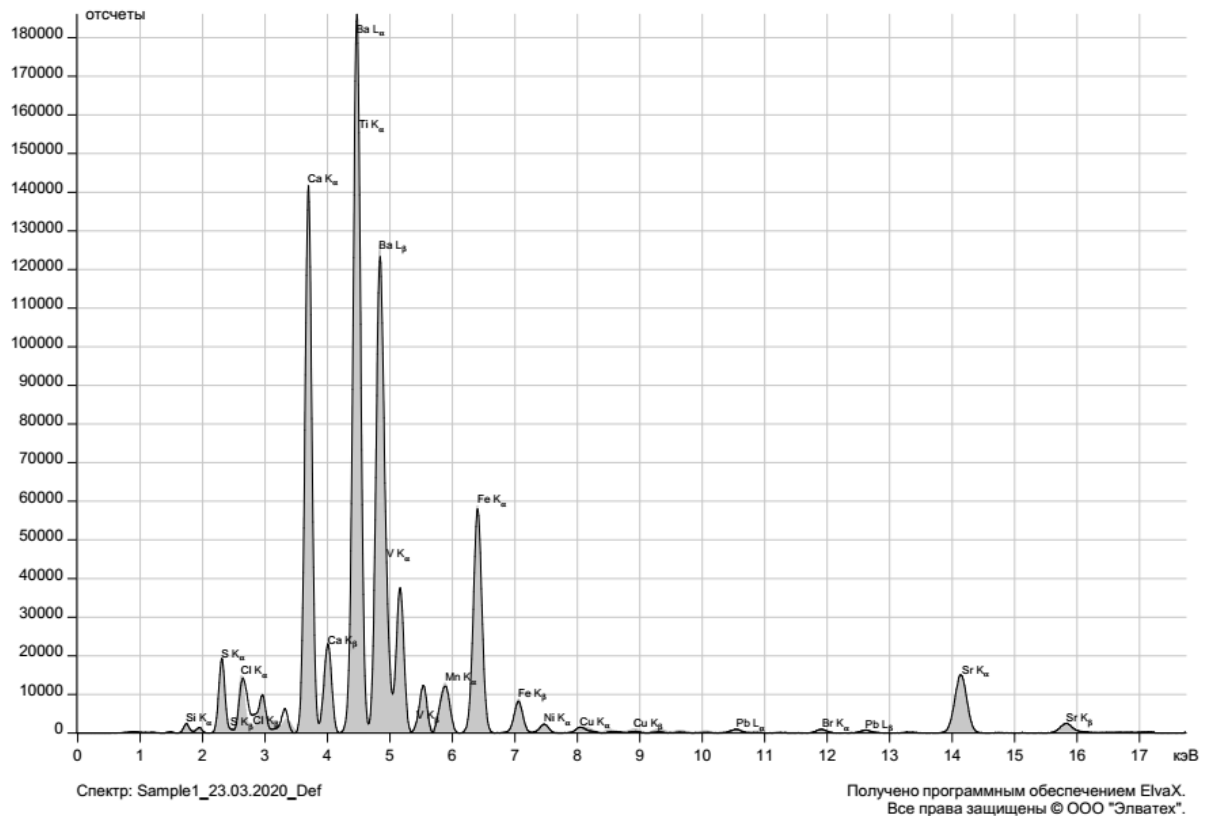


Рисунок Б.7 – Спектрограмма бурового шлама зразка №7

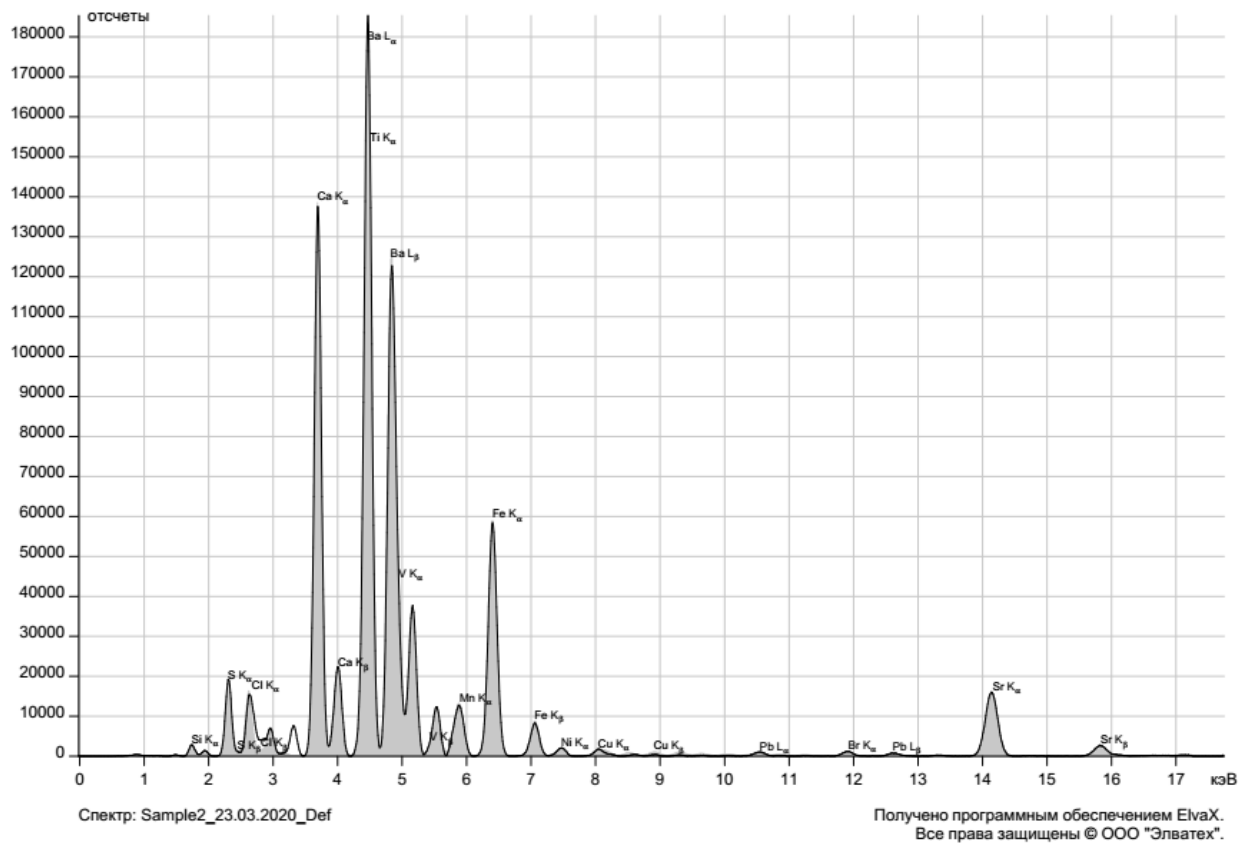


Рисунок Б.8 – Спектрограмма бурового шлама зразка №8

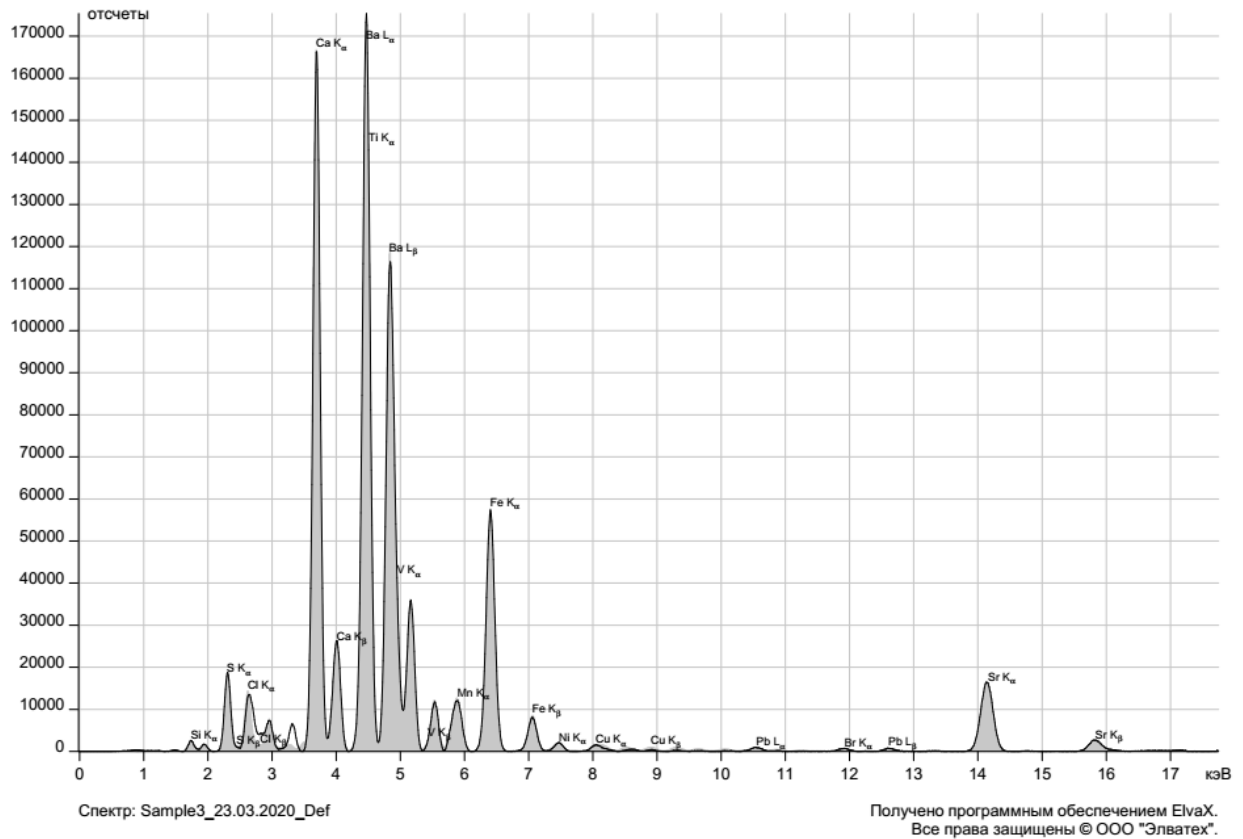


Рисунок Б.9 – Спектрограмма бурового шлама зразка №9

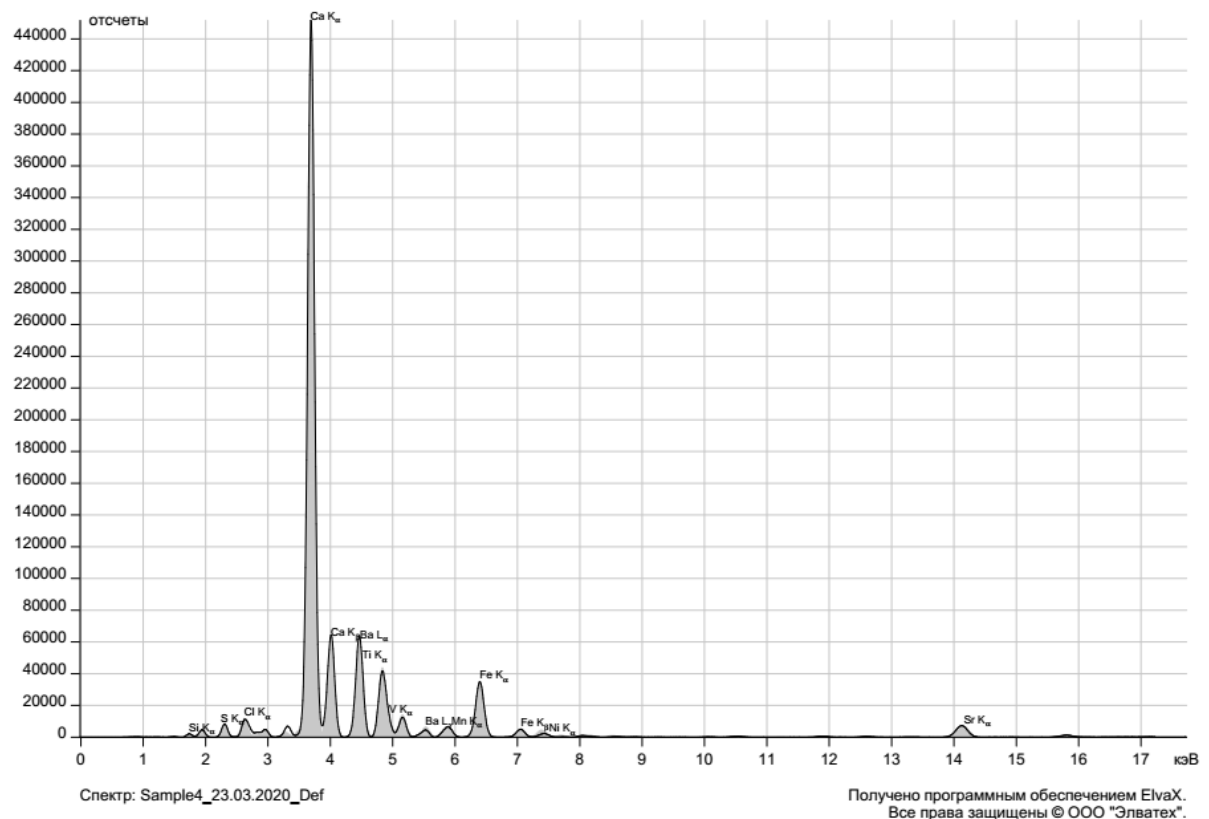


Рисунок Б.10 – Спектрограмма бурового шлама зразка №10



Рисунок Б.11 – Процес визначення радіоактивності зразків бурового шлангу



Рисунок Б.12 – Визначення показника вологості та радіоактивності зразків відходів буріння

Додаток В
Дифрактограми зразків бурового шлангу

Таблиця В.1 – Результат фазового складу для зразку № 2

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
.	01-078-1255	65	Quartz ζ GA, syn	0.000	1.002	Si O ₂
.	00-026-0031	24	Aluminum Oxide	0.000	0.115	Al ₂ O ₃
.	00-001-0850	26	Sodium	0.000	0.034	Na

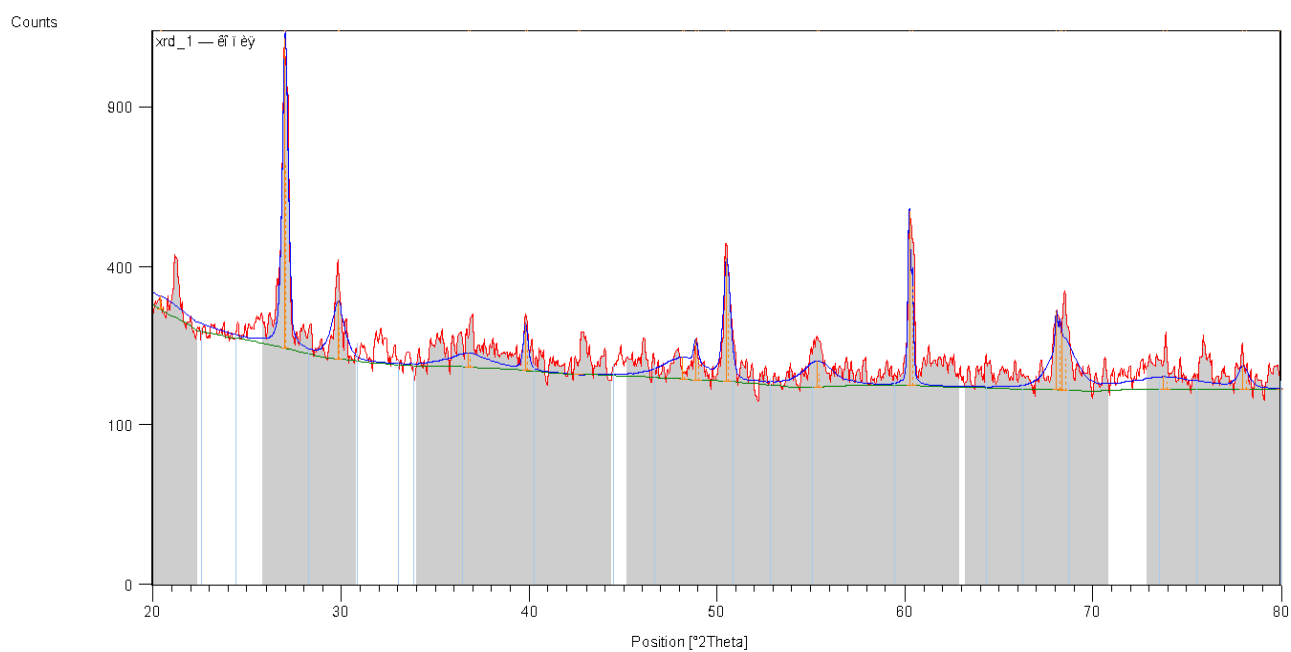


Рисунок В.1 – Вид дифрактограми для зразку № 2

Таблиця В.2 – Результат фазового складу для зразку № 3

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
.	01-081-0068	46	Silicon Oxide	0.000	0.172	Si O ₂
.	01-079-1906	29	Quartz	0.000	0.072	Si O ₂
.	00-009-0188	38	Sodium	0.000	0.035	Na

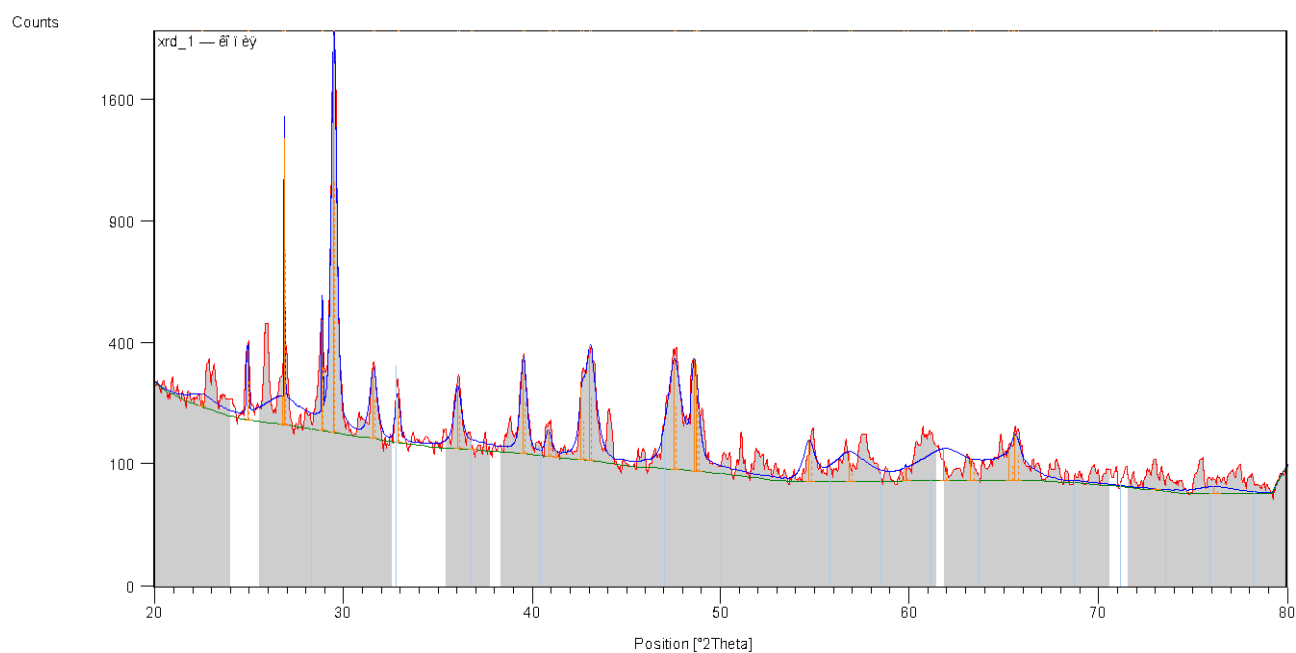


Рисунок В.2 – Вид дифрактограми для зразку №3

Додаток Г

Статистична обробка результатів експериментальних даних

Model Summary				ANOVA					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
.483	.233	.164	4.540	Regression	137.993	2	68.996	3.347	.054
				Residual	453.538	22	20.615		
				Total	591.531	24			

The independent variable is Доза коагулянта.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Доза коагулянта	.895	.385	2.603	2.324	.030
Доза коагулянта ** 2	-.013	.005	-2.779	-2.481	.021
(Constant)	75.374	6.068		12.422	<.001

Рисунок Г.1 – Коефіцієнти аналізу ANOVA залежності ступеня осушення від дози коагулянту для зразку № 1

Model Summary				ANOVA					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
.448	.201	.128	5.300	Regression	155.248	2	77.624	2.763	.085
				Residual	618.037	22	28.093		
				Total	773.285	24			

The independent variable is Доза коагулянта.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Доза коагулянта	.816	.450	2.074	1.813	.083
Доза коагулянта ** 2	-.013	.006	-2.330	-2.037	.054
(Constant)	77.387	7.083		10.926	<.001

Рисунок Г.2 – Коефіцієнти аналізу ANOVA залежності ступеня осушення від дози коагулянту для зразку № 5

Продовження Додатку Г

Model Summary				ANOVA					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
.395	.156	.080	5.478	Regression	122.401	2	61.200	2.039	.154
				Residual	660.239	22	30.011		
				Total	782.640	24			

The independent variable is Доза коагулянта.

The independent variable is Доза коагулянта.

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Доза коагулянта	.826	.465	2.088	1.777	.089
Доза коагулянта ** 2	-.013	.007	-2.247	-1.912	.069
(Constant)	72.880	7.321		9.955	<.001

Рисунок Г.3 – Коефіцієнти аналізу ANOVA залежності ступеня осушення від дози коагулянту для зразку № 7

Model Summary				ANOVA					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
.723	.523	.480	3.580	Regression	309.605	2	154.803	12.080	<.001
				Residual	281.925	22	12.815		
				Total	591.531	24			

The independent variable is Доза флокулянта.

The independent variable is Доза флокулянта.

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Доза флокулянта	28.084	13.083	1.633	2.147	.043
Доза флокулянта ** 2	-31.679	10.697	-2.253	-2.962	.007
(Constant)	84.614	3.434		24.643	<.001

Рисунок Г.4 – Коефіцієнти аналізу ANOVA залежності ступеня осушення від дози флокулянту для зразку № 1

Продовження Додатку Г

Model Summary				ANOVA					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
.713	.508	.463	4.158	Regression	392.886	2	196.443	11.361	<.001
				Residual	380.399	22	17.291		
				Total	773.285	24			

The independent variable is Доза флокулянта.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Доза флокулянта	29.129	15.197	1.481	1.917	.068
Доза флокулянта ** 2	-33.857	12.425	-2.106	-2.725	.012
(Constant)	84.960	3.988		21.302	<.001

Рисунок Г.5 – Коефіцієнти аналізу ANOVA залежності ступеня осушення від дози флокулянту для зразку № 5

Model Summary				ANOVA					
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
.681	.464	.415	4.366	Regression	363.268	2	181.634	9.528	.001
				Residual	419.371	22	19.062		
				Total	782.640	24			

The independent variable is Доза флокулянта.

Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
Доза флокулянта	33.031	15.957	1.670	2.070	.050
Доза флокулянта ** 2	-36.196	13.046	-2.238	-2.775	.011
(Constant)	80.062	4.188		19.118	<.001

Рисунок Г.6 – Коефіцієнти аналізу ANOVA залежності ступеня осушення від дози флокулянту для зразку № 7

Додаток Д



Рисунок Д.1 – Патент на корисну модель №146525 “Спосіб розділення відходів буріння нафтових свердловин з подальшою утилізацією окремих фракцій”

Додаток Е

Акт впровадження на ТОВ «Укрнафтозапчастина»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ТОВ «Укрнафтозапчастина»
 Олександр ХОЛЯВКА
 20 листопада 2020 р.
 Ідентифікаційний код ліцензії 30175071
 Україна м. Суми

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
 Луценка Сергія Вікторовича
 на здобуття наукового ступеня доктора філософії
 зі спеціальності 183 – технології захисту навколишнього середовища

Цей Акт складено про те, що ТОВ «Укрнафтозапчастина» під час оцінювання та підвищення ефективності роботи осушувача ОВШ-950 використано результати дисертаційного дослідження, зокрема застосовано запропоновані Луценком С. В. методичні підходи до визначення комплексу параметрів для аналізування ступеню екологічної безпеки бурового шламу, одержаного на виході із центрифуги ОВШ-950, та визначення ефективності осушення, що дозволило:

- експериментально встановити ступінь осушення бурового шламу в осушувачі вертикальному ОВШ-950 на рівні від 51 % до 81 % для IEP Witer II та глиняно-полімерної основи відповідно, що обґрунтовано реологічними властивостями бурового розчину та показниками водовіддачі;

- експериментально визначити та теоретично обґрунтувати рівень екологічної безпеки одержаної твердої фази за показниками радіоактивності та вмістом важких металів, що перебувають у межах встановлених законодавством нормативів, тому запропоновано можливі шляхи подальшої утилізації твердої фази бурового шламу.

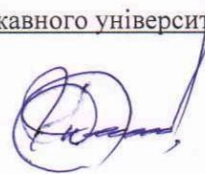
Від ТОВ «Укрнафтозапчастина»

Технічний директор

Юрій СОЛОДОВНИК

Від Сумського державного університету

Завідувач кафедри екології
 та природозахисних технологій
 д-р техн. наук, проф.



Леонід ПЛЯЦУК

Ст. викл. кафедри екології
 та природозахисних технологій
 канд. техн. наук



Ірина АБЛЄЄВА

Виконавець:
 Аспірант кафедри екології
 та природозахисних технологій



Сергій ЛУЦЕНКО

Додаток Ж

Акт впровадження в навчальний процес Сумського державного
університету

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор

Сумського державного університету



Сергій ЛЕОНОВ

05 2022 р.

АКТ

про впровадження у навчальний процес результатів дисертаційної роботи
Луценка Сергія Вікторовича на тему «Екологічно безпечна технологія
поводження з буровими відходами»

Основні положення та результати дисертаційного дослідження Луценка Сергія Вікторовича на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 183 – технології захисту навколишнього середовища у навчальний процес та застосовуються під час викладання дисциплін «Технології захисту навколишнього середовища», «Техноекологія», «Моделювання та прогнозування стану довкілля» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Зокрема, у навчальному процесі впроваджено запропоновані Сергієм Луценко:

- методичні положення експерименту щодо розділення відходів буріння, а саме – бурового шламу на фази, методику дослідження ступеня осушення бурового шламу, статистичну обробку результатів щодо розділення бурового шламу в центрифугі та ступеня його осушення;
- методичний підхід до фізичного та математичного моделювання процесу сепарації та обґрунтування ефективності застосування центрифуг для осушення шламів;
- спосіб розділення відходів буріння нафтових свердловин з подальшою утилізацією окремих фракцій.

Завідувач кафедри екології
та природоохоронних технологій
д-р техн. наук, проф.

Леонід ПЛЯЦУК

Доцент кафедри екології
та природоохоронних технологій
канд. техн. наук, доц.

Іван КОЗІЙ

Асистент кафедри екології
та природоохоронних технологій
канд. техн. наук

Євген БАТАЛЬЦЕВ

Додаток И

Додатки до Методики 171

Додаток 5 до Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства

Таблиця И.1 – Коефіцієнти засмічення земельної ділянки (Кзз)

Ступінь засмічення	Об'єм відходів (Ов), куб.м	Кзз
1	0-5	1,25
2	5-10	1,50
3	10-20	2,00
4	20-50	2,50
5	50-100	3,00
6	понад 100	4,00

Продовження Додатку И

Додаток 2 до Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства

Таблиця И.2 – Шкала еколого-господарського значення земель

Категорії земель та землі, що підлягають особливій охороні	Кег
Зона санітарної охорони навколо об'єктів, де є підземні та відкриті джерела водопостачання, водозабірні та водоочисні споруди, водоводи, прибережні захисні смуги вздовж морів, річок та навколо водойм	5,5
Землі оздоровчого призначення	5,0
Землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення ·	4,5
Охоронна зона навколо особливо цінних природних об'єктів, об'єктів культурної спадщини, гідрометеорологічних станцій тощо	4,0
Землі рекреаційного призначення	4,0
Землі історико-культурного призначення	4,0
Особливо цінні землі · ·	3,5
Землі сільськогосподарського призначення	1,0
Землі житлової та громадської забудови	1,0
Землі лісового фонду	1,0
Землі промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики, оборони та іншого призначення	1,0

- У тому числі земельні ділянки водно-болотних угідь, що не віднесені до земель лісового і водного фонду
- · Відповідно до переліку особливо цінних груп ґрунтів, затвердженого наказом Держкомзему України від 06.10.2003 № 245, зареєстрованого в Мін'юсті України 28.10.2003 за № 979/8300.

Продовження Додатку И

Додаток 7 Форма розрахунку до Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства

Таблиця И.3 – Форма розрахунку розміру шкоди від засмічення земель

№ з/п	Показники	Позначення показника	Джерело одержання або розрахунок показника	Значення показника (коефіцієнта)
1	2	3	4	5
1	Площа засміченої ділянки, кв.м	Пдз	За актом про засмічення земель та за матеріалами спеціальних вишукувань	
2	Об'єм відходів, куб.м	Ов		
3	Питомі витрати на ліквідацію наслідків засмічення	А	Постійна величина	0,5
4	Коефіцієнт перерахунку, що при засмічення земельної ділянки побутовими, промисловими та іншими відходами дорівнює 15, а небезпечними (токсичними) відходами - 300	Б	Перемінна величина	

Продовження Додатку И

Кінець табл. И.3

№ з/п	Показники	Позначення показника	Джерело одержання або розрахунок показника	Значення показника (коефіцієнта)
1	2	3	4	5
5	Нормативна грошова оцінка земельної ділянки (проіндексована), грн/ кв.м	Гоз	За витягом з технічної документації з нормативної грошової оцінки земельної ділянки	
6	Коефіцієнт засмічення земельної ділянки	Кзз	Додаток 6* Методики	
7	Коефіцієнт небезпеки відходів	Кнв	Додаток 5* Методики	1
8	Коефіцієнт еколого-господарського значення земель	Кег	Додаток 2* Методики	
9	Розмір шкоди, грн	Ршз	$Ршз = А \times Б \times Гоз \times Пдз \times Кзз \times Кнв \times Кег$	