

Д. В. КАЛАЧ, О. В. МИХАЙЛОСЬКА, С. І. БУХКАЛО, О. О. АГЕЙЧЕВА

ОСНОВИ РОЗРОБКИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВУГЛЕВОДНІВ ЗА ІННОВАЦІЙНИМИ МОДЕЛЯМИ НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

У матеріалах статті розглянуті приклади з огляду сучасних технологій дослідження можливостей захисту навколишнього середовища інтегрованих процесів сталого розвитку розробки та експлуатації вуглеводнів за інноваційними моделями нафтогазових технологій. Розглянуто сучасні методи очищення води від нафтопродуктів та визначено основні тенденції зміни конкретного родовища за час видобування продукції. Здійснено аналіз алгоритмів експериментального використання установки магнітної сепарації для очищення пластових вод від нафтопродуктів. Удосконалено схему та надано рекомендації щодо очищення пластових вод від нафтопродуктів експериментального родовища. Проведено обґрунтування за алгоритмами ефективності запроєктованих технологічних і технічних рішень. Обґрунтовано, що хімічний склад нафти пластових вод у різних районах різний, що обумовлено їхнім формуванням в природному середовищі. Аналіз даних як екологічну складову проводили з урахуванням покрокових алгоритмів дії відповідно до розробленої нормативно-технічної документації.

Ключові слова: геохімія нафти, газу, пластових вод, метод очищення пластової води, нафтопродукти, розробка і експлуатація родовищ вуглеводнів, аналіз даних.

Вступ.

Процеси нафтовидобування, як відомо, характеризують наявністю пластових вод, (закачують в пласти для підтримання пластового тиску), які відокремлюються далі від нафти за вимогами нормативно-технічної документації (НТД). Присутність у воді емульсійних крапель нафти та механічних домішок призводить до зниження функцій приймання пористого середовища колектора. Норми якості пластової води, що закачується в продуктивні пласти, визначаються видом колектора (його проникністю та пористістю) і для деяких видів досягають значень менше 5 мг/дм³ (галузевий стандарт ОСТ 39-225-88).

Серед сучасних методів очищення води від нафтопродуктів можна виділити наступні: механічні – центрифугування, відстоювання, фільтрування; перспективні фізико-хімічні, наприклад, очищення вод від нафтопродуктів методом омагнічування вилучених частинок нафти для подальшого вилучення з допомогою магнітного поля; хімічні та біологічні. Механічні методи дозволяють вилучити в основному великодисперсну фракцію забруднювача.

Хімічні та фізико-хімічні методи очищення ефективні, але вимагають використання додаткових хімічних реагентів, які також можуть бути забруднювачами. Найбільш екологічні методи – біологічні – вони позбавлені перелічених вище недоліків, але застосування бактеріального очищення вимагає тривалого часу та відповідних температурних умов, сприятливих для діяльності мікроорганізмів-деструкторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1) аналіз та висновки існуючих та інноваційних технологій за алгоритмами процесів дослідження: з вивчення компонентного складу пластових вод конкретного родовища; 2) визначення основних тенденцій зміни конкретного родовища за час видобування продукції; 3) аналіз алгоритмів експериментального використання установки

магнітної сепарації для очищення пластових вод від нафтопродуктів. 4) удосконалення технологічної схеми та надання рекомендацій щодо очищення пластових вод від нафтопродуктів експериментального родовища; 5) техніко-економічне обґрунтування за алгоритмами ефективності запроєктованих технологічних і технічних рішень та ін.

Постановка комплексу проблемних питань науково-практичного дослідження.

При аналізі можливих екологічних аспектів можна зробити висновок, що найбільшу загрозу навколишньому середовищу завдають відходи виробництва, що утворюються, а також скидання виробничих стоків. При цьому можливі такі негативні впливи: зміна хімічного складу поверхневих та підземних вод, зміна хімічного складу ґрунтів, скорочення площі земель, придатних для використання тощо [1].

Пластові води потрапляють на поверхню під час видобутку нафти шляхом буріння свердловин. Такі води розташовуються в нафтоносних пластах у вигляді шару, що підстилає, або утворюють окремі водоносні горизонти. Наприклад, обсяг таких вод може перевищувати обсяг видобутої нафти у 2,5 – 6 разів. Від способу утворення та умов розташування у підземних шарах залежить рівень мінералізації та компонентний вміст. Ці показники дозволяють поділити води на такі види:

- 1) молекулярно зв'язані води або адсорбовані на мінеральних частках гірської породи;
- 2) седиментаційні води – присутні у відкладеннях від часу формування опадів;
- 3) інфільтраційні води – проникають у пласт із поверхневих джерел: атмосферні опади, води відкритих джерел; елізійні води – просочуються в пласт із сусідніх горизонтів у разі зростання тиску гірської породи чи геотектонічних рухів.

© Калач Д.В., Михайловська О.В., Бухкало С.І., Агейчева О.О., 2025

При вилученні нафти вода, яка супроводжує потік, містить від 200 до 1000 мг/л нерозчинних вуглеводнів, а також мінеральні речовини та зважені частки. Якщо вони надходять у водойми то викликають: в ґрунтових водах: зміни мінерального складу, рН, водно-повітряного режиму, вуглецево-азотного балансу; в ґрунтах: зниження темпів ґрунтоутворення та родючості ґрунту внаслідок засолення та осолонцювання ґрунту та, як наслідок, порушення біологічного балансу через погіршення стану рослинного покриву та прогресуюче збіднення біогеоценозу; у відкритих водоймищах: утворення нафтової плівки на поверхні води та осідання важких фракцій нафтопродуктів на дні, які порушують процеси життєдіяльності гідробіонтів;

Забруднені пластові води потрапляють у навколишнє середовище при порушенні технологічного процесу видобутку корисних копалин, знос обладнання або неправильному виборі технології очищення. В даний час у вітчизняній практиці очищення стічних вод широко застосовуються резервуари-відстійники, оснащені різними пристроями (рис. 1).

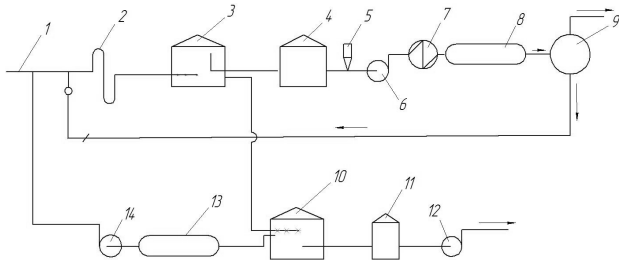


Рис. 1. Технологічна схема очищення стічних пластових вод рідинними фільтрами:

1 – промисловий нафтопровід; 2 – трубопровід каплевловлювач; 3 – відстійник з рідинним гідрофільним фільтром; 4 – резервуар для збору нафти після першого ступеня зневоднення; 5 – місце вводу деемульгатору; 6 – насос для перекачки нафти; 7 – теплообмінник; 8 – відстійник другого ступеня зневоднення нафти; 10 – відстійник з рідинним гідрофільним фільтром для остаточної очистки води; 11 – буферний резервуар для очищеної води; 12 – насос для перекачки очищеної води на КНС; 13 – ємність для збору нафти; 14 – насос для подачі нафти в промисловий трубопровід 1; 15 – трубопровід для подачі дренажної води з відстійників 8 і 9 в промисловий трубопровід.

Стічні води з відстійників 8 і 9 змішуються в трубопроводі 1 з водонафтовою емульсією, яка надходить на товарний парк (водний фактор суміші повинен перевищувати 0,4). При нестачі дренажної води з блоків зневоднення і знесолення для отримання водонафтової суміші з водним фактором 0,4 рекомендується використовувати частину води, що відводиться з відстійників з гідрофільним фільтром [2, 3].

Підготовлена суміш надходить в відстійник 3 під шар дренажної води, де відбувається додаткова деемульсації нафти і очищення води, що

відокремилася від нафти. В результаті подачі водонафтової суміші під водяний шар утворюються краплі, які містять емульсійну воду і при спливанні віддають глобули води у водне контактне середовище. У свою чергу, емульсована нафта і гідрофобні частинки, що містяться у водному середовищі, захоплюються краплями нафти, які спливають.

1. Аналіз складових дослідження за ієрархією класифікації-ідентифікації різновидів джерел інформації екологічної безпеки виробництва.

Остаточне очищення стічної та пластової вод відбувається у відстійнику з гідрофобним фільтром 10, в якому поєднуються два способи очищення – контактування забрудненої води з гідрофобним контактним середовищем і відстоювання в динамічних умовах. В якості контактного (фільтруючого) матеріалу використовується нафтовий шар на поверхні води. Забруднена вода надходить зверху і у вигляді окремих крапель проходить через нафтове середовище. При цьому частки нафти, що знаходяться в воді, контактуючи з нафтовим середовищем фільтра, зливаються з ним. Подібним чином відбувається і перехід зі стічної води твердих зважених частинок з гідрофобною поверхнею в нафтове контактне середовище. Пройшовши нафтовий шар, краплі води потрапляють в нижнє водне середовище, у якому відбувається процес відстоювання і додаткове очищення. Очищена вода подається через гідрозатвор у буферний резервуар 11, звідки насосом 12 перекачуються на кущову насосну станцію (КНС) для використання в системі заводнення пластів. Надлишок відпрацьованої і уловленої нафти накопичується в ємності 13 і насосом 14 подається в трубопровід 1.

На рисунку 2 представлена схема відстійника з гідрофобним фільтром.[2]

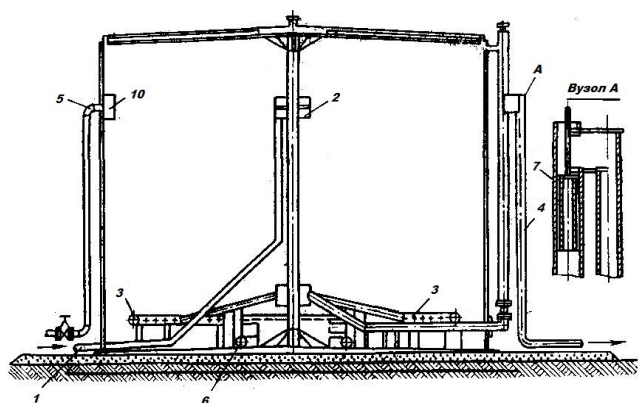


Рис. 2. Приклад схеми відстійника з рідинним гідрофобним фільтром для очистки пластової води

1 – трубопровід для подачі стічної пластової води у відстійник; 2 – прилад для рівномірного розподілення води в шарі нафти гідрофобного фільтра; 3 – дірчасті труби для збору очищеної води; 4 – гідрозатвор; 5 – трубопровід для відводу з фільтра надлишкової і відпрацьованої нафти; 6 – водострумінний апарат; 7 – рухомий патрубок гідрозатвору.

Стічна вода, що очищається з відстійника по трубопроводу 1 подається в циліндричну ємність 2, в якій за допомогою отворів досягається рівномірний розподіл води в шарі нафти висотою 1м. Сумарна площа отворів підбирається з розрахунку забезпечення швидкості струменя води не більше 1 м / с. Вода, пройшовши шар нафти, надходить в дірчасті труби 3 в нижній частині відстійника і через гідрозатор 4 відводиться в буферну ємність і далі перекачується на КНС. Гідрозатор складається з висхідної і низхідної вертикальних труб, сполучених між собою у верхній частині, і рухомого патрубку 9, переміщення якого вгору або вниз дозволяє встановлювати необхідний рівень водонафтового контакту у відстійнику. Відпрацьована нафта з нижньої частини гідрофобного фільтра потрапляє в пристрій 10 і відводиться по трубі 5. У відстійнику для розпушування осаду передбачений водоструминний апарат 6, який приводиться в дію від напірного водопроводу 7. Видалення осаду здійснюється через донний випуск. Така технологія очистки стічних і пластових вод з використанням рідинних фільтрів дозволяє знизити в них вміст нафти в 14 – 80 разів і зважених твердих часток у 3 – 7 разів. Як показала практика широкого впровадження рідинних фільтрів в різних районах видобутку нафти, стічні води, підготовлені за цією технологією, при їх закачуванні в продуктивні пласти з проникністю $(0,2 - 0,7) 10^{-12} \text{ м}^2$ практично не знижують приймальність нагнітальних свердловин.

Перевагами технології очищення стічних вод із використанням гідрофобних рідинних фільтрів є: можливість очищення великих обсягів промислових стічних і пластових вод без застосування фільтруючих матеріалів; робота установки в режимі

саморегулювання, без застосування автоматики і при мінімальному обслуговуючому персоналі; поліпшення гідродинаміки процесу відстоювання при значних змінах вмісту емульсованої нафти і твердих частинок в воді, що очищується; різке зниження рівня забруднення навколишнього середовища.

Очищення стічної води в невеликих об'ємах від нафтопродуктів та механічних домішок доцільно проводити і з допомогою гідроциклонних апаратів. Принцип роботи таких апаратів базується на розподілі гетерогенних систем під дією відцентрових зусиль швидкого обертального руху потоку рідини. [1–3].

Забруднена вода подається тангенціально в розподільчу камеру. Тут проходить відділення відносно великих твердих домішок, які періодично з допомогою засувки перепускаються в збірник шламу. Вода з розподільної камери рівномірно подається на гідроциклони, де внаслідок інтенсивного обертального руху і йде розподіл твердих домішок, нафти та води. Тверді складові через отвори гідроциклонів відводяться в шламозбірник, а рідина – в зливну камеру, де продовжується її обертання та розподіл на нафту і воду. Найбільший ефект вилучення нафти і механічних домішок з пластової води отримується в самостійних гідроциклонах або шляхом їх поєднання з відстійниками різних типів [4]. Гідроциклони, виконуючи роль апаратів попередньої очистки, створюють кращі умови для руйнування емульсій.

Здійснивши короткий огляд способів очистки пластової води було виявлено, що жоден із розглянутих методів в достатній мірі не забезпечує ефективного очищення від механічних домішок та нафтопродуктів (табл. 1).

Таблиця 1 – Вибір загальних характеристик ієрархії наукового обґрунтування складових дослідження видобутку

№	Класифікація-ідентифікація стадій дослідження сучасних інноваційних технологій за темою
1	Вступ: 1.1. Алгоритми геохімії нафти, газу, пластових вод. 1.2. Алгоритми покрокового геологічного та гідродинамічного моделювання родовищ вуглеводнів. 1.3. Особливості розробки і експлуатації родовищ вуглеводнів та підземних сховищ газу. 1.4. Алгоритми моделювання родовищ нафти і газу. 1.5. Геостатистика. Математична статистика та обробка геологічних даних.
2	Аналіз інноваційних технологій очищення та утилізації пластових вод за алгоритмами покрокової дії з урахуванням НТД до різновидів об'єктів виробництва: 2.1. Екологічні аспекти нафтовидобувної галузі. 2.2. Обґрунтування необхідності розробки методу очищення пластових вод. 2.3. Способи очищення пластових вод від нафтопродуктів.
3	Аналіз факторів очищення пластових вод родовищ вуглеводнів за алгоритмами покрокової дії інноваційного виробництва: 3.1. Загальна характеристика факторів впливу на ефективність застосування магнітних сепараторів для очищення пластових вод від нафти за алгоритми. 3.2. Алгоритми дії за факторами теоретичних основ процесу магнітної сепарації. 3.3. Алгоритми дії дослідження ефективності високоградієнтного магнітного сепаратора для очищення пластової води від нафтих озабруднень за прикладами.
4	Аналіз прикладів впровадження технології очищення пластових вод за допомогою електрокоагуляції. 4.1. Загальні відомості та геологічна будова родовища. 4.2. Стратегія та тектоніка, гідрологічна характеристика. 4.3. Аналіз системи збору і підготовки продукції за прикладами алгоритмів покрокової дії відповідно до НТД. 4.4. Висновки за аналізом отриманих результатів, перспективи розвитку за безпечною діяльністю виробництва відповідно до НТД...
5	Обґрунтування методів охорони навколишнього середовища за алгоритмами, що застосовують для інтенсифікації видобутку нафти (рис. 3):

- | |
|---|
| 5.1. Основні положення за прикладами різновидів технологія на родовищах.
5.2. Ієрархія охорони атмосферного повітря за алгоритмами покрокової дії.
5.3. Ієрархія охорони водного середовища за алгоритмами покрокової дії.
5.4. Ієрархія охорони земель, лісу, флори та фауни за алгоритмами покрокової дії.
5.5. Ієрархія охорони надр за алгоритмами покрокової дії.
5.6. Утилізація промислових стоків при експлуатації родовища за алгоритмами покрокової дії. |
|---|

Ситуаційна задача 1. Первинна стадія очищення нафтовмісних пластових вод призначена для вилучення великих механічних включень (гайки, шайби, болти і т. д.), а також волокнистих фракцій (ганчір'я), які можуть перешкоджати нормальній роботі обладнання системи утилізації. Нафтовмісні води, перед тим як потрапити у відстійні цистерни, пропускають через ґрати (сита). Приклад решітки (сита) представлений на рис. 3.

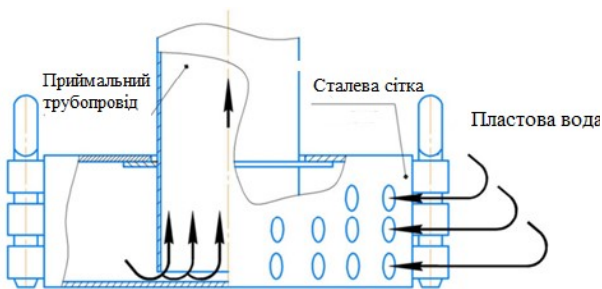


Рис. 3. Першочергове очищення нафтовмісних вод за допомогою решітки

Висновок. Проходячи через численні отвори решітки (сита) діаметром від 5 до 20 мм, води відокремлюються від сторонніх предметів та великих твердих включень.

Ситуаційна задача 2. Процеси відстоювання.

Як попереднє очищення від нафтопродуктів у традиційній системі використовуються ємнісні відстійники-нафтовишки. Недоліками цих установок є низька ефективність та громіздка конструкція. Для того щоб стічні води необхідною мірою очистилися від суспензії нафтопродуктів, час перебування води у відстійнику повинен становити кілька годин. Для ефективного очищення повинні бути значними і габарити маслобензовідділювачів [маг].

Ефективність очищення від масло- та нафтопродуктів у ємнісних відстійниках не перевищує 50% (рис. 4). Невисокий ступінь ефективності є наслідком морально застарілої конструкції відстійника, в якому можливі турбулентні потоки через перепади температур і нерівномірний розподіл концентрацій забруднюючих речовин в товщі води, що очищається. Ефективність очищення в ємнісному відстійнику – непостійна величина, що залежить від витрати води, що очищається, вмісту забруднюючих частинок і температури води. Тому можна стверджувати, що робота ємнісного відстійника відрізняється великою нестабільністю.



Рис. 4. Приклад ємнісного відстійника

Процес відбувається внаслідок дії незбалансованих гравітаційних сил, які називаються силами Стокса [19]. Якщо розмір краплі занадто малий, броунівський рух та електростатичні сили впливають на випадковий рух крапель більш значний і краплі не можуть впливати на поверхню. Однак як тільки краплі досягнуть деякого критичного розміру, сила плавучості буде домінуючою і краплі спливають на поверхню щільнішої рідини. Там вони утворюють шар із тісно прикріплених окремих крапель або безперервну плівку.

Висновок. Цей метод дозволяє знизити вміст нафтопродуктів у воді до близько 5 мг/л.

Ситуаційна задача 3. Для прискорення процесу відстоювання у цистернах встановлюють похилі пластини, у цьому випадку агрегація частинок нафтопродукту йде активніше, покращуються умови осадження. Схему відстійника представлено на рис. 5.

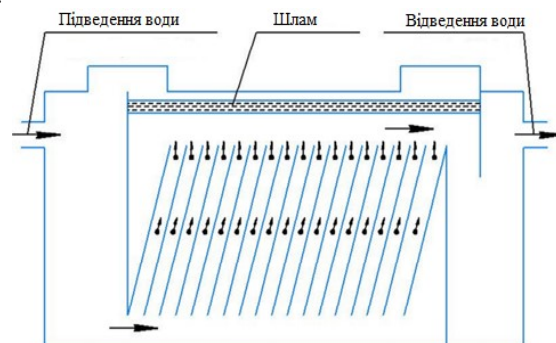


Рис. 5. Відстійник з похилими пластинами.

Потік пластових вод проходить вздовж пластин і поділяється на шари, у результаті

зменшується можливість перемішування. Краплі нафтопродуктів рухаються вздовж поверхні пластини та з'єднуються з іншими, внаслідок чого відбувається їхнє укрупнення, що у свою чергу призводить до збільшення сили плавучості.

Висновок. Такий рух потоку пластових вод робить процес відстоювання ефективнішим. Потім нафтопродукти потрапляють у нафтовий уловлювач, де відбувається їхнє накопичення для подальшого вилучення, а освітлена вода відводиться з відстійника.

Ситуаційна задача 4. Приклад цільової задачі процесів центрифугування.

Процес очищення заснований на дії відцентрової сили для поділу компонентів емульсії відповідно до їх щільності або розміру частинок. Даний вид очищення супроводжується флокуляцією та коалесценцією. Флокуляція – це вид коагуляції, за якого відбувається утворення пухких пластівцевих агрегатів (флокулів) з невеликих частинок дисперсної фази, що у зваженому стані серед. Частки з меншою питомою вагою переміщуються ближче до центру потоку, а з більшим питомою вагою відтісняються до периферії.

Висновок. Цей метод дозволяє знизити вміст нафтопродуктів у воді до 5–15 мг/л [20].

Ситуаційна задача 5. Приклад цільової задачі хімічних та фізико-хімічних методів.

Хімічні та фізико-хімічні методи очищення ефективні, але вимагають використання додаткових хімічних реагентів, які також можуть бути забруднювачами. Найбільш екологічні методи – біологічні, вони позбавлені перелічених вище недоліків, але застосування бактеріального очищення вимагає тривалого часу та відповідних температурних умов, сприятливих для діяльності мікроорганізмів-деструкторів.

Адсорбція, як процес очищення заснований на об'єднанні частинок нафтопродукту на поверхні адсорбенту. Сорбенти можна поділити на природні (органічні, неорганічні) та синтетичні, наприклад, лігноцелюлозні матеріали, горіхова шкаралупа, торф, активні глини і т. д.

Сорбенти на основі синтетичних матеріалів, таких як поліпропілен, силікагелі, алюмогелі, полівінілхлорид, полістирол, активований оксидом алюмінію, нейлон, спеціальні іонообмінні смоли, поліетилен та інші полімери, здатні притягувати нафтопродукти та відштовхувати воду. Внаслідок сил тяжіння частки нафтопродукту утримуються на поверхні сорбенту. Це відбувається через різницю міжмолекулярного взаємодії між молекулами сорбенту з молекулами нафтопродукту, а також молекул води. Чим міцніше взаємозв'язок молекул нафтопродукту з молекулами води, тим гірше адсорбується нафтопродукт на поверхні сорбенту.

Таким чином, ефективність очищення обумовлена концентрацією нафтопродуктів у воді, вибором адсорбуючого матеріалу, дисперсністю та глибиною завантаження. Однією з основних умов

для ефективної роботи адсорбційного фільтра є видалення великих частинок нафтопродукту з нафтовмісних вод шляхом попереднього очищення [21]. Після попереднього видалення з вод великих частинок нафтопродукту цей спосіб очищення дозволяє отримати ступінь очищення 1-10 мг/л.

Коалесценцію розглядають як процес очищення заснований на проходженні емульсії вузьких місць (отворів або пір фільтрувальної перегородки). При цьому дисперсні частинки, що знаходяться в емульсії, зіштовхуються у зв'язку з чим відбувається їхнє об'єднання та укрупнення. Це відбувається до того моменту, поки не збільшиться сила плавучості і не підніме їх на поверхню води. Даним методом можна очистити води до концентрації нафтопродукту 15 млн⁻¹ і нижче. Елементами коалесценції для фільтрів можуть бути такі матеріали, як пісок, поролон, полістирол, поліпропіленові волокна і т. д.

Істотна відмінність між методами коалесценції та адсорбції полягає в тому, що при коалесценції після завершення процесу агрегації великих крапель нафтопродукту необхідні умови для гравітаційного відокремлення їх від води (відстійник), тоді як після адсорбції не потрібно виконувати дану умову, вода відразу стає вільною від нафтопродуктів. Перевагами цього методу є більший ресурс фільтра з можливістю його регенерації та безперервність процесу, тобто кількість води на вході відповідає кількості води та нафтопродуктів на виході з аналізованого пристрою.

Флотація як метод очищення вод полягає в насиченні об'єму води бульбашками газу (найчастіше повітря), які при спливанні доставляють на поверхню розділу «вода – повітря» забруднення і формують флотошлам.

У таблиці наведено порівняння різних типів флотації (1 – механічна, 2 – електрофлотація, 3 – пневматична, 4 – напірна, 5 – пневмогідравлічна) за деякими показниками (а – розмір бульбашок газу, б – питомі енерговитрати) [22].

Таблиця 2 Основні показники видів флотації

Вид флотації	а, мкм	б, кВт год/м ³	Недоліки
1	Понад 200	0,2-0,3	Велика турбулентність
2	25–80	10–15	Пасивація електродів
3	Понад 200	0,019–0,042	Кольматация пор
4	40–70	1,7–2,8	Наявність сатуратора
5	Понад 150	0,03–0,2	Можливі пошкодження асепатора

За класифікацією предсталених методів найбільшого поширення у сфері очищення вод отримали напірна, пневматична та електрофлотація; рідше – механічна та пневмогідравлічна [23–26].

Ситуаційна задача 6. Озонування як технологія глибокого очищення нафтовмісних вод, заснована на використанні окисної здатності атомарного кисню, що утворюється при

мимовільному розпаді озону (O_3). Сама собою молекула озону нестабільна, може віддавати один вільний атом, утворюючи у свій просту молекулу кисню. Вільний атом кисню є окиснювачем і, з'єднується із найближчими молекулами нафтопродукту, руйнує їх. За допомогою даного методу можна видалити з емульсованих та розчинених нафтопродуктів, а також відбувається одночасне знебарвлення, знезараження води та насичення її киснем. Озон генерується в результаті процесу проходження потоку повітря або кисню між електродами. Під дією електричних розрядів високої напруги частина молекул кисню розпадається, а атоми, що утворилися, приєднуються до молекул кисню: $O_2 + O = O_3$.

Висновки. Спосіб з наступною фільтрацією дозволяє отримати глибину очищення 1-10 мг/л [9].

Ситуаційна задача 7. Процеси електрохімічного очищення.

Метод очищення пластових вод від нафтопродуктів заснований на електролізі при пропусканні крізь воду постійного електричного струму за допомогою занурених розчинних та нерозчинних електродів. Залежно від обраного матеріалу електрода (алюмінію, нержавіючої сталі, графіту, срібла) можна отримати різні коагулянти для очищення стічних вод від нафтопродуктів. Цей спосіб очищення називають також електрохімічною коагуляцією. До недоліків цього способу можна віднести: значну витрату металу та електроенергії, утворення в електродних камерах електричних пробів і приглушення камер.

Висновки. Ступінь очищення вод електрохімічною коагуляцією можна довести до 90% після доочищення фільтруванням [9].

Ситуаційна задача 8. Процеси за біологічними методами очищення нафтовмісних стічних вод.

Основою біологічного методу очищення є здатність деяких мікроорганізмів використовувати різні речовини, що містяться в пластових водах, у процесі своєї життєдіяльності для свого розвитку. Ефективність методу залежить від виконання наступних умов: вміст нафти у водах не може перевищувати 100 мг/л; температура – 20–25 °С; концентрація кисню – не нижче 2 мг/л; рН у межах 6,5–7,5. Даний спосіб очищення не знайшов широкого поширення через високу чутливість мікроорганізмів до складу та кількості води.

Висновки. До недоліків цього методу також можна віднести необхідність розведення вод при підвищеній концентрації домішок у її складі. Проблема викликає і наступна утилізація відпрацьованого активного мулу.

Ситуаційна задача 9. Процеси за термічним методом.

Метод «мокрого спалювання» (рідкофазне окислення). Такий метод очищення пластових вод заснований на окисненні киснем органічних та елементоорганічних сполук при температурі 150–

350 °С та тиску 2–28 МПа [15]. Перевагою даного методу є значно менші енерговитрати, ніж при вогневому знешкодженні [16].

Висновки. Недоліком цього методу є неповне окислення відходів та корозія обладнання.

Ситуаційна задача 10. Процеси з вогневого знешкодження.

Процес знешкодження полягає у подачі вод у топкові гази, нагріті до 900-1000 °С. В результаті відбувається повне випаровування води та згоряння органічних домішок [16, 17].

На стику вказаних методів пропонується варіант термічного знешкодження, застосовний на судах. Він полягає у використанні теплоти відпрацьованих газів суднових дизелів та котлів для розкладання та нейтралізації нафтовмісних вод. Залежно від типу дизеля або котла та режиму їх роботи можна визначити, скільки теплоти можна отримати від газів, що відпрацьовували.

У роботі [18] зазначено, що використання теплоти відпрацьованих газів на судні становить 15–30 % від наявної, а решта йде в атмосферу. Згідно з одним із варіантів пропонується проводити розпилення вод через форсунку в канал газовихлопної системи дизеля. Відпрацьовані гази на виході з дизеля чи турбіни комбінованого двигуна мають досить високу температуру (350–500 °С). Розпилені води разом з відпрацьованими газами рухаються каналом, в якому відбувається нагрівання вод відпрацьованими газами, випаровування води та подальше розкладання та допалювання нафтозалишку.

Продуктивність методу залежить від вихідного складу відпрацьованих газів, його відповідності вимогам за викидами шкідливих речовин із відпрацьованими газами до та після введення нафтовмісних вод. Підсумковий склад відпрацьованих газів контролюється газоаналізатором, за даними якого може бути автоматизована подача вод на форсунку.

Висновки. Таким чином, цей метод може дозволити досягти повної утилізації нафтовмісних вод [18-21].

Нафтовидобувне підприємство може побудувати процес очищення так, щоб вода поверталася до технологічного циклу та використовувалася повторно при закачуванням в пласт родовища.

Висновки та перспективи подальшого розвитку ієрархії комплексних складових інноваційного дослідження за алгоритмами.

Очікуваний ефект від інноваційного дослідження, наприклад, з визначення економічної ефективності створення установки для очищення за розробленими методами проводили згідно з діючою методикою встановлення економічної ефективності впровадження нової техніки в нафтогазовій галузі річний економічний ефект від виробництва і використання нового обладнання, машин,

інструментів та інших засобів праці довгострокового використання з поліпшеними якісними характеристиками визначається за формулою, млн.грн.:

$$E = \Delta Q \cdot C_{\text{н}} - S_{\text{г}} - C_{\text{уст}} / 25,$$

де $E = \Delta Q$ – додатково видобута продукція за рахунок закачування очищеної води для підтримання пластового тиску, 342 т/рік;

$C_{\text{н}} = 11000$ грн. $S_{\text{г}}$ – сумарні витрати за рік;

$C_{\text{уст}}$ – ціна установки. – 625000 грн;

$$E = (342 \cdot 11000) - 2,35 - (625000 / 25) = 1,387.$$

Представлені можливості комплексного інноваційного дослідження можуть бути застосовані для різновидів галузей сучасної інженерії з урахуванням розвитку діяльності громадської організації «Українська асоціація хімічної та харчової інженерії» – пошук та наукове обґрунтування раціональних параметрів процесів хімічної інженерії за алгоритмами дослідження інновацій [12–34].

Список літератури

1. Акульшин О.І., Акульшин О.О., Бойко В.С., Дорошенко В.М., Зарубін Ю.О. Технологія видобування, зберігання і транспортування нафти і газу: Навч. пос. Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 434 с.
2. Витрик В.Г., Кондратьєва А.В., Селинний М.Ю., Галушка Р.Н. Практика розробки виснажених нафтових родовищ України за допомогою технології направлено буріння (2017). Нафтогазова інженерія. Число 2. 19-26.
3. Клименко Л.Л. Системи технологій: Навч. посібник / Л.Л. Клименко С.М. Соловйов, Г.Л. Норд // Вид-во МДГУ ім. Петра Могили. Миколаїв, 2007. – 600 с.
4. Агейчева О.О., Зезекало І.Г., Бухкало С.І. Загальні системи аналізу віддачі пластів свердловин. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 103.
5. Зезекало І.Г., Іваницька І.О., Агейчева О.О. Основні принципи відновлення продуктивності свердловин закольматованих у процесах буріння та експлуатації методом кислотних обробок. Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2020. – № 6 (1360). С. 90–94. doi: 10.20998/2220-4784.2020.06.14
6. Зезекало І.Г., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Деякі задачі з підвищення віддачі пластів свердловин. XXIX Міжн. нпракт. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 149.
7. Svitlana Bukhkallo. The systems and models for complex polymer solid waste. XXIX Міжн. н-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2020) 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХПІ». С. 114.
8. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. нпракт. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD2018) 17–19 мая 2018. Х.: Ч. II, с. 201.
9. Bukhkallo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyansky L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
10. Організація і планування операційної діяльності нафтогазових підприємств: Навч. посіб. / За ред. М. О. Данилюк. Івано-Франківськ, 2009. 364 с.
11. Лайонс, В., Плісга, Г., Ахмад, Н. (2015). Стандартний довідник з нафтової та газової інженерії. Elsevier.
12. Пелипенко О.І., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Інтегровані дослідження з удосконалення обладнання бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Х.: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 617.
13. Бойко В.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Комплексне дослідження інтегрованої безпечної діяльності бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Х.: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 555.
14. Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. дослідження з удосконалення талевої системи бурової установки. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 598.
15. Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження інтегрованого підвищення фонтанної безпеки процесу буріння при освоєнні свердловини Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 594.
16. Тацій І.С., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження дії універсального гідравлічного розширювача на різних режимах буріння. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22-25 травня 2024 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Х.: НТУ «ХПІ». – 1664 с., 635.
17. Бухкало С.І. Технологія основних харчових виробництв у прикладах і задачах (навч. посібник). Харків: НТУ «ХПІ», 2003. 184 с
18. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (прикладні та тести з технології крохмалю). 2-ге вид. доп.: ч. 2. [текст] підручник з грифом МОН. Київ «Центр учбової літератури»: 2019, 108 с.
19. Бухкало С.І. Удосконалювання методів оцінки знань студентів вищих навчальних закладів. Вісник НТУ «ХПІ». Х.:, 2014. № 16. С. 3–11.
20. Бухкало С.І. Комплексних інноваційні системи викладання дисципліни сучасні технології харчування – моделі програмування.. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (1364), с. 65–77.

21. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O., Belyanskiy O.M., Rozhenko I.V., Abakumov A.A. Didactic materials perception activating methods in distance education. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: 2024, № 1, с. 61–70.
22. Bukhkalov S.I., Ageicheva A.O., Belyanskiy O.M., Rozhenko I.V., Abakumov A.A. Innovative approaches to teaching foreign languages at higher educational institutions. Вісник НТУ «ХПІ». 2023, № 2, с. 18–27.
23. Крат Д.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Приклад проектування обладнання за оцінкою технічного стану герметизуючих елементів протівикидного механізму. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: 2024, № 2, с. 71–79.
24. Куцук О.М., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Приклад проектування обладнання за оцінкою технічного стану герметизуючих елементів протівикидного механізму. Вісник НТУ «ХПІ». Х.: 2024, № 2, с. 80–90.
25. Бухкало С.І.. Алгоритми навчання студентів політехнічної освіти. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 17-20 травня 2024 р / за ред. проф. Сокола Є.І. – Х. : НТУ«ХПІ». <http://web.kpi.kharkov.ua/microcad/wp-content/uploads/sites/240/2024/05/Programka-2024>.
26. Бухкало С.І. Комплексні системи викладання дисципліни основи проектування обладнання хімічних виробництв як співпраця асоціацій EFCE та CFE-UA № 1 (2022): Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, с. 13-22.
27. Бухкало С.І. Вибір синергетичних моделей розробки комплексної утилізації полімерної тари і пакування після завершення термінів експлуатації. № 1 (2023): Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, с. 69-77.
28. Бойко В.А., Савик В.М., Бухкало С.І., Агейчева О.О., Проектування обладнання синергетичних процесів хімічної інженерії за моделями дослідження модернізації бурової установки. № 1 (2024): Вісник НТУ «ХПІ», с. 71-82.
29. Селезньов Р.В., Бухкало С.І., Енергоефективне проектування для сталого розвитку та екологічної безпеки за алгоритмами дії [Електронний ресурс] / Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : зб. матеріалів 10-ї Міжнар. молодіжного конгресу, 27-28 березня 2025, Україна, Львів / Національний університет "Львівська політехніка" [та ін.]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Яроченко Я. В., 2025. – С. 169.
30. Алгоритми сталого розвитку екологічної безпеки кислотного гідравлічного розриву пласта [Електронний ресурс] / Лижнюк О. П., Михайловська О. В., Бухкало С. І., Агейчева О. О. // Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : зб. матеріалів 10-ї Міжнар. молодіжного конгресу, 27-28 березня 2025, Україна, Львів / Національний університет "Львівська політехніка" [та ін.]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Яроченко Я. В., 2025. – С. 171.
31. Калач Д.В., Михайловська О.В., Бухкало С.І., Агейчева О.О. Дослідження з удосконалення технології очищення пластових вод свердловин за алгоритмами дії. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р / за ред. проф. Сокола Є.І. – Х. : НТУ«ХПІ», – С. 753.
32. Seleznev R.V., Bukhkalov S.I., Iglis S.P. Algorithms for studying experimental data in chemical engineering of titanium dioxide. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р / за ред. проф. Сокола Є.І. – Х. : НТУ«ХПІ», – С. 716.
33. Bukhkalov S.I. Ageicheva O.O. Smyhun F.R. Advanced professional training peculiarities for future oil and gas specialists. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р / за ред. проф. Сокола Є.І. – Х. : НТУ«ХПІ», – С. 664.
34. Бухкало С.І. Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів – 15 років роботи Вісника НТУ «ХПІ». Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р / за ред. Сокола Є.І. – Х. : НТУ«ХПІ», – С. 734.

References (transliterated)

1. Akul'shin O.I., Akul'shin O.O., Bojko V.S., Doroshenko V.M., Zarubin Ju.O. Tehnologija vidobuvannja, zberigannja i transportuvannja nafti i gazu: Navch. pos. Ivano-Frankivs'k: Fakel, 2003. – 434 p.
2. Vitrik V.G., Kondrat'eva A.V., Selinnyj M.Ju., Galushka R.N. Praktika rozrobki visnazhenih naftovih rodovishh Ukraїni za dopomogoju tehnologij napravlenogo burinnja (2017). Naftogazova inzhenerija. Chislo 2. Pp. 19-26.
3. Klimenko L.L. Sistemi tehnologij: Navch. posibnik / L.L. Klimenko S.M. Solovjov, G.L. Nord // Vid-vo MDGU im. Petra Mogili. Mikolaiv, 2007. – 600 s.
4. Ageicheva O.O., Zezekalo I.G., Bukhkalov S.I. Zagal'ni sistemi analizu viddachi plastiv sverdlovin. XXIX Mizhn. n-prakt. konf. «Informacijni tehnologij: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021 r.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kh: NTU «KhPI». P. 103.
5. Zezekalo I.G., Ivanc'ka I.O., Ageicheva O.O. Osnovni principi vidnovlennja produktivnosti sverdlovin zakol'matovanih u procesah burinnja ta ekspluatacij metodom kislotnih obrobok. Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2020. – № 6 (1360). – Pp. 90–94. doi: 10.20998/2220-4784.2020.06.14
6. Zezekalo I.G., Bukhkalov S.I., Ageicheva O.O. Dejaki zadachi z pidvishhennja viddachi plastiv sverdlovin. XXIX Mizhn. nprakt. konf. «Informacijni tehnologij: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021.: u 5 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola E.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 149.
7. Svitlana Bukhkalov. The systems and models for complex polymer solid waste. XHII Mizhn. n-prakt. konf. «Informacijni tehnologij: nauka, tehnika, tehnologija,

- osvita, zdorov'ja» (MicroCAD-2021) 18-20 travnja 2021 u 5 ch. Ch. II. / red. prof. Sokola Є.I. NTU «KhPI». 114.
8. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XXVI Mezhd. nprakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
 9. Bukhhalo S.I., Klemeš J.J., Tovazhnyanskyy L.L., Arsenyeva O.P., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Y. Eco-friendly synergetic processes of municipal solid waste polymer utilization. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.70, – pp. 2047–2052.
 10. Organizacija i planuvannya operacijnoi dijial'nosti naftogazovih pidpriemstv: Navch. posib. / Za red. M. O. Daniljuk. – Ivano-Frankivs'k, 2009. – 364 c.
 11. Lajons, V., Plisga, G., Ahmad, N. (2015). Standartnij dovidnik z naftovoї ta gazovoї inzhenerії. Elsevier. Lajons, V., Plisga, G., Ahmad, N. (2015). Standartnij dovidnik z naftovoї ta gazovoї inzhenerії. Elsevier.
 12. Pelipenko O.I., Savik V.M., Bukhhalo S.I., Agejcheva O.O. Integrovani doslidzhennja z udoskonalennja obladnannja burovoї ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencії MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.I. – Kh.: NTU «KhPI». – 1664 p., 617.
 13. Bojko V.A., Savik V.M., Bukhhalo S.I., Agejcheva O.O. Kompleksne doslidzhennja integrovanoi bezpechnoi dijial'nosti burovoї ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencії MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.I. – Kh.: NTU «KhPI». – 1664., 555.
 14. Krat D.A., Savik V.M., Bukhhalo S.I., Agejcheva O.O. doslidzhennja z udoskonalennja talevoї sistemi burovoї ustanovki. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencії MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.I. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 1664 p., 598.
 15. Krat D.A., Savik V.M., Bukhhalo S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja integrovano go pidvishhennja fontanni bezpeki procesu burinnja pri osvoenni sverdlolini Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencії MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.I. – Kh.: NTU «KhPI». – 1664 p., 594.
 16. Tacij I.S., Savik V.M., Buhkalo S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja diї universal'nogo gidravlichnogo rozshirjuvacha na riznih rezhimah burinnja. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXHII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencії MicroCAD-2024, 22-25 travnja 2024 r. / za red. prof. Sokola Є.I. – Kh.: NTU «KhPI». P. 635.
 17. Bukhhalo S.I. Tehnologija osnovnih harchovih virobničtv u prikladah i zadachah (prikjadi ta testi z tehnologії krohmajju). 2-ge vid. dop.: ch. 2. [tekst] pidručnik z grifom MON. K «Centr uchbovoї literaturi»: 2019, 108 p.
 19. Bukhhalo S.I. Udoskonaljuvannya metodiv ocinki znan' studentiv vishhijh navchal'nih zakladiv. Visnik NTU «KhPI». Kh.: 2014. № 16. Pp. 3–11.
 20. Bukhhalo S.I. Kompleksnih innovacijni sistemi vikladannja disciplini suchasni tehnologії harchuvannja – modeli programuvannja.. Visnik NTU «KhPI». 2022. № 2 (1364), pp. 65–77.
 21. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Belyanskiy O.M., Rozhenko I.V., Abakumov A.A. Didactic materials perception activating methods in distance education. Visnik NTU «KhPI». Kh.: NTU «KhPI». 2024, № 1, pp. 61–70.
 22. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Belyanskiy O.M., Rozhenko I.V., Abakumov A.A. Innovative approaches to teaching foreign languages at higher educational institutions. Visnik NTU «KhPI». 2023, № 2, pp. 18–27.
 23. Krat D.A., Savik V.M., Bukhhalo S.I., Agejcheva O.O. Priklad proektuvannja obladnannja za ocinkoju tehničnogo stanu germetizujuchih elementiv protivikidnogo mehanizmu. Visnik NTU «KhPI». Kh.: 2024, № 2, pp. 71–79.
 24. Kucik O.M., Savik V.M., Bukhhalo S.I., Agejcheva O.O. Priklad proektuvannja obladnannja za ocinkoju tehničnogo stanu germetizujuchih elementiv protivikidnogo mehanizmu. Visnik NTU «KhPI». Kh.: 2024, № 2, pp. 80–90.
 25. Bukhhalo S.I.. Algoritmi navchannja studentiv politehničnoї osviti. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej HXHII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencії MicroCAD-2024, 17-20 travnja 2024 r / za red. prof. Sokola Є.I. – Kh.: NTU «KhPI».
 26. Bukhhalo S.I. Kompleksni sistemi vikladannja disciplini osnovi proektuvannja obladnannja himičnih virobničtv jak spivpracija asociacij EFCE ta CFE-UA № 1 (2022): Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «KhPI». Serija: Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv, pp. 13-22.
 27. Bukhhalo S.I. Vibir sinergetičnih modelej rozrobki kompleksnoi utilizacії polimernoї tari i pakuvannja pislja zavershennja terminiv ekspluatacії. № 1 (2023): Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «KhPI». Serija: Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv, pp. 69-77.
 28. Bojko V.A., Savik V.M., Bukhhalo S.I., Agejcheva O.O., Proektuvannja obladnannja sinergetičnih procesiv himičnoї inzhenerії za modeljami doslidzhennja modernizacії burovoї ustanovki. № 1 (2024): Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu «KhPI». Serija: Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv, pp. 71-82.
 29. Selez'nov R.V., Bukhhalo S.I., Energoefektivne proektuvannja dlja stalogo rozvitku ta ekologičnoi bezpeki za algoritmami diї [Elektronnij resurs] / Stalij rozvitok: zahist navkolishn'ogo sere dovishha. Energooshhadnist'. Zbalansovane prirodokoristuvannja : zb. materialiv 10-ї Mizhnar. molodizhnogo kongresu, 27-28 bereznja 2025, Ukraїna, L'viv / Nacional'nij universitet "L'vivs'ka politehnika" [ta in.]. – Elektron. tekst. dani. – Kiїv : Jarochenko Ja. V., 2025. – pp. 169.
 30. Algoritmi stalogo rozvitku ekologičnoi bezpeki kislotnogo gidravlichnogo rozrivu plastu [Elektronnij resurs] / Lizhnjuk O. P., Mihajlovs'ka O. V., Bukhhalo S. I., Agejcheva O. O. // Stalij rozvitok: zahist navkolishn'ogo sere dovishha. Energooshhadnist'. Zbalansovane prirodokoristuvannja : zb. materialiv 10-ї Mizhnar. molodizhnogo kongresu, 27-28 bereznja 2025, Ukraїna, L'viv / Nacional'nij universitet "L'vivs'ka politehnika" [ta in.]. – Elektron. tekst. dani. – Kiїv : Jarochenko Ja. V., 2025. – pp. 171.

31. Kalach D.V., Mihajlovs'ka O.V., Bukhkalov S.I., Agejcheva O.O. Doslidzhennja z udoskonalennja tehnologii ochishhennja plastovih vod sverdlovin za algoritmami dii. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXIII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2025, 14-17 travnja 2025 r / za red. prof. Sokola E.I. – Kh. : NTU «KhPI», – p. 753.
32. Seleznev R.V., Bukhkalov S.I., Iglin S.P. Algorithms for studying experimental data in chemical engineering of titanium dioxide. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXIII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2025, 14-17 travnja 2025 r / za red. prof. Sokola E.I. – Kh. : NTU «KhPI», – p. 716.
33. Bukhkalov S.I. Aheicheva O.O. Smyhun F.R. Advanced professional training peculiarities for future oil and gas specialists. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXIII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2025, 14-17 travnja 2025 r / za red. prof. Sokola E.I. – Kh. : NTU «KhPI», – p. 664.
34. Bukhkalov S.I. Innovacijni doslidzhennja u naukovih robotah studentiv – 15 rokiv roboti Visnika NTU «KhPI». Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dopovidej XXXIII mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii MicroCAD-2025, 14-17 travnja 2025 r / za red. Sokola E.I. – Kh. : NTU «KhPI», – p. 734.

Надійшла (received) 19.12.2024

Відомості про авторів / About the Authors

Калач Денис Віталійович (Kalach Denys Vitaliyovych) – магістрант кафедри нафтогазової інженерії та технологій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна

Михайловська Олена Володимирівна (Mykhailovska Olena Volodimirivna) – кандидат технічних наук, доцент кафедри буріння та геології, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7451-3210> ;

Бухкало Світлана Іванівна (Bukhkalov Svitlana Ivanivna) – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів і апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: bis.khr@gmail.com

Агейчева Олександра Олександрівна (Aheicheva Oleksandra Oleksandrivna) – голова циклової комісії бурових дисциплін Полтавського фахового коледжу нафти і газу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна.

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0140-9604>;

D. V. KALACH, O. V. MYKHAILOVSKA, S. I. BUKHKALO, O. O. AHEICHEVA

FOUNDATIONS OF HYDROCARBON DEVELOPMENT AND EXPLOITATION BY INNOVATIVE MODELS OF OIL AND GAS TECHNOLOGIES RESEARCH

The materials of the article consider examples from a review of modern technologies for studying the possibilities of environmental protection of integrated processes of sustainable development of hydrocarbon development and exploitation by innovative models of oil and gas technologies. Innovative research takes into account known factors of pollution by petroleum products and oil industry wastewater, which affects the humus state, acid-base balance, content of mobile forms of nitrogen and phosphorus, enzymatic activity and chemical composition of water extract of soil, salt composition of groundwater in the territory of a particular production. The chemical composition of oil formation waters in different areas is different, which is due to their formation in the natural environment. Due to corrosion of pipelines, violation of technology and terms of operation, about three bursts of oil pipelines and water pipelines of formation water occur during the year. The average volume of oil and brine discharges per burst is approximately 5m3. Data analysis in geology as an environmental component was carried out taking into account step-by-step action algorithms in accordance with the developed regulatory and technical documentation.

Keywords: geochemistry of oil, gas, formation waters, geological and hydrodynamic modeling of hydrocarbon deposits; innovative oil and gas technologies: development and operation of hydrocarbon deposits and underground gas storage. Modeling of oil and gas deposits. Geostatistics. Mathematical statistics and processing of geological data.