

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 504.06; 621.373; 772.99

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-1(25)-31-41

*О. М. Мандрик¹, Я. О. Адаменко¹, М. І. Мосюк¹,
Б. В. Карпінський¹, Я. М. Бажалук², С. В. Шумега²*

*¹Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,*

²Науково-виробнича фірма «Інтекс»

РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ОЧИЩЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ, ОБ'ЄКТАМИ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

В роботі запропоновано та обґрунтовано застосування лазерних детекторів вуглеводнів для оперативного визначення зон їх найбільшої концентрації на територіях з деградованими нафтогазовими свердловинами та гірничими виробками, пробуреними у Карпатському регіоні України, Польщі та Румунії в ХІХ-ХХ ст. Для отримання достовірної інформації про рівень забруднень території регіону запропоновано застосовувати вимірювальний комплекс на базі квадрокоптера, обладнаного детекторами вимірювання вуглеводнів для оперативного визначення зон найбільшого забруднення у складі лазерного детектора метану, обладнання Lidar та GPS навігатора.

Використовується також наземний вимірювальний комплекс для оцінки рівня забруднень нафтою та природним газом приповерхневих шарів атмосфери, ґрунтів та гірських порід четвертинних відкладів у складі:

- спеціального пробовідбірника для оцінки рівня забруднень нафтопродуктами ґрунтів та четвертинних відкладів;
- установки для дослідження на насипних моделях процесів фільтрації нафтоводяних сумішей у ґрунтах та четвертинних відкладів;
- спеціального георадара з можливістю сканування ґрунтів та гірських порід на глибину до 40 м.

У статті обґрунтовано використання отриманої від вимірювальних комплексів інформації для побудови інтерактивної карти загазованості та забруднень нафтою територій регіону. Для розроблення комплексу технологій і обладнання очищення територій від вуглеводнів запропонована методика використання інформації про рівні загазованості та забруднень вуглеводнями регіону. Запропоновано розроблення наступних технологій та обладнання очищення територій:

- технології екологічно безпечної повторної ліквідації деградованих нафтогазових свердловин, в яких пластові тиски у продуктивних пластах складають не більше 0,1 гідростатичного тиску у свердловині.

- технології екологічно безпечного вилучення вуглеводнів із деградованих нафтогазових свердловин, в яких пластові тиски у продуктивних пластах складають більше 0,5 гідростатичного тиску у свердловині;

- технології рекультивації забруднених нафтою ґрунтів з допомогою мобільних установок для очищення та утилізації ґрунтів в складних гірсько-геологічних умовах;

- технології використання природного газу із деградованих свердловин та гірничих виробок для отримання електричної енергії з використанням когенераційних установок. З цією ж метою можливе застосування паливних елементів, що використовують метан для прямого перетворення хімічної енергії на електричну;

- технічного завдання на виготовлення та випробування експериментального зразка мобільної установки для очищення забруднених нафтою ґрунтів.

Ключові слова: лазерний детектор метану, нафтогазові родовища, карта забруднень довкілля вуглеводнями.

Постановка проблеми. Актуальність напрямку досліджень полягає в потребі отримання достовірної інформації про розміри площ забруднень та впливів на довкілля великої кількості вуглеводнів, які вже відбулися та в подальшому створюють значне негативне техногенне навантаження на атмосферне повітря, родючі землі, ґрунтовий покрив, а також на пластові прісні води, які залигають на глибинах до 1000 м.

На даний час не існує єдиної державної методики визначення зон забруднень вуглеводнями (нафтою та природним газом) усього Карпатського регіону, джерелом яких є гірничі виробки (так звані копанки) та ліквідовані або законсервовані нафтогазові свердловини, які були пробурені у XIX та XX століттях. Також не існує науково обґрунтованої класифікації рівнів сумарного впливу на довкілля нафтових виливів та витоків природного газу, основним складником якого є парниковий газ метан.

За архівними даними Карпатського геологічно-нафтового інституту (м. Краків, Польща) [1], у січні 1939 р. на теренах Івано-Франківської (тодішньої Станіславівської) та Львівської областей в експлуатації знаходилося 3645 нафтових свердловин в бурінні 53. Видобуток нафти із вказаних свердловин фактично припинився після 1950 р. у зв'язку із бурінням нових свердловин на більш продуктивні пласти.

У період 1945-1955 рр. проводилась консервація та ліквідація нафтових свердловин пробурених до 1945 р. У свою чергу сумарна кількість пробурених на нафту та газ свердловин у Карпатському регіоні за період 1945-2000 рр. становить не менше 3500 з них більше 60% законсервовано та ліквідовано [2]. Таким чином, у регіоні на сьогодні знаходиться біля 6000 законсервованих та ліквідованих нафтогазових свердловин які є потенційно небезпечними для довкілля Карпатського регіону.

За нашою оцінкою, біля 1000 свердловин та гірничих виробок візуально не визначаються, у зв'язку із зміною рельєфу території протягом XIX-XX ст. та не обліковуються у зв'язку із вказаним, як законсервовані або ліквідовані. Координати вказаних свердловин можна визначити тільки за наявністю нафтових витоків і загазованістю територій старих нафтопромислів, а також за інформацією від спеціалізованого електромагнітного георадара.

Основними причинами нафтових витоків та загазованості території у місцях локалізації старих нафтогазових свердловин є:

- ендегенні геологічні процеси у сейсмічно активній зоні складчастої Карпатської дуги;
- неякісне цементування обсадних колон свердловин, а у більшості випадків і відсутність цементу у позаколонному просторі свердловин пробурених до 1945 р;
- неякісно проведені роботи з ліквідації (консервації) свердловин у період 1945-1950 рр.

У Карпатському регіоні не проведені детальні дослідження щодо визначення рівня забруднення ґрунтів та підземної прісної води за рахунок фільтрації вуглеводнів у ґрунтовий та четвертинний покриви від старих нафтопромислів із деградованими нафтогазовими свердловинами. Існує потреба у проведенні наступних досліджень:

- відбір та аналіз проб води, ґрунтів та порід четвертинних відкладів з глибин до 50 м;
- дослідження процесів фільтрації прісної води та вуглеводнів у ґрунтах та четвертинних відкладах на насипних моделях пластів;
- оцінювання зон забруднень ґрунтів та прісних вод Карпатського регіону на основі інформації від створеної мережі спостережних свердловин глибиною 20-50 м.

Для прикладу, в Івано-Франківській області на старих нафтопромислах (родовища Космач – Верховинський район, Кубаш, Майдан, Надія – Надвірнянський район та ін.) внаслідок природного відновлення пластових тисків та порушення герметичності старих обсадних колон спостерігаються прояви самовиливу нафти і мінералізованих пластових вод, а також викиди газу (рис. 1).

Від вказаного на рисунку самовиливу нафти до ріки Бистриця Солотвинська – 500 м. Фільтрація нафти у гравійних відкладах заплави ріки Бистриця Солотвинська в сторону русла ріки відбувається з 1943 р. У 2017 р. під час спроб буровою компанією «НАДРА» та НВФ «ІНТЕКС» ліквідувати самовилив нафти із свердловини, дебіт свердловини за нафтою оцінювався до 0,8 тонн/добу. Таким чином, за період 1943-2021 рр. самовиливи нафти орієнтовно складають 25000 тонн.

Для оцінки кількості природного газу, який виділяється із деградованої свердловини Надія-2 старого нафтопромислу Надія (рис. 2), проведені вимірювання концентрацій природного газу з допомогою інфрачервоного лазерного детектора газу у місці виливу нафти із свердловини.

Орієнтовний дебіт газу складає 200-300 м³/добу. За період 1943-2021 рр. ймовірна кількість природного газу, виділена свердловиною в атмосферу, складає 8564400 м³. В основному це парниковий газ метан.



Рис. 1. Нафтові витoki із деградованої свердловини у районі с. Яблунька, Івано-Франківської області



Рис. 2. Свердловина Надія-2 старого нафтопромислу Надія

За нашими підрахунками кількість подібних свердловин у Карпатському регіоні України може бути у межах від 1000 до 2000. Кількість природного газу, виділена свердловинами у атмосферу за вказаний період, буде становити біля 2 млрд. м³.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні існує проблема отримання науково підтвердженої інформації про стан забруднення усього Карпатського регіону України, Польщі та Румунії, на територіях яких нафтогазовидобуток проводиться з XIX століття.

Як показали дослідження Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна [2], розроблення і створення методів і технічних засобів контролю концентрацій шкідливих і небезпечних речовин, що викидаються з організованих і неорганізованих джерел промислових підприємств, які б були позбавлені недоліків пробовідбірних методів періодичного контролю і давали змогу організації оперативного постійного контролю без втручання в потік викидів є невідкладною сучасною проблемою для створення безпечних умов праці та життя населення у промислово навантажених районах.

Також ця потреба викликана відповідними міжнародними зобов'язаннями, які Україна прийняла на себе, а саме виконання положень Кіотського протоколу [4] потребує проведення

постійного безперервного контролю за викидами парникових газів у атмосферу від усіх підприємств країни.

Проведені в Харківському національному університеті ім. В. Н. Каразіна дослідження дозволили створити та випробувати універсальний автоматизований лазерний комплекс контролю забруднення атмосфери, перевагами якого є наступне: висока чутливість, точність і вибірковість методу; значна відстань зондування атмосфери (до 5 км); автоматизоване комплексне дослідження джерел викидів; великий перелік інгредієнтів, що контролюються; малий час виміру концентрацій до 10 секунд на одну речовину; відсутність відбору проб викидів; можливість формування комп'ютерної бази даних по забруднювачах та інгредієнтах; можливість організації стаціонарного пункту спостереження.

Основним недоліком цього методу є те, що він ефективний тільки для використання при оцінюванні рівня забруднень приземного шару атмосфери різного виду шкідливими газами та аерозолями. Метод не дозволяє дистанційно оцінити площі розливів нафти та ареали розповсюдження нафти по латералі у ґрунтах та четвертинних відкладах.

Відомі дослідження [5] з використанням лідарних методів виявлення нафтових забруднень акваторій Світового океану з використанням методів дистанційного оконтурення плям нафти й нафтопродуктів на поверхні акваторій.

Авторами розроблені радіофізичні методи для вирішення зазначеної задачі, засновані на принципі розходження контрастності оптичних, теплових і радіоактивних властивостей гідроповерхні “чистої” води і забрудненою нафтою і нафтопродуктами. Створені методи, крім високої оперативності, дозволяють виявляти й оконтурювати забруднення одразу після розливу нафти, коли ще при малих витратах реально здійснити повне очищення акваторії.

Під час розливу нафти, як встановлено вченими, на поверхні акваторії утворюється нафтовий шар товщиною в декілька сантиметрів (2-6 см), що через декілька годин розпливається на значну площу (літр нафти на 1 га), при цьому товщина плівки досягає 0,1-0,01 мм. Через кілька діб товщина плівки зменшується до молекулярного шару і при цьому частина нафти емульгує й знаходиться в товщі води у вигляді включень. Нафтова плівка приводить до виникнення температурного контрасту між чистою водою й водою, забрудненою нафтопродуктами: 1) зменшенням швидкості випаровування з поверхні води через придушення нафтовою плівкою високочастотних водних хвиль; 2) зміна випромінювальної здатності забрудненої поверхні води через більш високий коефіцієнт відбиття нафтопродуктів; 3) більш низька теплопровідність нафти і нафтопродуктів (у 3-6 разів) і теплоємність (1,5-2,5 рази) у порівнянні з “чистою” водою.

Оптичні властивості чистої води також істотно відрізняються від властивостей води, забрудненої нафтопродуктами. Для чистої води в океані довжина хвилі максимально розсіяного світла в близькій УФ і видимій області спектра дорівнює 470 нм, коефіцієнт заломлення $n=1,3$, кут Брюстера 53°. У забрудненій нафтопродуктами воді за рахунок електронних переходів легкі фракції нафти, що є присутніми у нафтових плівках на поверхні води і поглинаючі випромінювання в області 300 нм, можуть давати люмінесценцію в діапазоні 360-460 нм; більш важкі фракції поглинають в області 370 нм і дають люмінесценцію в області 520 нм.

В ІЧ-області коефіцієнт заломлення нафти більший, ніж у води, що обумовлює більш високий коефіцієнт відбивання від нафтових плівок. Істотно відрізняються і поляризаційні характеристики. Однак, істотне обмеження застосуванню цього методу створюють сильні вітри (швидкість більша 5-8 м/с), при яких характер хвилювання не визначається наявністю на поверхні води нафтопродуктів. Не досліджено також використання вказаного методу для виявлення нафторозливів на суші.

В останні роки активно створюються моделі ландшафту на основі лазерного сканування [6]. Моделі ландшафту східних районів Польщі, створені у цифровому картографічному вигляді в Люблінському католицькому університеті імені Іоана Павла II, можуть бути застосовані для досліджень з оцінки площ забруднень нафтою територій нафтопромислів [6]. Такі моделі реально відображають також мікроформи рельєфу у тривимірному (3D) зображенні. Незважаючи на те, що вони тільки в останні роки доступні в Україні, дослідники форм рельєфу (серед яких геоморфологи, археологи та ін.) стараються їх активно застосовувати. Ця нова форма представлення рельєфу у ландшафті вимагає нових методів і підходів, але дає можливість також вирішити ряд науково-дослідницьких проблем і відкриває поле для подальших перспективних досліджень. Основні переваги авіаційного лазерного сканування перед наземними (польовими) дослідженнями – це можливість проведення великомасштабних за площею досліджень за

короткий час і можливості оперативного детального опрацювання та представлення матеріалів спостережень у цифровому картографічному вигляді.

Автором [7] розроблена інформаційна технологія оцінювання параметрів стаціонарних та пересувних джерел викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря. Ця технологія відрізняється від існуючих запропонованими методом оцінювання параметрів понаднормативних викидів стаціонарних джерел за нечіткими експертними оцінками. Воно базується на методі оцінювання параметрів стаціонарних джерел викидів на основі моделі Гаусса за даними оперативного моніторингу зони розсіювання з використанням БПЛА та методом обробки даних моніторингу параметрів пересувних джерел викидів з використанням нечіткої бази знань. Така технологія дозволяє підвищити точність та ефективність визначення параметрів викидів із різних джерел. Також вказана технологія може застосовуватися для оцінювання рівня забруднень атмосферного повітря в районах пересування великих потоків транспортних засобів (шосе, залізничні колії тощо) і не передбачає проведення замірів рівня забруднень з поверхні землі.

Постановка завдання. Виходячи з вище означеного аналізу проблеми та вже накопиченого науково-практичного досвіду перед нами постали наступні завдання:

1. Розробити, виготовити та провести випробування вимірювального комплексу ВК- БПЛА для оперативного визначення на територіях Карпатського регіону з допомогою лазерних детекторів метану зон найбільшої концентрації природного газу та оцінювання площ забруднень територій нафтопродуктами з використанням обладнання лазерного сканування Lidar.

Зважаючи на зміну рельєфу територій за минулі 150 років і відсутності у багатьох випадках фонтанної арматури та залишок обсадних колон старих нафтогазових свердловин, необхідно провести на попередньому етапі роботи з оцінки рівня забруднень територій нафтою та газом з використанням вимірювального комплексу на базі спеціалізованого квадрокоптера із змонтованим на його борту лазерним детектором метану, обладнанням Lidar та GPS навігатором, що значно прискорить проведення робіт з пошуку гірничих виробок та наступних робіт з ліквідації забруднень. Вказаний вимірювальний комплекс дозволить у короткі строки оцінити об'єми витоку природного газу та площ забруднення нафтопродуктами із деградованих гірничих виробок та нафтогазових свердловин, збудованих у XIX-XX ст. на територіях регіону.

2. Розробити, виготовити та провести випробування обладнання для вибіркового наземних вимірювань рівня забрудненості газом та нафтопродуктами територій Карпатського регіону з метою уточнення координат деградованих свердловин на основі інформації отриманої з ВК БПЛА, геомагнітного радара ACULA 9000C, а також оцінки рівня забруднень нафтопродуктами ґрунтів та четвертинних відкладів в межах територій старих нафтопромислів.

3. Провести польові та лабораторні дослідження із визначення зон концентрації вуглеводнів на територіях старих нафтових промислів з використанням вимірювального комплексу ВК БПЛА та обладнання для наземних вибіркового вимірювань рівня забрудненості вуглеводневими газами та нафтопродуктами територій регіону. Визначити координат старих свердловин та гірничих виробок на основі отриманої інформації. Розробити інтерактивну карту загазованості та забруднення нафтопродуктами територій Карпатського регіону з фіксацією визначених зон концентрації вуглеводнів та координатами усіх ліквідованих (законсервованих) свердловин.

4. Розробити алгоритми оцінювання загазованості та забруднень нафтою територій нафтопромислів Солотвинської та Надвірнянської ОТГ Івано-Франківської області, на основі даних від ВК БПЛА та даних вибіркового наземних вимірювань рівня забруднень.

5. Розробити технологій та обладнання для забезпечення очищення територій Карпатського регіону України від забруднень вуглеводнями.

Методика та методологія досліджень. У дослідженнях використані наступні методи:

- математичне моделювання поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі;
- оцінки впливу на роздільну здатність інформаційно-вимірювальної системи ВК-БПЛА, в умовах різних концентрацій метану, температури і швидкості руху повітря та кількості аерозольних частинок у повітрі;
- оцінки швидкості фільтрації прісної води і нафти по латералі у ґрунтах та незцементованих гірських породах.

Дослідження направлені на:

- а) вивчення процесів розповсюдження нафти та супутнього природного газу у приповерхневих шарах атмосфери, ґрунтах та четвертинних відкладах на територіях старих

нафтопромислів Карпатського регіону. Забруднення території вуглеводнями відбувається в умовах дії ендегенних геологічних процесів у сейсмічно активній зоні Карпатської складчастої дуги та процесів деградації нафтових свердловин і гірничих виробок.

Вказані процеси сприяють створенню каналів (тріщин) в ізолюючих свердловини та гірничі виробки агентах, по яких вуглеводневі флюїди переходять у атмосферу та навколо свердловинне середовище.

У ряді випадків, у продуктивних пластах відбувається підвищення пластового тиску, яке може бути обумовлено тектонічними рухами, температурою, хімічними процесами, підвищенням вмісту газу у нафті за рахунок фільтрації газу у вище залягаючі продуктивні пласти з глибин земної кори по тріщинах і розломах, міжпластовими перетіканнями флюїдів та іншим. Процеси підвищення пластового тиску активізують розповсюдження флюїдів у довкіллі.

Окрім того, надзвичайно важливими для переміщення нафти та природних газів у ґрунтовому покриві та четвертинних відкладах з утворенням забруднених вуглеводнями ділянок є техногенні канали руху вуглеводнів, що в основному з'являються на територіях старих нафтопромислів. До них відносяться старі гірничі виробітки, ліквідовані та діючі свердловини, нафтогазова інфраструктура (пункти збору вуглеводнів, газонафтопроводи, бурові амбари). Усі вони ніколи не були герметичними, велика кількість їх самоліквідувалася через втрату достатнього видобутку рідких вуглеводнів. В результаті, в землі залишилося десятки кілометрів гірничих виробіток, що є провідниками блукаючих приповерхневих вуглеводнів [8].

б) розроблення геоінформаційної системи (ГІС) для проведення детальної газодобітної зйомки територій нафтогазовидобутку та виявлення на територіях розливів нафти із використанням даних квадрокоптера з лазерними детекторами для визначення зон найбільшої концентрації вуглеводнів. Детектори встановлені на квадрокоптер дозволяють обстежити райони старих родовищ нафти і газу і знаходити місця витоків метану та нафтових розливів з гранично малих висот, а також фіксувати на Google Maps[®] або Google Earth Pro[®] місця знайдених витоків за допомогою вбудованого GPS-навігатора.

Застосування ГІС-технологій у поєднанні з вибірковими наземними контактними методами контролю є ефективним інструментом виявлення та дослідження рівня небезпек для навколишнього природного середовища та населення [9]. Подальші дослідження будуть спрямовані на математичний опис динаміки конвекційного підйому природного газу в атмосферному повітрі для різних метеорологічних умов, а також визначення рівня екологічної небезпеки в результаті сумарного впливу на довкілля природного газу та розливів нафти.

Витоки метану у місцях знаходження старих свердловин є стаціонарними джерелами забруднення атмосферного повітря. Середнє значення вмісту метану у повітрі, протягом тривалого часу в районі знаходження свердловини, незначно змінюється під впливом метеорологічних умов та інших чинників, у тому числі і геологічних. Концентрація метану за час, необхідний для вимірювального комплексу на БПЛА (ВК-БПЛА), для фіксації усіх точок вимірювань, не зазнає істотних змін і тому процес витoku метану, за цих умов, можна буде вважати стаціонарним. У той же час, для виконання такої умови, кількість точок вимірювань повинна бути достатньо малою. А отже, необхідна методика їх вибору для забезпечення максимуму корисної інформації з мінімальної кількості точок, тобто щоб отримати достатньо точну оцінку вмісту метану у гирлі заданого стаціонарного джерела викидів.

Метод, який буде запропонований, полягає у тому, що за допомогою ВК-БПЛА спочатку проводиться аналіз метеорологічних умов та інших параметрів. Умови задачі уточнюються і, з ними уточняється аналітичний вираз рівняння моделі поширення метану в атмосферному повітрі для усіх параметрів моделі, які розраховуються за різними методиками [7]. Однією із найбільш поширених серед цих моделей є модель розсіювання забруднюючих речовин Гаусса. Відповідно до неї приземна концентрація на осі факела стаціонарного джерела забруднення атмосфери визначається за формулою:

$$C(x, y, z) = \frac{Q \times K \times V(x, h_e)}{2\pi \times u_s \times \sigma_y(x) \times \sigma_z} \times \exp \left[-0,5 \times \left(\frac{y^2}{(\sigma_y(x))^2} \right) \right],$$

де $C(x, y, z)$ – концентрація забруднюючої речовини, що викидається, в точці з координатами x, y, z , мкг/м^3 ; Q – об'єм викиду речовини, г/с ; K – коефіцієнт перерахунку (1×10^6); V – вертикальні умови розсіювання; h_e – ефективна висота джерела викиду (залежить від метеоумов та відстані від джерела), м ; u_s – швидкість вітру на ефективній висоті джерела викидів, м/с ; $\sigma_y(x)$ – стандартне

відхилення розсіювання по горизонталі, м; $\sigma_z(x)$ – стандартне відхилення розсіювання по вертикалі, м; y – бокове відхилення від осі факелу, м.

З використанням вказаного математичного апарату будуть розроблені алгоритми для ВК-БПЛА з метою визначення зон концентрації метану у приповерхневому шарі атмосфери. Окрім того, використовуючи карту зон витоку вуглеводнів з максимальною концентрацією метану, буде проводитися наземна газодобітна зйомка, у вказаних зонах, для уточнення концентрації та об'ємів витоку метану з допомогою чутливого лазерного детектора.

З метою оцінки впливу на роздільну здатність інформаційно-вимірювальної системи ВК-БПЛА, в умовах різних концентрацій метану, температури і швидкості руху повітря та кількості аерозольних частинок у повітрі в ІФНТУНГ розроблена лабораторна установка для визначення роздільної здатності різних типів лазерних інфрачервоних детекторів метану під час проведення замірів концентрації метану.

Установка дозволяє:

- змінювати концентрацію метану у повітрі;
- змінювати швидкість повітря його вологість та температуру;
- змінювати кількість різних аерозольних частинок у повітрі.

Проведені дослідження показали, що для метеорологічних умов Карпатського регіону при проведенні замірів концентрації метану з допомогою БПЛА з лазерним детектором, необхідно використовувати детектори з вертикальною кутовою роздільною здатністю не менше $0,05^\circ$, та частотою повторення лазерних імпульсів не менше 1000 кГц. Вказані параметри будуть коректними для швидкостей горизонтального польоту БПЛА до 20 км/год та висоти польоту до 50 м.

За допомогою інфрачервоного лазерного детектора та георадара ACULA 9000с також будуть визначатись місця забруднення природним газом та нафтою ґрунтів на територіях нафтових родовищ, що дасть можливість використовувати отриману інформацію для уточнення координат усіх гірничих виробок на територіях старих нафтопромислів та визначати рівні забруднень територій нафтою і природним газом.

Виклад основного матеріалу. Для попередньої оцінки кількості природного газу, який виділяється із деградованих нафтових свердловин, проведені вимірювання концентрацій природного газу в районі виливів нафти із свердловини Надія-2 старого нафтопромислу Надія в Богородчанському районі Івано-Франківської області (рис. 3) з допомогою інфрачервоного лазерного детектора газу ELLI Esilers. Вимірювання проводились на лінії вісі факелу газу та по радіусу у 2 м від вісі, на висоті 3 м від гирла свердловини. Швидкість вітру на ефективній висоті джерела витоку газу становила 0,5 м/с.



Рис. 3. Вимірювання концентрацій природного газу в районі витоків нафти із свердловини Надія-2

В подальшому, наша наукова робота буде виконуватися за наступним алгоритмом:

1. Розроблення, виготовлення та випробування комплексу ВК-БПЛА для визначення зон найбільшої концентрації природного газу та розливів нафтопродуктів на території Карпатського регіону з використанням лазерних інфрачервоних детекторів вуглеводнів. Цей етап містить такі різновиди науково-дослідних робіт:

- розроблення та випробування лабораторної установки для проведення досліджень роздільної здатності лазерних детекторів метану в різних кліматичних умовах Карпатського регіону;

- проведення лабораторних досліджень різних типів лазерного інфрачервоного детектора метану в умовах зміни концентрацій метану, значень температури повітря, швидкості руху повітря, та кількості аерозольних частинок у повітрі;

- проведення лабораторних досліджень з визначення можливості заміру площ забруднень нафтопродуктами територій регіону з допомогою лазерних детекторів вуглеводнів;

- розроблення комп'ютерної програми для забезпечення передачі, оброблення та збереження даних на польотному контролері і наземному комп'ютері з пультом управління польотом;

- монтаж, дослідження та лабораторні випробування вимірювального комплексу у складі лазерних інфрачервоних детекторів вуглеводнів, польотного контролера з GPS-навігатором і курсової відеокамери. Проведення випробувань вимірювального комплексу у промислових умовах.

2. Розроблення, виготовлення та випробування обладнання для наземних вимірювань рівня забрудненості нафтопродуктами ґрунтів та четвертинних відкладів, в зонах впливу старих нафтопромислів:

- спеціального пробовідбірника для оцінки рівня забруднень нафтопродуктами ґрунтів та четвертинних відкладів;

- установки для дослідження на насипних моделях процесів фільтрації нафтоводяних сумішей у ґрунтах та четвертинних відкладах;

- спеціального георадара ACULA 9000с з можливістю сканування ґрунтів та гірських порід на глибину до 40 м.

3. Проведення фізико-хімічних лабораторних та польових досліджень:

- відбір проб ґрунтів та взірців четвертинних відкладів з допомогою пробовідбірника

- фізико-хімічний аналіз відібраних проб на наявність вуглеводнів;

- дослідження процесів фільтрації прісної води та нафти у ґрунтах та четвертинних відкладах на спостережних свердловинах та насипних моделях пластів.

4. Проведення замірів концентрації газів метанового ряду та площ забруднення нафтопродуктами на територіях нафтопромислів Солотвинської та Надвірнянської ОТГ Івано-Франківської області з допомогою ВК-БПЛА та обладнанням для наземних вимірювань рівня забруднень.

5. Розроблення алгоритмів оцінки рівня забруднень нафтою та природним газом територій нафтопромислів Солотвинської та Надвірнянської ОТГ Івано-Франківської області, на основі даних від ВК-БПЛА та даних вибіркового наземних вимірювань рівня забруднень. Побудова інтерактивної карти загазованості та забруднень вуглеводнями територій.

6. Розроблення технологій та обладнання для забезпечення очищення територій Карпатського регіону України від забруднень вуглеводнями у складі:

- технології екологічно безпечної повторної ліквідації деградованих нафтогазових свердловин, в яких пластові тиски у продуктивних пластах складають не більше 0,1 гідростатичного тиску у свердловині.

- технології екологічно безпечного вилучення вуглеводнів із деградованих нафтогазових свердловин, в яких пластові тиски у продуктивних пластах складають більше 0,5 гідростатичного тиску у свердловині;

- технології рекультивації забруднених нафтою ґрунтів з допомогою мобільних установок для очищення та утилізації ґрунтів в складних гірсько-геологічних умовах;

- технології використання природного газу із деградованих свердловин та гірничих виробок для отримання електричної енергії з використанням когенераційних установок. З цією ж метою можливе застосування паливних елементів, що використовують метан для прямого перетворення хімічної енергії на електричну;

- технічного завдання на виготовлення та випробування експериментального зразка мобільної установки для очищення забруднених нафтою ґрунтів.

Результатами запропонованих науково-дослідних робіт будуть наступні технології та обладнання:

а) інформаційно-вимірювальний комплекс на базі квадрокоптера ВК-БПЛА для визначення зон найбільшої концентрації вуглеводнів на територіях Карпатського регіону України;

б) інтерактивна карта загазованості і забруднень нафтопродуктами територій Карпатського регіону з координатами усіх ліквідованих (законсервованих) свердловин;

в) алгоритм оцінювання рівня забруднень нафтою та природнім газом територій нафтопромислів в межах Солотвинської та Надвірнянської ОТГ Івано-Франківської області;

г) технологічна документація на технології екологічно безпечної ліквідації деградованих нафтогазових свердловин та вилучення вуглеводнів із деградованих нафтогазових свердловин, а також технології рекультиваци забруднених нафтою ґрунтів та використання природного газу із деградованих свердловин та гірничих виробок для отримання електричної енергії.

д) технічне завдання на виготовлення та випробування експериментального зразка мобільної установки для очищення забруднених нафтою ґрунтів.

Висновки. Запропонована та обґрунтована концепція проведення детальних науково-дослідних робіт у Карпатському регіоні України із застосуванням лазерних детекторів вуглеводнів для оперативного визначення зон найбільшої концентрації вуглеводнів із деградованих нафтогазових свердловин та гірничих виробок, пробурених у Карпатському регіоні у ХІХ-ХХ ст. Для отримання достовірної інформації про рівень забруднень вказаної території запропоновано застосовувати вимірювальний комплекс на базі квадрокоптера, обладнаного детекторами вуглеводнів для оперативного визначення зон найбільшого забруднення, а також наземний вимірювальний комплекс для оцінки рівня забруднень вуглеводнями приповерхневих шарів атмосфери, ґрунтів та гірських порід четвертинних відкладів. Отримана від вимірювальних комплексів інформація буде використовуватися для побудови інтерактивної карти загазованості та забруднення нафтопродуктами територій регіону та подальшого розроблення комплексу технологій і обладнання для очищення територій від вуглеводнів із ліквідованих нафтогазових свердловин та гірничих виробок. Реалізація запропонованої концепції дасть можливість значно покращити екологічну ситуацію у Карпатському регіоні нашої держави.

Література

- 1 Kopalnictwo Naftowe w Polsce // Karpacki Instytut Geologiczno-Naftowe, 1939 r. , Nr. 1
- 2 Geoinf.kiev.ua [інтернет-портал]. ДНВП “Геоінформ України” 2016-2022 URL:<https://geoinf.kiev.ua/>
- 3 Черногор, Л. Ф., Рашкевич, О. С. Автоматизованний лазерний комплекс оперативного контролю концентрації забруднюючих речовин в атмосфері // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – том 2 №10(62), – 2013. – с. 39-42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.12752>.
- 4 Постанова Кабінету Міністрів України від 22 лютого 2008 р. №221 «Порядок розгляду, схвалення та реалізації проектів цільових екологічних (зелених) інвестицій у період дії зобов’язань сторонами Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату Кіотський протокол // режим доступу URL :<https://www.kmu.gov.ua/npas/120279643>
- 5 Сушинська М. М., Турчик П. М. Методи визначення ступеня екологічної небезпеки від забруднення акваторій нафтою та нафтопродуктами // Зб.наук.доп. II-й Всеукр. з’їзд екологів з міжнародною участю – Вінницький національний технічний університет – 2009. – с.76-76.
- 6 Козак І., Козак Г. Перспективи застосування авіаційного лазерного сканування (ALS) у моделюванні рельєфу [Текст] // Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій : збірник наукових праць / Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка – Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, том 7, № 1 – 2017. – с.123-135. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2017.07.1967>.
- 7 Дзюняк Д. Ю. Інформаційна технологія оцінювання параметрів викидів речовин за даними оперативного моніторингу забруднення атмосферного повітря // Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2017. – 25 с.
- 8 Романюк О. І. Комплексний екологічний моніторинг нафтозабруднених територій на прикладі м. Борислава / О. І. Романюк, Л. З. Шевчик // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2013. – № 5. – с.19-22.

9 Рашкевич Н.В., Цитлішвілі К.О. Дослідження небезпеки продуктів розкладання в місцях депонування твердих побутових відходів // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Вип. 3/2018(110). С. 97-102.

*O. Mandryk¹, Ya. Adamenko¹, M. Mosyuk¹,
B. Karpynskyi¹, Ya. Bazhaluk², S. Shumega²*

¹*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas,
²Research and Production Company "Intex"*

DEVELOPING THE CONCEPT OF POLLUTION CLEANING FOR THE OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN THE CARPATHIAN REGION OF UKRAINE

This paper proposes and substantiates the use of laser detectors of hydrocarbons to quickly determine the zone of their highest concentration in the areas with degraded oil and gas wells and mines drilled in the Carpathian region of Ukraine, Poland, and Romania in the XIX-XX centuries. To obtain reliable information on the level of pollution in the region, it is proposed to use a measuring complex consisting of the laser methane detector, Lidar equipment, and GPS navigator installed on a quadcopter equipped with hydrocarbon measuring detectors to rapidly determine the areas of greatest pollution.

A terrestrial measuring complex is also used to assess the level of oil and natural gas pollution of the near-surface layers of the atmosphere, soils, and rocks of Quaternary sediments consisting of:

- a special sampler to assess the level of contamination of soils and Quaternary sediments by oil products;

- installations for research on bulk models of filtration processes of oil-water mixtures in soils and Quaternary deposits;

- special georadar ACULA 9000c with the ability to scan soils and rocks to a depth of 40 m.

The article substantiates the use of information obtained from measuring systems to build an interactive map of gas and oil pollution in the region. To develop a set of technologies and equipment for cleaning areas from hydrocarbons, a method of using information on the levels of gas pollution and hydrocarbon pollution in the region is proposed.

The development of the following technologies and equipment for cleaning areas is proposed:

- technologies of ecologically safe reliquidation of degraded oil and gas wells, in which formation pressures in productive formations do not exceed 0.1 hydrostatic pressure in the well;

- technologies of ecologically safe extraction of hydrocarbons from degraded oil and gas wells, in which formation pressures in productive formations are more than 0.5 hydrostatic pressure in a well;

- technologies of reclamation of oil-contaminated soils with the help of mobile installations for cleaning and utilization of soils in difficult geological and mining conditions;

- technologies for the use of natural gas from degraded wells and mines to generate electricity using cogeneration units. For the same purpose, it is possible to use fuel cells that use methane to directly convert chemical energy into electricity;

- terms of reference for the manufacturing and testing of an experimental sample of the mobile installation for cleaning oil-contaminated soils.

Key words: laser methane detector, oil and gas fields, hydrocarbon pollution map.

References

- 1 Kopalnictwo Naftowe w Polsce // Karpacki Instytut Geologiczno-Naftowe, 1939 r. , Nr. 1
- 2 Geoinf.kiev.ua [internet-portal]. DNVP "Heoinform Ukrainy" 2016-2022
URL:<https://geoinf.kiev.ua/>
- 3 Chornohor, L. F., Rashkevych, O. S. Avtomatyzovanyi lazernyi kompleks operatyvnoho kontroliu kotsentratsii zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferi // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – tom 2 №10(62), – 2013. – s. 39-42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.12752>.
- 4 Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 22 liutoho 2008 r. №221 «Poriadok rozghliadu, skhvalennia ta realizatsii proektiv tsilovykh ekolohichnykh (zelenykh) investytsii u period dii zoboviazan storonamy Kiotskoho protokolu do Ramkovoї konventsii OON pro zminu klimatu Kiotskyi protokol // rezhym dostupu: <https://www.kmu.gov.ua/nps/120279643>
- 5 Sushynska M. M., Turchyk P. M. Metody vyznachennia stupenia ekolohichnoi nebezpeky vid

zabrudnennia akvatorii naftoiu ta naftoproduktamy // Zb.nauk.dop. II-y Vseukr. zizd ekologiv z mizhnarodnoiu uchastiu – Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet – 2009. – s.76-76.

6 Kozak I., Kozak H. Perspektyvy zastosuvannia aviatsiinoho lazernoho skanuvannia (ALS) u modeliuvanni reliefu [Tekst] // Problemy heomorfologii i paleoheohrafii Ukrainskykh Karpat i prylehlykh terytorii : zbirnyk naukovykh prats / Lviv. nats. un-t im. Ivana Franka – Lviv : LNU im. Ivana Franka, tom 7, № 1 – 2017. – s.123-135. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2017.07.1967>

7 Dziuniak D. Yu. Informatsiina tekhnolohiia otsiniuvannia parametriv vykydiv rechovyn za danymy operatyvnoho monitorynhu zabrudnennia atmosferного povitria // Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.13.06. – Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet, Vinnytsia, 2017. – 25 s.

8 Romaniuk O. I. Kompleksnyi ekologichnyi monitorynh naftozabrudnennykh terytorii na prykladi m. Boryslava / O. I. Romaniuk, L. Z. Shevchyk // Visn. Vinnyts. politekhn. in-tu. – 2013. – № 5. – s.19-22.

9 Rashkevych N.V., Tsytlshvili K.O. Doslidzhennia nebezpeky produktiv rozkladannia v mistsiakh deponuvannia tverdykh pobutovykh vidkhodiv // Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Vyp. 3/2018(110). S. 97-102.

Надійшла до редакції 28 квітня 2022 р.