

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

ЯЦИШИН ТЕОДОЗІЯ МИХАЙЛІВНА



УДК 502.17:622.32

**РОЗРОБЛЕННЯ НАУКОВИХ ОСНОВ ЗАПОБІГАННЯ РОЗВИТКУ
ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОЦЕСІВ
НАФТОГАЗОВИДОБУВНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Івано-Франківськ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Шкіца Леся Євстахівна, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри інженерної і комп'ютерної графіки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Попович Василь Васильович, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, начальник Навчально-наукового інституту цивільного захисту;

доктор технічних наук,
Пукіш Арсен Володимирович, ПАТ «Укрнафта», начальник Служби охорони довкілля і моніторингових досліджень;

доктор технічних наук, професор
Цибуля Сергій Дмитрович, Національний університет «Чернігівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, директор навчально-наукового інституту механічної інженерії технологій і транспорту.

Захист відбудеться « 16 » лютого 2021 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.20.052.05 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15 та на сайті спеціалізованої вченої ради Д.20.052.05 за електронною адресою: [http://nung.edu.ua/department/210601-екологічна безпека/](http://nung.edu.ua/department/210601-екологічна_безпека/) /технічні науки/захист-дисертацій.

Автореферат розіслано « 12 » січня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д.20.052.05,
докт. техн. наук, професор



Л.М. Архіпова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Нафтогазова галузь загалом є комплексним об'єктом підвищеної екологічної небезпеки. Значна частина об'єктів нафтогазовидобувного комплексу на всіх етапах життєвого циклу є джерелом підвищеної екологічної небезпеки. Регламентована діяльність, а також непередбачувані аварійні ситуації даних об'єктів супроводжуються порушенням природного стану атмосфери, ґрунтів, водоймищ, пластових вод. На даний час у всіх регіонах земної кулі є надзвичайно багато нафтогазових свердловин. Ці об'єкти створюють загрозу навколишньому природному середовищу як при нормальних технологічних процесах, так і під час аварійних ситуацій.

Пріоритетним напрямом соціально-економічного розвитку в Україні на даний час залишається нарощення обсягів видобутку вуглеводнів і проведення геологічної розвідки нових родовищ, попри інтенсивне розроблення альтернативних джерел енергії. У західній частині України об'єкти нафтогазового комплексу розташовуються поблизу природних рекреаційних зон державного значення, що створює високий ризик техногенного порушення цінних територій. Оскільки основним негативним впливам піддаються приземний шар атмосфери та поверхневі і підземні води, то території поширення поллютантів можуть набувати транскордонного значення, що зумовлює беззаперечну актуальність запропонованих досліджень.

Значна кількість науково-дослідних робіт присвячена екологічним проблемам нафтогазовидобувного комплексу та підходам до управління екологічною безпекою даної галузі, серед авторів яких варто відмітити: Адаменка Я.О., Семчука Я.М., Орфанову М.М., Подавалова Ю.А., Владимірова В. А., Макаревича В.Н, Рибалову О.В., Обиход Г.О., Сторчак С.С., Тетельмін В.В., Pichtel J., Di Toro D. M., Thomas J. L. В працях цих та інших вчених досліджуються окремі проблемні питання галузі: оцінка ризиків для населення від проваджуваної діяльності, вплив нафтопродуктів та інших флюїдів на ґрунтовий покрив, водні ресурси, атмосферне повітря, здоров'я населення, умови поширення поллютантів, шляхи подолання існуючого забруднення при діяльності об'єктів нафтогазового комплексу тощо. Однак, на даний час відсутня системна оцінка проблемних ділянок на основі аналізу цілісної картини процесів на нафтогазовидобувних об'єктах для запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів. Виникає необхідність у формуванні методології управління екологічною безпекою об'єктів нафтогазового комплексу, яка забезпечує врахування багатфакторних впливів. Об'єктами галузі, які потребують розроблення даної системи, найбільш поширені - нафтогазові свердловини. Окремі етапи їх життєвого циклу підлягають контролю щодо впливу на довкілля, проте свердловини протягом всього життєвого циклу є потенційно небезпечними для навколишнього середовища.

Дисертаційну роботу присвячено розробленню системи запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів на етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин шляхом визначення переліку впливових факторів, вибору методів і засобів їх контролю та регулювання інтенсивності розповсюдження поллютантів при регламентованих виробничих умовах, а також розроблення інструментів прийняття управлінських рішень під час виникнення екстремальних ситуацій.

Багатофакторність впливу, з точки зору екологічної безпеки, є однією з пріоритетних ідей даної дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано відповідно до наукової тематики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в рамках науково-дослідних робіт: НФДУ 220.01/0417 «Підвищення рівня екологічної безпеки процесів видобування та транспортування енергетичних вуглеводнів» (2020-2022); Д-6-19-П "Прогнозування та запобігання деградації територій та об'єктів видобутку і транспортування корисних копалин" (2019-2020) (РК 0119U000473); РК 0118U006601 «Технології захисту навколишнього середовища шляхом контролю, моделювання та прогнозування стану довкілля» (2017-2020) та відповідає пріоритетним напрямам досліджень згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 07.09.2011 р. № 942 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок до 2020 року» та Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 10 липня 2019 р. № 526-р «Про схвалення Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є обґрунтування і розробка наукових основ запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів нафтогазовидобувними об'єктами.

Для досягнення мети в роботі вирішуються наступні **завдання**:

- аналіз досвіду та сучасних підходів в управлінні природно-техногенною безпекою об'єктів нафтогазового комплексу;
- створення методологічних основ дослідження і розроблення ефективної системи управління та запобігання екологічно небезпечним процесам в життєвому циклі нафтогазових свердловин;
- аналіз умов виникнення аварійних нафтових та газових фонтанів;
- розроблення та вдосконалення математичного інструментарію для створення системи прогнозування екологічних ризиків при аварійному режимі роботи нафтогазових свердловин;
- розроблення засобів прийняття управлінських рішень під час виникнення аварійних ситуацій на нафтогазових свердловинах для прогнозування ризиків на потенційних територіях впливу;
- перевірка та апробація запропонованих методів і заходів для вирішення практичних завдань у комплексному запобіганні розвитку небезпечних процесів на нафтогазових свердловинах;
- розроблення теоретико-методологічних основ та стратегії мінімізації забруднення навколишнього середовища на етапах життєвого циклу об'єктів видобування нафти і газу;
- розроблення моделі управління екологічною безпекою нафтогазової свердловини з метою запобігання надходженню поллютантів в навколишнє природне середовище;
- удосконалення схеми насосно-циркуляційної системи для запобігання потраплянню шкідливих речовин бурового розчину в довкілля;

- вдосконалення конструкцій очисного та діагностичного устаткування свердловинного інструменту для підвищення рівня екологічної безпеки умов його експлуатації;

- розроблення рекомендації щодо підвищення екологічної безпеки на різних етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин.

Об'єкт дослідження: процеси управління екологічною безпекою на етапах життєвого циклу нафтогазовидобувних об'єктів на прикладі нафтогазових свердловин.

Предмет дослідження: управлінські підходи та технічні засоби для запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів нафтовими та газовими свердловинами.

Методи дослідження: при виконанні теоретичних і експериментальних досліджень застосовано: синтез і аналіз впливу на довкілля всього життєвого циклу об'єктів нафтогазового комплексу; метод оцінки життєвого циклу для управління екологічною безпекою нафтогазових свердловин; інкрементний підхід в ході оцінювання життєвого циклу нафтогазових свердловин; аналіз та математичний опис оцінки забруднення довкілля нафтогазовими свердловинами при екстремальних ситуаціях; комп'ютерне моделювання поширення забруднення при аварійному фонтануванні нафтогазових свердловин.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертації сформульовано й вирішено важливу науково-прикладну проблему запобігання розвитку небезпечних екологічних процесів на об'єктах нафтогазовидобування, що реалізовано шляхом розроблення методологічних основ екологічного менеджменту нафтогазових свердловин з використанням створеної програмно-моделюючої системи та екологічно безпечних технологічних рішень:

- вперше розроблено наукові основи оцінки впливу нафтогазових свердловин на навколишнє середовище з врахуванням їх життєвого циклу, що дозволило встановити найбільш екологічно-небезпечні періоди та запропонувати шляхи зменшення їх потенційного впливу;

- одержали подальший розвиток методи прогнозування розповсюдження забруднення із свердловини на основі розроблених математичних моделей витікання флюїду із свердловини, які дозволяють враховувати основні фактори інтенсивності надходження забруднювача у навколишнє середовище;

- вперше встановлено закономірності розподілу концентрації забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери при непалаючому фонтануванні газової свердловини, які дозволяють оцінювати стан атмосферного повітря за різних умов та режимів викидів і метеорологічних характеристик;

- удосконалено математичну модель розподілу нафтового забруднення на земній поверхні при аварійному фонтануванні свердловини, яка відрізняється від існуючих урахуванням процесу випаровування і поглинання ґрунтом та дозволяє ефективно вирішувати завдання превентивного прогнозу надзвичайних ситуацій;

- вперше для оцінки екологічної досконалості нафтогазового устаткування запропоновано використання багатofакторного рангового підходу шляхом поєднання характеристик етапів життєвого циклу та критеріїв екологічної досконалості, що враховують показники матеріальних потоків в умовах виготовлення, експлуатації та утилізації.

Практичне значення одержаних результатів. Вдосконалено методологію управління екологічною безпекою нафтогазовидобувного об'єкта, яка зорієнтована на підвищення рівня екологічної безпеки виробничого процесу та базується на алгоритмі створення еко-ефективного устаткування.

Розроблено програмно-аналітичну систему, яка дозволяє реалізовувати оцінку екологічного ризику та здійснювати оптимальний вибір технологій і сценаріїв ліквідації аварійних ситуацій на об'єктах нафтогазового комплексу.

Вперше розроблено методику визначення екологічної досконалості однотипного нафтогазового устаткування, яка дозволяє шляхом порівняння характеристик та критеріїв серед однотипних взірців устаткування вибрати найбільш екологічно досконалий.

Розроблено модернізовану схему насосно-циркуляційної системи, яка дозволяє максимально ізолювати її елементи від потрапляння шкідливих речовин бурового розчину в доквілля, мінімізувати фінансові витрати на транспортування, монтаж, експлуатацію, обслуговування [30].

Розроблено пристрій для очищення свердловинного інструменту, що дає можливість провести ефективне очищення інструменту зі складними зовнішніми формами поверхні, а також за потреби нейтралізувати небезпечні речовини [29].

Вдосконалено систему діагностики устаткування, зокрема дефектоскопії глибинно-насосних штанг, яка дозволяє виявити дефекти штанг та вилучити їх ще до потрапляння у свердловину, тим самим запобігаючи виникненню аварійних ситуацій, які є потенційними джерелами забруднення доквілля [31].

Запропоновано ряд рекомендацій щодо зменшення негативного впливу при регламентованій роботі на етапі спорудження свердловини, при виникненні аварійних ГНВП та відкритих фонтанів, а також для свердловин, виведених з експлуатації.

Результати науково-дослідної роботи використано в навчальному процесі як навчальні елементи дисциплін: «Екологія нафтогазового комплексу», «Оцінка життєвого циклу продукції та екологічний менеджмент», «Основи екології в нафтогазовій галузі», «Природоохоронні технології». Розроблено навчальні дисципліни, які базуються на представленій науково-дослідній роботі: «Оцінка характеристик життєвого циклу продукції та екологічний менеджмент», «Шляхи пристосування населення планети до глобальних кліматичних змін».

Протоколом засідання виробничо-технічної наради Стрийського ВБР БУ «Укрбургаз» затверджено, що результати представлених в дисертаційній роботі досліджень дають можливість скоротити та запобігти виникненню негативних екологічних впливів на навколишнє середовище під час спорудження нафтогазових свердловин.

Результати роботи впроваджено в ПрАТ «Укргазвидобуток» (акт впровадження від. 15.05.2020), Стрийському ВБР БУ «Укрбургаз» (акт впровадження від. 04.03.2020), ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України» (акт впровадження від 15.07.2020), одержано лист-підтримки та пропозиції до співпраці за окремими результатами дисертаційної роботи від Технічного університету Клузь-Напока Університетського центру в Байя-Маре (Румунія) та Університету Томаса Бати в Зліні (Чехія).

Особистий внесок здобувача. Усі, наведені в дисертації, наукові результати отримані автором особисто. Праці [8, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 18] є одноосібними. У працях, опублікованих у співавторстві, особистий науковий внесок здобувача такий: [30] – пропозиція використання герметичних ємностей з еластичного матеріалу; [29] – встановлення необхідності розробки вдосконалення устаткування та формування переліку вимог до нового взірця; [31] – розроблення оптимальної форми захисного елемента магніта, магнітопровода і датчика; [6, 54, 55] – встановлення необхідності розвитку екологічної освіти протягом життя (life-long learning) та вдосконалення практичних навичок працівників під час проектно-орієнтованих курсів підвищення кваліфікації; [1, 7] – формування схеми допустимих відстаней між окремими спорудами при будівництві бурової, аналіз виникнення аварійних нафтогазопроявів та відкритих фонтанів та екологічних наслідків, розроблення екологічно безпечних технологій та устаткування; [2] – розроблення розділу 4.3 «Шляхи підвищення екобезпеки в процесі спорудження нафтогазових свердловин»; [3] – розробка схеми життєвого циклу нафтогазової свердловини в системі нафтогазової промисловості та схеми експлуатаційної нафтогазової свердловини; [4] – проведення експериментальних досліджень та пропозиції використання екологічно безпечного устаткування; [5] – встановлено багатофакторність у формуванні інтенсивності надходження забруднення в довкілля та розроблено рекомендації щодо зменшення негативного впливу на довкілля видобування нафти і газу; [10, 20] – пропозиції стосовно герметизації насосно-циркуляційної системи бурової установки, пропозиції технічних рішень з метою запобігання забрудненню під час технологічних процесів спорудження свердловини та формування концептуальних положень системи запобігання забрудненню під час буріння нафтогазових свердловин; [15] – участь в розробленні переліку інформаційних масивів бази даних системи моніторингу та структури програмного забезпечення задач управління безпекою; [17] – обґрунтування актуальності розробки інструментарію перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень у контексті поліпшення стану навколишнього середовища; [19] – дослідження екологічної безпеки устаткування для спорудження свердловин та участь в розробленні модернізованої циркуляційної системи; [21] – еко-ефективні технології в життєвому циклі об'єктів енергетики; [22] – участь у виборі концептуального підходу до формування інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки екологічного впливу техногенних об'єктів; [23] – вибір методів та формування рекомендацій щодо зменшення впливу об'єктів нафтогазової галузі на приземний шар атмосфери; [24] – участь в розробленні концептуальної схеми розповсюдження домішок в атмосфері в результаті техногенного викиду та встановленні факторів впливу на розподіл концентрації домішок; [25] – аналіз факторів аварійності на об'єктах енергетики; [26] – аналіз існуючих математичних моделей та вибір основних параметрів математичних моделей розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі при викиді з свердловини; [27] – участь в аналізі ризиків для здоров'я населення забрудненого атмосферного повітря; [28] – розроблення блок-схеми основних етапів підвищення рівня екологічної безпеки насосно-циркуляційної системи бурової установки та рекомендацій щодо удосконалення герметизованої НЦС.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях і семінарах: Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи» (м.Івано-Франківськ, 2014, 2016); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Нафта і газ. Наука – освіта – виробництво: шляхи інтеграції та інноваційного розвитку» (м.Дрогобич, 2015); XI міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості та освіті» (м.Варна, Болгарія, 2015); Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика» (м.Івано-Франківськ, 2015, 2017, 2019); International conference «Innovative ideas in science» (Baia Mare, Romania 2015); V (XXIX) міжнародній міжвузівській школі-семінарі «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі (МіЗД ТС–2015)» (м.Івано-Франківськ, 2015); Національному форумі «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м.Київ, 2015); X Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів (м.Київ, 2016); Науково-практичному семінарі «Сучасний викладач у студентоцентричній моделі освітнього процесу університету» (м.Івано-Франківськ, 2016); Міжнародній науково-практичній студентській конференції «Перспективи розвитку професійно спрямованих мовних компетенцій в сучасній науці» (м.Житомир, 2016); V Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м.Тернопіль, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Екогеофорум – 2017. Актуальні проблеми та інновації» (м.Івано-Франківськ, 2017); XV міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м.Кременчук, 2017); II міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (2017); V Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених «Наукова молодь – 2017» (м.Київ, 2017); Всеукраїнській науково-технічній конференції «Нафта і газ. Наука-освіта – виробництво: шляхи інтеграції та інноваційного розвитку» (м.Дрогобич, 2018); Міжнародній науково-технічній конференції «Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу PGE – 2018» (м.Івано-Франківськ, 2018); The International scientific-practical conferention «Problems and achievements of modern science» (Cork, Ireland, 2019).

Публікації. Основний зміст роботи викладено у 55 наукових працях, із яких 25 опубліковано у наукових фахових виданнях (8 одноосібних статей, 10 – в журналах, що входить до науково-метричної бази даних SCOPUS), 22 – у матеріалах та тезах конференцій; отримано 1 патент на винахід та 2 патенти на корисну модель; опубліковано у співавторстві 3 монографії, одна з яких – зарубіжна, та 2 збірники праць.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, переліку умовних скорочень, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел із 362 найменувань. Загальний обсяг дисертації становить 418 сторінок, з яких 376 сторінок основного тексту. Робота містить 93 рисунки, 47 таблиць та 12 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність напрямку досліджень, зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну отриманих результатів і практичну цінність роботи, відомості про апробацію результатів та особистий внесок автора у публікаціях.

У першому розділі «Стан проблеми природно-техногенної безпеки нафтогазовидобувних об'єктів» йдеться про екологічну кризу світового масштабу, зумовлену споживчим форматом існування суспільства, зокрема в країнах з економікою, що базується на видобуванні корисних копалин. Україна саме серед таких країн, де масштабною причиною порушення навколишнього природного середовища є довготривале та нераціональне використання природних ресурсів.

Збільшення обсягів світового видобутку нафти і газу супроводжується як використанням сучасних методів інтенсифікації виснажених родовищ, так і пошуком нових високодебетних покладів. При цьому зростає кількість пробурених свердловин, які несуть потенційний екологічний ризик довкіллю. Ці об'єкти створюють загрозу навколишньому природному середовищу як при регламентованих технологічних процесах, так і під час аварійних ситуацій. Деякі етапи життєвого циклу нафтогазових свердловин за визначеним переліком показників контролюються щодо впливу на довкілля. Однак, окремий перелік впливів не враховується при розробленні стратегії екологічної безпеки на підприємствах нафтогазової галузі.

Одними з основних принципів Стратегії державної екологічної політики України на період до 2020 року визначено:

- посилення ролі екологічного управління в системі державного управління України з метою досягнення рівності трьох складових розвитку (економічної, екологічної, соціальної), яка зумовлює орієнтування на пріоритети сталого розвитку;
- врахування екологічних наслідків під час прийняття управлінських рішень, при розробленні документів, які містять політичні та/або програмні засади державного, галузевого (секторального), регіонального та місцевого розвитку;
- запобігання виникненню надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, що передбачає аналіз і прогнозування екологічних ризиків, які ґрунтуються на результатах стратегічної екологічної оцінки, державної екологічної експертизи та державного моніторингу навколишнього природного середовища.

Нові напрямки розвитку нафтогазовидобувної промисловості потребують не короткострокових дій в сфері вирішення екологічних проблем, а комплексної довготермінової стратегії соціально-економічного розвитку суспільства, яка в своїй основі буде передбачати енергоефективні та екологічно-безпечні позиції нафтогазовидобувних компаній. Досвід останніх 10 років розвитку країни свідчить, що економічні, екологічні та соціальні проблеми не можна вирішувати окремо.

Виникає потреба у розвитку екологічного менеджменту превентивного характеру, де пріоритетним аспектом стане орієнтація на запобігання виникненню небезпечних процесів для навколишнього природного середовища в ході

виробничих процесів. На рисунку 1 наведено алгоритм розв'язку поставлених у розрізі даної проблеми завдань.

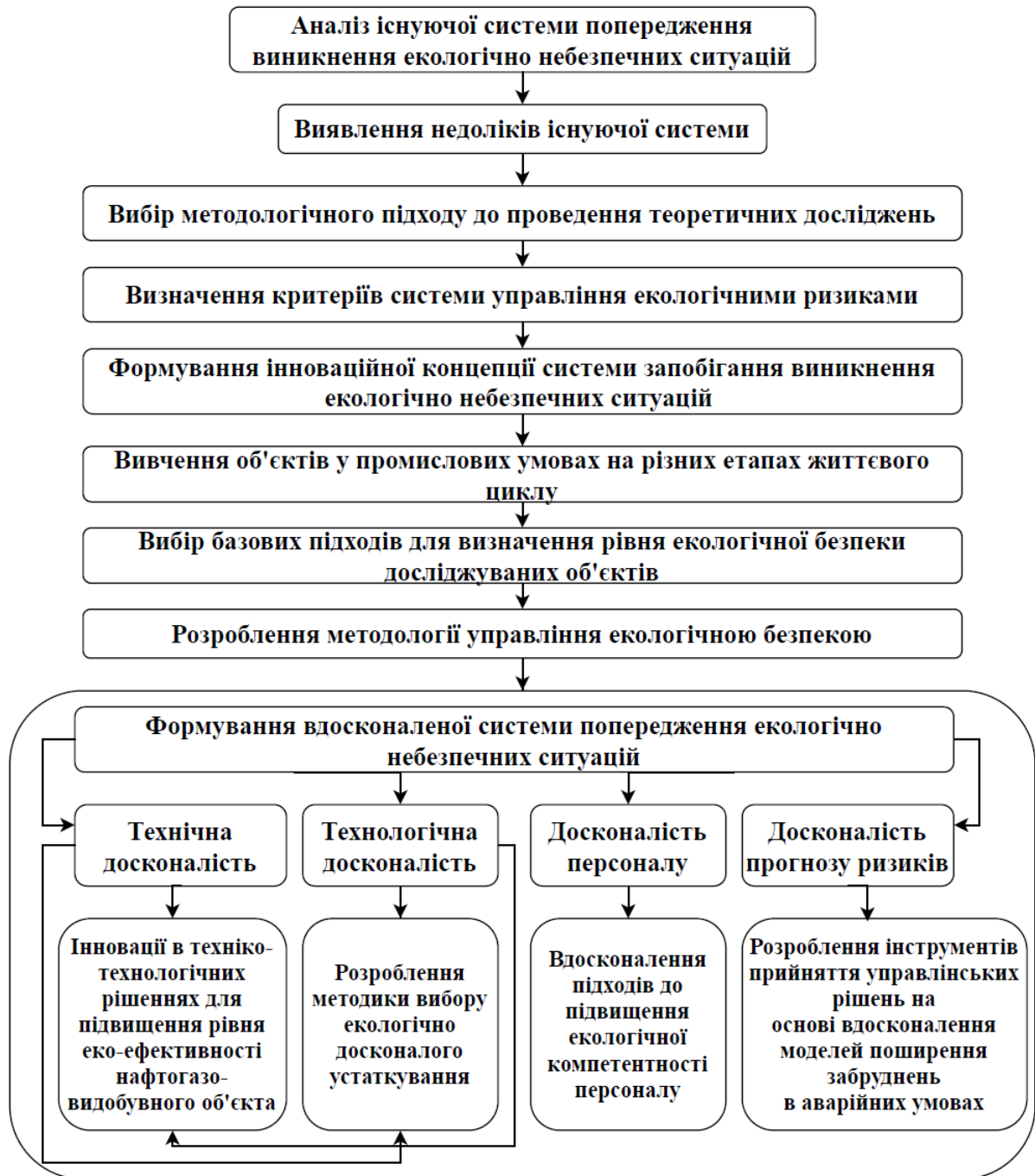


Рис. 1. Алгоритм розроблення нової системи попередження екологічно-небезпечних ситуацій на об'єктах нафтогазовидобутку

Тому дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми – запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів на етапах життєвого циклу нафтових і газових свердловин шляхом визначення переліку впливових факторів, вибору методів і засобів їх контролю та регулювання інтенсивності розповсюдження поллютантів при регламентованих виробничих умовах, а також розроблення інструментів прийняття управлінських рішень під час виникнення екстремальних ситуацій.

Другий розділ «Теоретико-методологічні засади природно-техногенної безпеки нафтогазовидобувних об'єктів» присвячено визначенню методологічних підходів до проведення теоретичних досліджень та встановленню критеріїв системи управління екологічними ризиками.

Об'єкти нафтогазовидобутку впродовж свого життєвого циклу чинять різнобічний вплив на довкілля. Кожен етап циклу характеризується масштабами, причиною, тривалістю, інтенсивністю впливу тощо. Щоб відшукати найбільш доцільні підходи до мінімізування негативних наслідків нафтогазовидобувного процесу важливо врахувати всі найвагомші чинники, що створюють потенційний ризик виникнення екологічно небезпечних ефектів у довкіллі.

Стан довкілля в межах розташування нафтогазовидобувних об'єктів піддається інтенсивним техногенним впливам. «Нафтогазовидобувний об'єкт (нафтогазова свердловина) – навколишнє природне середовище» є складною багатофакторною системою з різноплановими внутрішніми і зовнішніми зв'язками. Дослідження системи «нафтогазова свердловина - навколишнє природне середовище» варто здійснювати з огляду методу структурного розбиття на окремі проміжки часу – етапи життєвого циклу. Кожен етап необхідно вивчати з позиції екологічної безпеки та визначати об'єкти та процеси, що потребують вдосконалення для підвищення екологічних показників виробництва. Важливим є оцінка та прогнозування небезпечних екологічних явищ на виробництві для запобігання їх виникненню, що є більш економічно вигідним. В системі управління екологічними ризиками необхідно виявити причинно-наслідкові зв'язки виникнення екологічно небезпечних ситуацій. З цією метою було застосовано метод побудови діаграми Ісікави, який дозволяє візуалізувати дії можливих факторів та ідентифікувати найбільш впливові причини, що призводять до небажаного наслідку. В діаграмі визначаються фактори, які піддаються управлінню. Таким чином побудовано схему факторів, що впливають на виникнення екологічно небезпечних ситуацій на об'єктах нафтогазовидобутку (рис. 2).

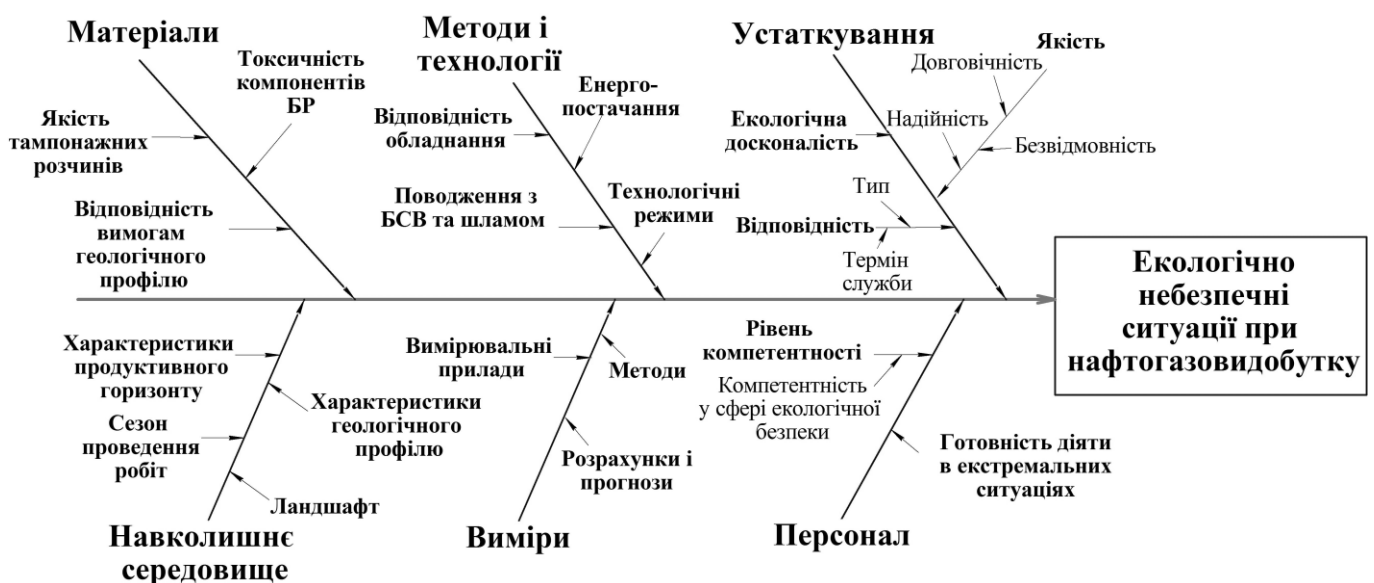


Рис. 2. Схема факторів, що впливають на виникнення екологічно небезпечних ситуацій на об'єктах нафтогазовидобутку

На основі проведеного аналізу причин та наслідків виникнення небезпечних екологічних ефектів під час діяльності нафтогазовидобувної галузі (зокрема під час спорудження нафтогазових свердловин) та на базі існуючих національних стандартів пропонується ряд критеріїв (табл. 1) для ефективного керування екологічними ризиками в умовах можливого відкритого фонтанування.

Таблиця 1 – Критерії системи управління екологічними ризиками в нафтогазовидобувній галузі

№ п/п	Критерії	Складові критерію	Примітка
1	Критерій А Територіальний	A1 Рівень екологічної стабільності території	$K_{E.C}$ - коефіцієнт екологічної стабільності території
		A2 Індивідуальні особливості території впливу спорудження свердловини	Врахування особливостей рельєфу, кліматичних характеристик, сезону виконання робіт
2	Критерій В Технічний	B1 Наявність та справність необхідного устаткування	Перевірка відповідності, комплектності та справності обладнання
		B2 Ступінь надійності устаткування	$P(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи впродовж заданого часу; $\lambda(t)$ - інтенсивність відмов; T_{cp} - середній час безвідмовної роботи; δ - ступінь зносу; $\lambda_{\delta}(\tau)$ - інтенсивність відмов внаслідок зношування
		B3 Екологічна досконалість обладнання	Рівень використання сучасних технологій запобігання негативним екологічним наслідкам під час аварійних ситуацій
3	Критерій С Технологічний	C1 Якість виконання технологічних процесів	Особлива увага до якості виконання технологічних процесів, при яких присутній високий ризик виникнення ГНВП та ВФ
4	Критерій D Індивідуальний	D1 Практичний досвід працівників	Основним показником практичного досвіду роботи є стаж роботи
		D2 Рівень екологічної компетентності персоналу та керівництва	Показники та рівні сформованості екологічної компетентності у фахівців нафтогазової галузі
		D3 Морально-психологічна готовність працівника діяти в екстремальних ситуаціях	Показники, які відображають можливість і здатність вирішувати в екстремальних обставинах складні завдання
5	Критерій E Економічний	E1 Інвестиції в екологізацію устаткування та технологічні процеси	Кількість виділених коштів на модернізацію устаткування та екологізацію технологічних процесів

На основі проведеного аналізу існуючих підходів до управління в секторі нафтогазовидобутку та з метою необхідності формування еко-ефективної політики нафтогазового комплексу розроблено основні концептуальні положення інноваційної

політики з пріоритетом на міжнародні стандарти ISO 14001:2015, ISO 9000 та принципи LEAN-менеджменту:

Оцінка етапів життєвого циклу об'єктів нафтогазового комплексу.

Еко-ефективність та скорочення забруднення - пріоритетні принципи політики нафтогазової галузі.

Переоснащення технологічних процесів в напрямку їх екологізації шляхом використання екологічно-досконалого устаткування.

Вдосконалення інструментів для визначення потенційного ризику при виникненні надзвичайних ситуацій та індивідуалізоване планування заходів для їх ліквідації.

Формування висококваліфікованого екологічносвідомого фронтового виконавця на нафтогазовидобувних підприємствах.

Переважна більшість наведених положень концепції базується на дослідженнях етапів життєвого циклу нафтогазових об'єктів. Саме підхід оцінки життєвого циклу дозволяє цілісно оцінити багатofакторність досліджуваної системи. Тому для подальших досліджень застосовано метод оцінки життєвого циклу.

В третьому розділі «Екологічний менеджмент життєвого циклу нафтогазових свердловин» адаптовано методику оцінки життєвого циклу (ОЖЦ) до умов нафтогазової свердловини. Запропоновано використання інкрементного підходу, який передбачає виокремлення більш коротких процесів життєвого циклу, які в подальшому інтегруються в загальний цикл функціонування нафтогазової свердловини.

ОЖЦ проведено з використанням такої нормативної документації: матеріали Стрийського відділення бурових робіт (ВБР); матеріали Прикарпатського управління бурових робіт (УБР); матеріали Державного науково-виробничого підприємства «Державний інформаційний геологічний фонд України» (ДНВП «Геоінформ України»); паспорти свердловин; ОВД на буріння свердловин; геолого-технічні наряди. Встановлено рівень впливу на довкілля на етапах життєвого циклу нафтогазової свердловини методом експертної оцінки.

Дослідження умов функціонування реальних об'єктів проводилися на навчально-виробничому полігоні Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та на об'єктах родовищ Карпатського регіону (Монастирчанського, Битків-Бабчинського, Вигода-Витвицького, Північно-Долинського, Долинського, Летнянського, Малогорожанського, Дубаневицького, Макунівського. Польові дослідження охопили етапи буріння свердловини, випробування, експлуатації, завершення експлуатації та виведення свердловини з експлуатації.

Враховуючи те, що життєвий цикл свердловини є довготривалим, збір характеристик окремих етапів ЖЦ було виконано на різних свердловинах, що дозволило сформувати системну модель життєвого циклу нафтогазової свердловини.

Розроблено схему життєвого циклу нафтогазової свердловини, де свердловина представлена окремим елементом загального життєвого циклу нафтогазової галузі та проведено теоретичний аналіз кожного етапу щодо впливу на навколишнє природне середовище (рис. 3).

Метою проведення ОЖЦ нафтогазової свердловини є визначення еко-ефективності та потенціалу скорочення викидів. Функціональною одиницею визна-

чено життєвий цикл тривалістю 20 років експлуатаційної нафтогазової свердловини. Особливістю даного об'єкту дослідження є те, що після виведення з експлуатації залишається високий ризик його впливу на довкілля, що вимагає подальшого моніторингу об'єкту [23]. На рис. 4 наведено межі досліджуваної продукційної системи.

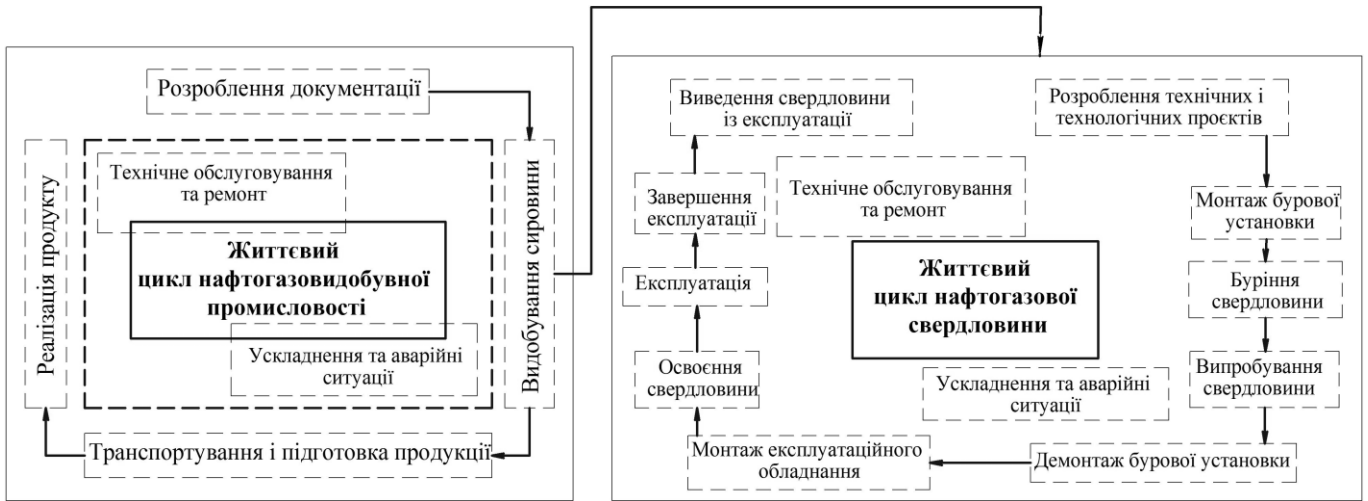


Рис. 3. Схема життєвого циклу нафтогазової свердловини в системі нафтогазовидобувної промисловості

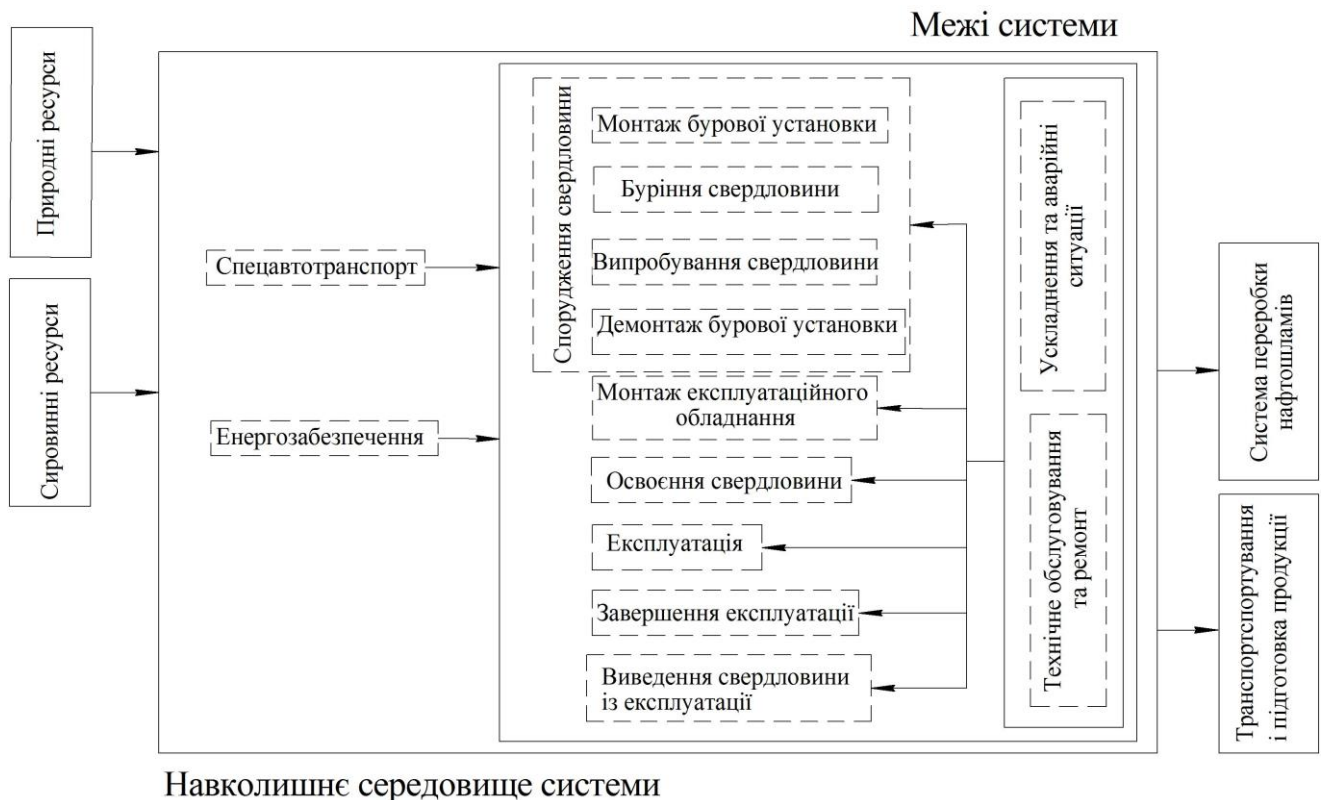


Рис. 4. Схема визначення меж продукційної системи

На всіх етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин виникають потреби в різного роду ресурсах (транспортні, енергетичні, природні тощо) вони формують вхідні ресурсні потоки. На виході утворюються вихідні потоки – різноманітні ефекти, що впливають на навколишнє середовище (емісії, скиди, шум, вібрація тощо).

Продукційна система «Нафтогазова свердловина» згідно методики ОЖЦ поділяється на ряд одиничних процесів: підготовка майданчика, монтаж бурової установки, буріння свердловини, випробування свердловини, демонтаж бурової установки, монтаж експлуатаційного обладнання, освоєння свердловини, експлуатація, завершення експлуатації (видобування вуглеводнів) та виведення свердловини із експлуатації.

Враховуючи складність процесів та багатофакторність впливів на довкілля, що формують кінцеві ефекти на етапах життєвого циклу нафтогазової свердловини, доцільно проводити попередню інвентаризацію з метою визначення орієнтовного потенційного впливу окремих етапів життєвого циклу. Такий підхід дозволяє сфокусувати увагу на найбільш впливових, з екологічної точки зору, процесах.

Результати попередньої інвентаризації етапів життєвого циклу нафтогазової свердловини наведено на рисунках 5, 6.

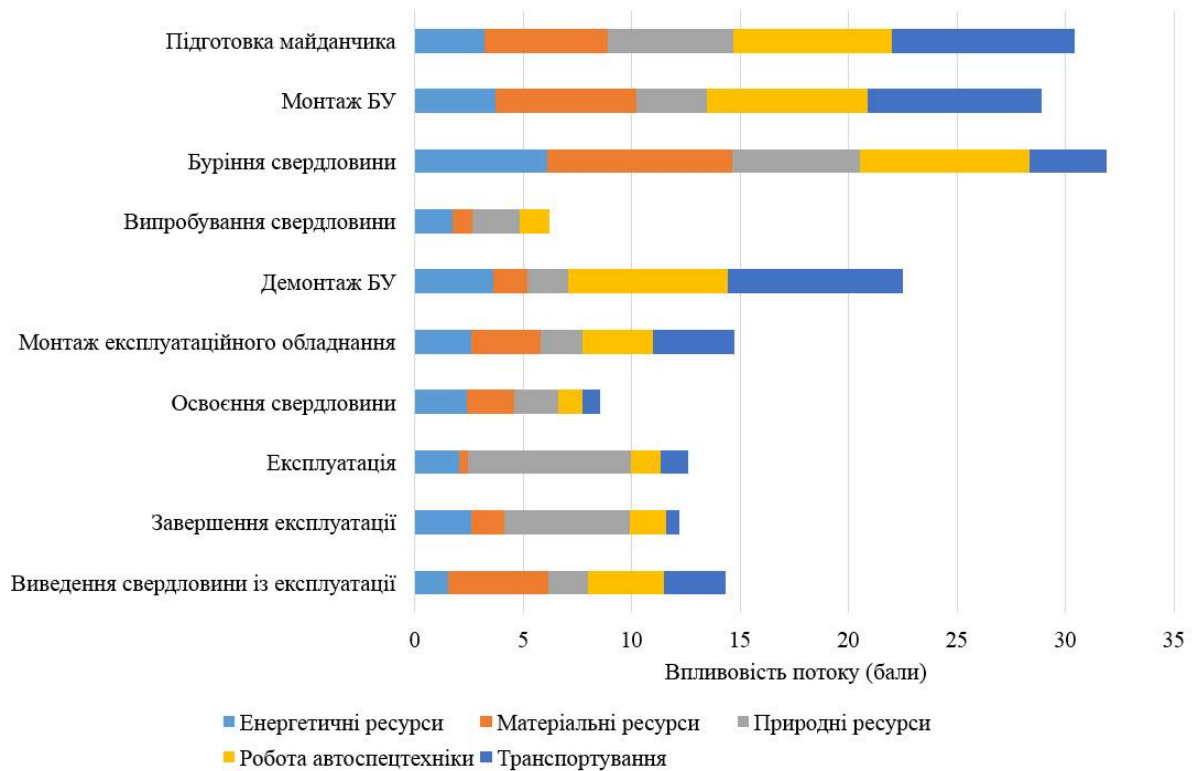


Рис. 5. Результати інвентаризації вхідних ресурсних потоків

Інвентаризація проведена для умовної свердловини, життєвий цикл якої складає 20 років. Оцінка проводиться в умовних одиницях (балах) впливовості потоків, визначених за допомогою експертної оцінки, опрацювання матеріалів наукових досліджень, статистичних даних, нормативної документації в даній галузі та польових досліджень на території навчально-виробничої лабораторії інституту нафтогазової інженерії Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу та свердловин на родовищах Карпатського регіону.

Вхідні потоки оцінювались для моделі нафтогазової свердловини, а вихідні було розділено на модель нафтової та моделі газової свердловини. Це зумовлено тим, що окремі етапи (випробування, освоєння та експлуатація) для нафтової свердловини

ни характеризувалися більшою кількістю розливів флюїдів, а для газової – переважанням емісій поллютантів в атмосферу.

Згідно попередньої інвентаризації визначено, що найбільш ресурсовитратними є етапи буріння свердловини, монтажу, демонтажу бурової установки та виведення свердловини з експлуатації. На етапі буріння спостерігається найбільша потужність горизонтів вхідних потоків. На етапах підготовки майданчика, монтажу та демонтажу спостерігається висока інтенсивність транспортування та залучення автоспецтехніки.

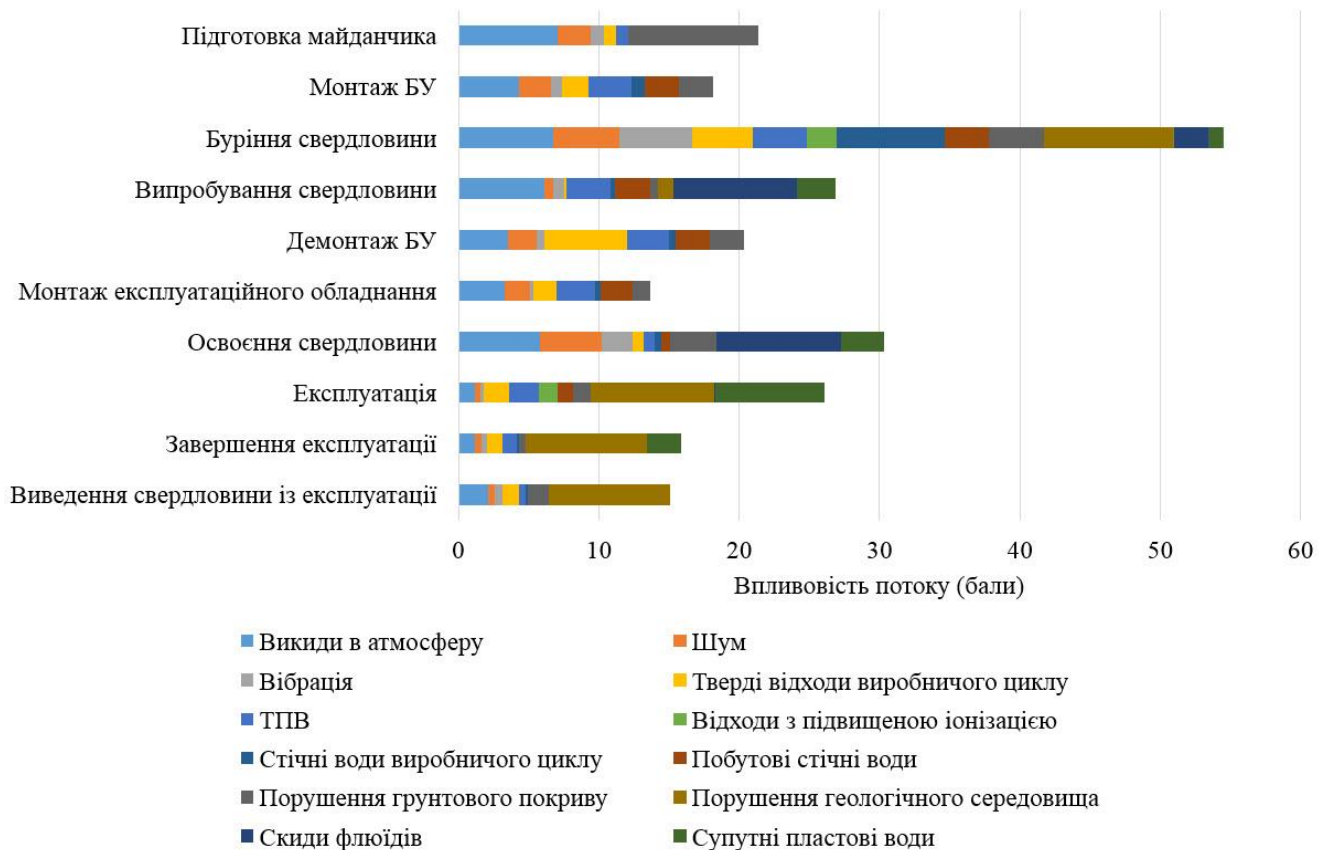


Рис. 6. Результати інвентаризації вихідних потоків нафтової свердловини

Етап експлуатації виражений середніми значеннями потужності вхідних потоків, однак варто відмітити, що тривалість даного етапу становить близько 85 % від загальної тривалості життєвого циклу нафтогазової свердловини. Інвентаризація вихідних потоків показала, що етап буріння за різноманітністю та потужністю потоків є найбільш значним. Тривалість цього етапу становить лише 2 %, однак потенційний ризик виникнення аварійних екологічно-небезпечних ситуацій є досить високим. Тому етапи буріння та експлуатації доцільно виділяти як підсистеми в системі життєвого циклу нафтогазової свердловини, що дозволить коректно встановити вхідні та вихідні потоки.

Аналіз устаткування і процесів на етапах життєвого циклу свердловини та пошук шляхів скорочення кількості операцій, підвищення їх якості, зменшення маси устаткування та спрощення їх обслуговування дозволяє скоротити емісії в атмосферне повітря, що надалі пропонується в роботі. Однак існує ряд процесів, які складно передбачити, але виникнення яких супроводжується значним забрудненням довкілля. Це - аварійні ситуації, зокрема нафтогазоводопрояви та відкриті фонтани. Висо-

кий професійний рівень персоналу, наявність відповідного, справного до використання устаткування скорочує ймовірність виникнення таких ситуацій, але не усуває їх повністю. Тому виникає необхідність у прогнозуванні ймовірних наслідків, що дасть можливість розробити ефективні плани їх ліквідації та попередження.

В четвертому розділі «Вдосконалення математичних засобів моделювання довкілля при відкритому фонтануванні газових та нафтових свердловин» проведено аналіз факторів, що визначають розподіл забруднення при фонтануванні нафтової і газової свердловин та запропоновано математичні моделі, які дозволяють спрогнозувати потенційне забруднення у випадку виникнення аварійної ситуації. Розсіювання аварійного викиду в атмосфері – це складний фізико-хімічний процес, і саме тому вже при виборі місця будівництва свердловини розглядається питання про те, як будуть розсіюватися аварійні і регламентні викиди. Після того, як домішки потрапляють в атмосферне повітря (АП), характер їх переміщення визначається їх власними фізичними властивостями і властивостями навколишньої атмосфери (рис. 7).

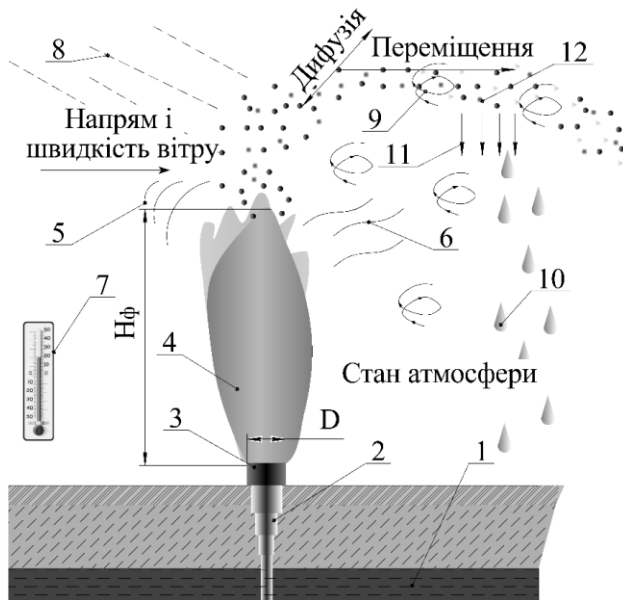


Рис. 7. Особливості розповсюдження поллютантів при аварійному фонтануванні газової свердловини (ФГС): 1 – продуктивний горизонт (джерело); 2 – стовбур свердловини; 3 – вихідний отвір; 4 – форма струменя та його компонентний склад; 5 – акустичне випромінювання; 6 – теплове випромінювання (при палаючому фонтані); 7 – вертикальний температурний градієнт; 8 – сонячна радіація; 9 – турбулентні повітряні завихрення; 10 – опади; 11 – сухе осадження; 12 – утворення нових хімічних сполук; H_f – висота викиду; D – діаметр вихідного отвору

траційного опору; шорсткість внутрішньої стінки труби); пластові характеристики в межах розташування свердловини (проникність, пористість та ефективна товщина пласту; тиск); характеристики флюїду (тиск, температура та густина за нормальних умов; масовий відсотковий вміст компонентів; молярна маса; показник адіабати; ко-

Задача прогнозування рівня та розподілу забруднення довкілля при відкритому фонтануванні свердловини включає в себе два основних етапи:

для газової свердловини:

- визначення обсягів газових викидів, їх параметрів і складу;
- моделювання розповсюдження шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери (ПША).

для нафтової свердловини:

- визначення інтенсивності (обсягу) витікання нафти з свердловини;
- моделювання розтікання нафти земною поверхнею.

Розглянемо особливості фізичних процесів кожного етапу.

Основними факторами, які визначають масові витрати (інтенсивність) компонентів флюїду (газової суміші, нафти) при відкритому фонтануванні свердловини, є: параметри свердловини (кількість, довжина, зенітний кут, зовнішній та внутрішній діаметр кільцевого перерізу секцій; форма та площа вихідного перерізу гирла свердловини; коефіцієнти гідравлічного та фільтраційного опору; шорсткість внутрішньої стінки труби); пластові характеристики в межах розташування свердловини (проникність, пористість та ефективна товщина пласту; тиск); характеристики флюїду (тиск, температура та густина за нормальних умов; масовий відсотковий вміст компонентів; молярна маса; показник адіабати; ко-

ефіцієнт стисливості; критичний тиск та критична температура; в'язкість); гідродинамічні характеристики (розподіл тиску, температури, густини та швидкості руху флюїду вздовж свердловини); атмосферний тиск; місцева швидкість звуку на гирлі свердловини в початковий момент фонтанування.

У випадку спалахування фонтану газової суміші визначальними факторами впливу на потужність викидів відповідних забруднюючих речовин в атмосферне повітря є: 1) для метану, оксиду вуглецю, оксидів азоту (в перерахунку на діоксид азоту) та сажі: інтенсивність (масові витрати) фонтанування, питомі викиди шкідливих речовин на одиницю маси флюїду, що спалюється; 2) для діоксиду вуглецю: інтенсивність (масові витрати) фонтанування, масовий вміст С та CO₂ в спалюваній суміші; повнота згоряння вуглеводневої суміші та природного газу; потужність викиду CO, CH₄ та сажі; 3) для діоксиду сірки, сірководню та меркаптанів (для вуглеводневих сумішей сірчистих газових та газоконденсатних родовищ): інтенсивність (масові витрати) фонтанування; масовий вміст H₂S, RSH та S в спалюваній суміші; повнота згоряння вуглеводневої суміші та природного газу.

Основними факторами, які визначають розподіл концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та часі в результаті відкритого фонтанування газової свердловини, є: параметри джерела викиду (висота, радіус гирла); параметри викиду (тривалість, потужність, швидкість виходу домішок з свердловини); параметри компонентів суміші речовин (густина, температура, стехіометрична кількість повітря для спалювання 1 м³ газової суміші (у разі палаючого фонтанування); коефіцієнти вимивання опадами, поглинання підстилаючою поверхнею, хімічної взаємодії з іншими домішками; швидкість осадження (для важких домішок)); метеорологічні характеристики (швидкість та напрямок вітру, температурний градієнт з висотою, коефіцієнти турбулентної дифузії, температура повітря); шорсткість підстилаючої поверхні; час, який минув від початку фонтанування.

Основними факторами, які визначають розподіл нафтового забруднення на земній поверхні та в часі в результаті відкритого фонтанування нафтової свердловини, є: параметри вливу нафти (тривалість та потужність); характеристики прилеглої до свердловини території: параметри ґрунту (проникність, нафтоємність, шорсткість, пористість, вологість, гранулометричний склад, структура), параметри рослинності (лінійні розміри елементів рослинності, кількість стебел на одиницю площі), ухил рельєфу; характеристики нафти (густина, в'язкість, молярна маса парів, тиск насичених парів); метеорологічні характеристики (швидкість та температура повітряного потоку); час, який минув від початку фонтанування.

На основі отриманих результатів побудовано математичні моделі забруднення довкілля при фонтануванні газової та нафтової свердловини. Так, математичні моделі витікання газового флюїду при фонтануванні свердловини, які дозволяють визначати обсяг (інтенсивність) викиду компонентів суміші, можна подати системою рівнянь:

для неперервного газового непалаючого фонтанування:

$$\frac{d(\rho W^2)}{dl} + \frac{dP}{dl} = - \frac{\lambda_i \rho W |W|}{2d_i} + \rho g \cos \alpha_{z_i};$$

$$\begin{aligned}\rho &= \rho_n \cdot \frac{T_n}{T} \cdot \frac{1}{Z} \cdot \frac{P}{P_n}; \\ P_z^2 &= P_{nn}^2 - aQ_n - bQ_n^2; \\ Q_m' &= Q_m \rho; \\ M_i' &= Q_m' c_i;\end{aligned}\tag{1}$$

умови на гирлі: $W_z = W_{зв}$ при $P_0 > P_a$;
 $P_0 = P_a$ при $W_z < W_{зв}$,

для залпового газового непалаючого фонтанування:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho W)}{\partial l} &= 0; \\ \rho \frac{dW}{dt} + \frac{\partial P}{\partial l} + g\rho \left(\frac{|W|W}{W_{gid}^2} - 1 \right) &= 0; \\ P &= \rho Z_{cp} RT_{cp}; \\ Q_h &= C_D W_s F_h \rho_h; \\ M' \cdot \frac{dl_f}{dt} &= Q_h\end{aligned}\tag{2}$$

де d_i – гідравлічний діаметр, м; l – відстань від гирла, м; W – швидкість суміші газів, м/с; P – тиск суміші газів, Па; λ_i – коефіцієнт гідравлічного опору i -ої секції; ρ – середня густина суміші газів у перерізі, кг/м³; α_{z_i} – зенітний кут (кут між напрямком осі секції і вертикаллю), град; P_z – тиск в свердловині навпроти інтервалу, що працює, МПа; a та b – відповідно коефіцієнти лінійного та квадратичного фільтраційного опору свердловини, кг·см²; P_{nn} – пластовий тиск, МПа; W_z – швидкість газу на гирлі, м/с; $W_{зв}$ – місцева швидкість звуку, м/с; P_a – атмосферний тиск, МПа; Q_m' – масова витрата суміші газів, кг/с; M' – масової витрати i -го газу в суміші, кг/с;

Для визначення потужності викидів відповідних ЗР в АП при спалюванні фонтану газової свердловини в роботі пропонується використовувати математичний апарат «Методики розрахунку параметрів викидів і валових викидів шкідливих речовин від факельних установок спалювання вуглеводневих сумішей».

Для знаходження функції концентрації $q(t, x, y, z)$, яка утворюється при миттєвому викиді в початковий момент часу ($t = 0$) домішки масою M точковим джерелом, яке розміщене в точці простору з координатами (x_0, y_0, H_{ef}) , розв'язувалось параболічне рівняння турбулентної дифузії

$$\begin{aligned}\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} + \lambda q &= K_x \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} + \\ &+ M \delta(t) \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(z - H_{ef}),\end{aligned}\tag{3}$$

початкові умови: $uq = M \delta(x) \delta(y) \delta(z - H_{ef})$ при $t = 0$;

граничні умови: $q \rightarrow 0$ при $x^2 + y^2 + z^2 \rightarrow \infty$ та $K_z \frac{\partial q}{\partial z} + wq + \beta q = 0$ при $z = z_0$,

де u , v , w – компоненти вектора швидкості вітру вздовж осей Ox , Oy та Oz відповідно, м/с; λ – параметр, що враховує взаємодію домішок з навколишнім середовищем (хімічна трансформація, вимивання опадами, поглинання підстилаючою поверхнею), с⁻¹; K_x , K_y , K_z – коефіцієнти турбулентної дифузії відповідно вздовж осей Ox , Oy та Oz , м²/с; H_{ef} – ефективна висота підйому факела викидів, м; β – параметр, який характеризує взаємодію домішки з підстилаючою поверхнею, м/с; z_0 – параметр шорсткості підстилаючої поверхні, м; t – час поширення домішки, с; δ – дельта-функція Дірака.

Для отримання математичної моделі для точкового джерела, що здійснює короткочасний викид тривалістю t_1 з інтенсивністю Q , виконувалась згортка розв'язку рівняння (3) за часом. Для знаходження функції, що описує просторовий розподіл концентрації при неперервних викидах інтенсивністю Q від точкового джерела, в моделі для джерела короткочасної дії було здійснено заміну t_1 на t і взято границю від правої частини отриманої рівності, спрямувавши t до нескінченності.

Враховуючи вищесказане, аналітичні залежності, що утворюють математичну модель забруднення атмосфери за нестационарних та стаціонарних умов викидів, після всіх спрощень мають вигляд:

для джерела миттєвого викиду:

$$q(t, x, y, z) = \frac{Me}{8\pi\sqrt{\pi K^2 K_z} t^3} \cdot \left(e^{-\frac{(x \cos \alpha + y \sin \alpha - u_{H_{ef}} t)^2 + (-x \sin \alpha + y \cos \alpha)^2}{4Kt}} \cdot e^{-\frac{(z - H_{ef} - w_g t)^2}{4K_z t}} + e^{-\frac{w_g(H_{ef} - z_0)}{K_z} - \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - w_g t)^2}{4K_z t}} \right) + \frac{w_g}{K_z} \cdot \int_0^\infty e^{-\frac{w_g(H_{ef} - z_0)}{K_z} - \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - w_g t + \xi)^2}{4K_z t}} d\xi \cdot e^{-\frac{\lambda(x \cos \alpha + y \sin \alpha)}{u_{H_{ef}}}}; \quad (4)$$

для джерела короткочасного викиду тривалістю t_1 :

$$q(t, x, y, z) = \frac{Me}{8\pi\sqrt{\pi K^2 K_z}} \cdot \int_0^{t_1} e^{-\frac{\lambda(x \cos \alpha + y \sin \alpha)}{u_{H_{ef}}}} \cdot \frac{e^{-\frac{(x \cos \alpha + y \sin \alpha - u_{H_{ef}}(t-\tau))^2 + (-x \sin \alpha + y \cos \alpha)^2}{4K(t-\tau)}}}{\sqrt{(t-\tau)^3}} \times \left(e^{-\frac{(z - H_{ef} - w_g(t-\tau))^2}{4K_z(t-\tau)}} + e^{-\frac{w_g(H_{ef} - z_0)}{K_z} - \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - w_g(t-\tau))^2}{4K_z(t-\tau)}} + e^{-\frac{w_g(H_{ef} - z_0)}{K_z} - \frac{(z + H_{ef} - 2z_0 - w_g(t-\tau) + \xi)^2}{4K_z(t-\tau)}} \right) d\xi d\tau; \quad (5)$$

для джерела неперервного викиду:

$$\begin{aligned}
q(x, y, z) = & \frac{Qe}{4\pi K \sqrt{K_z}} \times \left(e^{-\frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2+y^2}{K} + \frac{(z-H_{ef})^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u_{H_{ef}}^2}{K} + \frac{w_g^2}{K_z}}} + \right. \\
& + \frac{e^{-\frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2+y^2}{K} + \frac{(z+H_{ef}-2z_0)^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u_{H_{ef}}^2}{K} + \frac{w_g^2}{K_z}}}{\sqrt{\frac{x^2+y^2}{K} + \frac{(z+H_{ef}-2z_0)^2}{K_z}}} + \frac{w_g}{K_z} \cdot \int_0^\infty e^{-\frac{w_g}{2K_z} \xi - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{x^2+y^2}{K} + \frac{(z+H_{ef}-2z_0-\xi)^2}{K_z}} \cdot \sqrt{\frac{u_{H_{ef}}^2}{K} + \frac{w_g^2}{K_z}}} d\xi \times \\
& \left. \times e^{-\frac{\lambda(x \cos \alpha + y \sin \alpha)}{u_{H_{ef}}}} \right) \quad (6)
\end{aligned}$$

Побудована математична модель витікання нафтового флюїду при фонтануванні свердловини, яка дозволяє визначати об'єм вилитої на земну поверхню рідини, має вигляд наступної системи рівнянь

$$\begin{aligned}
\frac{d(\rho U^2)}{dx} + \frac{dP}{dx} &= -\frac{\lambda \rho U |U|}{2d(x)} + \rho g \cos \alpha(x); \\
P_z &= P_{nl} - aQ_n - bQ_n^2; \\
P - P_n &= C^2(\rho - \rho_n) - C^2 \zeta (T_n - T); \\
\frac{1}{\sqrt{\lambda}} &= -2 \lg \left(\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{z_{шор}}{3,71d} \right),
\end{aligned} \quad (7)$$

де ρ_n , T_n , P_n – густина, кг/м³, температура, К та тиск, Па флюїду за нормальних умов; C – швидкість розповсюдження звуку у флюїді, м/с; ζ – коефіцієнт теплового об'ємного розширення, 1/К; де $z_{шор}$ – шорсткість внутрішньої стінки труби свердловини, по якій рухається нафта, м; Re – число Рейнольдса, яке характеризує режим руху (ламінарний чи турбулентний) флюїду по свердловині і визначається за формулою

$\text{Re} = \frac{Ud}{\nu}$, де ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості нафти, м²/с; d – внутрішній діаметр секції свердловини, що розглядається, м.

Розв'язання диференціальних рівнянь систем (1)-(3) здійснюється методом поділу відрізка навпіл.

Математичну модель розтікання нафтового флюїду земною поверхнею побудовано шляхом вдосконалення моделі В.Ш. Шагапова та С.А. Гільманова як такої, що має найбільші переваги перед існуючими аналогами. Отримано, що динаміка товщини $h(t)$ та переднього фронту $l(t)$ нафтової плями визначаються наступними співвідношеннями:

за наявності рослинності на земній поверхні:

$$h = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{gt_v}} \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi} \ln \frac{l(t)}{r} - \frac{J(l^2(t) - r^2)}{2}}, & \text{нпу } 0 < r \leq l(t); \\ 0, & \text{нпу } l(t) < r < \infty, \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & A \frac{dl(t)}{dt} = B \\ & \left| \begin{aligned} A &= l(t) \int_0^1 \frac{(-8Q \ln R + 6\pi l^2(t) J(R^2 - 1)) R}{\sqrt{-4Q \ln R + 2\pi l^2(t) J(R^2 - 1)}} dR; \\ B &= \sqrt{\frac{gt_v}{\pi}} (Q - \pi l^2(t) J), \end{aligned} \right. \quad (9) \end{aligned}$$

де $R = r/l(t)$

за відсутності рослинності на земній поверхні:

$$h = \begin{cases} \sqrt[4]{\frac{\lambda}{g} \left(\frac{3Q^2}{\pi^2} \cdot \frac{l(t) - r}{l(t)r} - \frac{2QJ(l(t) - r)}{\pi} + \frac{J^2(l^3(t) - r^3)}{3} \right)}, & \text{нпу } 0 < r \leq l(t); \\ 0, & \text{нпу } l(t) < r < \infty, \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & A \frac{dl(t)}{dt} = B \\ & \left| \begin{aligned} A &= \sqrt[4]{l^3(t)} \int_0^1 \frac{(7Q^2 - 18\pi Q l^2(t) J R)(1 - R) R^3 + 11\pi^2 J^2 l^4(t) (1 - R^3) R^4 / 3}{2 \left((Q^2 - 2\pi Q l^2(t) J R)(1 - R) R^3 + \pi^2 J^2 l^4(t) (1 - R^3) R^4 / 3 \right)^{3/4}} dR; \\ B &= (Q - \pi l^2(t) J) \cdot \sqrt[4]{\frac{g}{\lambda \pi^2}}, \end{aligned} \right. \quad (11) \end{aligned}$$

де h – товщина шару рідини (глибина НП), м; r – змінна, яка визначає відстань від довільної точки площини (x_r, y_r) до місця розташування джерела виливу у заданій декартовій системі координат, м; t_v – емпіричний параметр, що залежить від властивостей рослинності (густоти, лінійних розмірів елементів рослинності) і в'язкості рідини; s ; r_v – емпіричний параметр, який залежить від середнього діаметра стебла рослин та кількості стебел на одиницю площі, м; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; $J = J_{\text{об}} + J_{\text{вун}}$, $J_{\text{об}}$, $J_{\text{вун}}$ – інтенсивність втрат об'єму розливої нафти на одиницю площі поверхні ґрунту за рахунок вбирання у ґрунт та випаровування відповідно, м/с; $J_{\text{об}} = \frac{k_{np} \rho g}{\mu}$, $J_{\text{вун}} = \frac{W_{\text{вун}}}{\rho}$, k_{np} – коефіцієнт проникності ґрунту, м²; ρ – густина нафти, кг/м³; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості нафти, Па·с; $W_{\text{в}} – інтенсивність випаровування нафти, кг/(с·м²).$

П'ятий розділ «Розроблення засобів моделювання забруднення довкілля при відкритому фонтануванні газових та нафтових свердловин» присвячено розроблянню програмно-моделюючого комплексу (ПМК), що є програмними засоба-

ми, які реалізують розроблені математичні моделі забруднення атмосферного повітря та земної поверхні в результаті відкритого фонтанування газових та нафтових свердловин відповідно. До складу комплексу входять: підсистема управління базою даних і знань, математичне забезпечення, підсистема візуалізації результатів та підсистема підтримки прийняття рішень.

Вся інформація, яка використовується в розробленій базі даних і знань (БДіЗ), розподіляється на: оперативну (регулярно оновлюється з багатьох джерел); аналітичну (оновлюється рідко, часто відпрацьовуються складні запити, що можуть охоплювати всі таблиці баз) та довідкову (оновлюється рідко, централізовано, запити досить часті, охоплюють незначну частину даних). Перелік інформаційних масивів розроблених БДіЗ відображено на рис. 8. До складу блоку математичного моделювання та прогнозування входять розроблені математичні моделі руху флюїду свердловиною під час відкритого фонтанування та його розповсюдження в навколишньому природному середовищі.

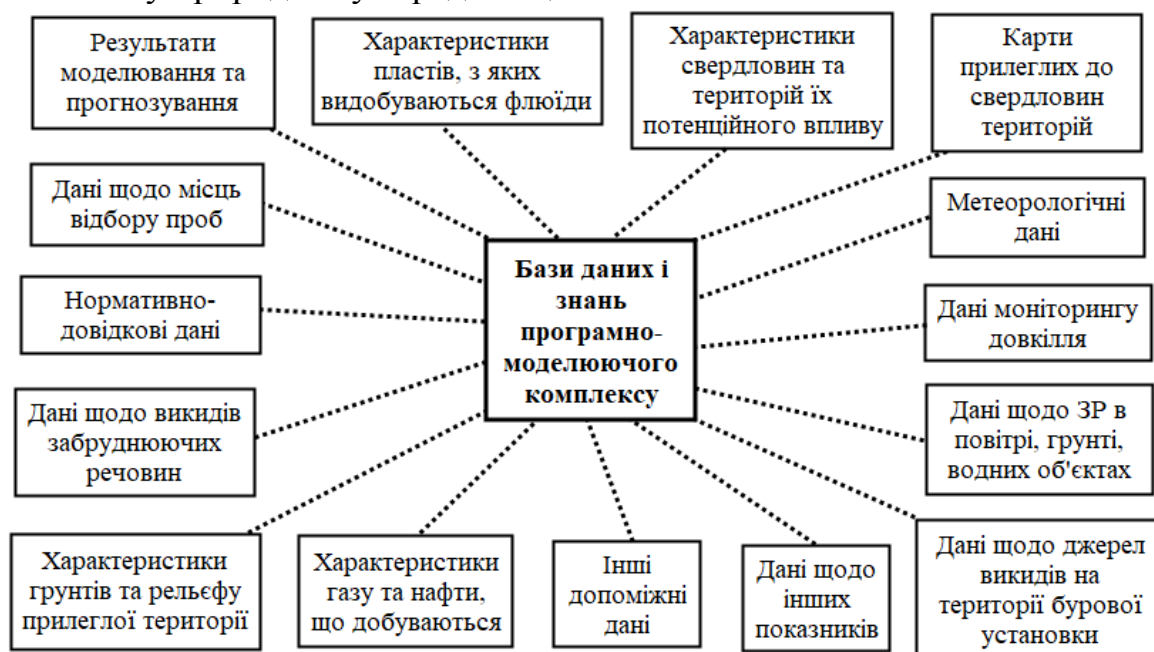


Рис. 8. Перелік інформаційних масивів БДіЗ ПМК

Проаналізовано дані результатів натурних вимірювань концентрацій метану та сірководню на територіях розміщення різних свердловин України за різних режимів викидів (неперервні, короткочасні та залпові) при аварійному непалаючому фонтануванні. Аналізована інформація включала: назву свердловин; режим фонтанування; сезон проведення вимірів; географічні координати місць натурних вимірювань та відповідні масиви значень виміряних в них концентрацій вищезазначених забруднюючих речовин (ЗР); метеорологічні параметри на момент здійснення натурних вимірювань. Адекватність розроблених математичних моделей перевірено шляхом порівняння результатів моделювання з результатами натурних вимірювань концентрацій ЗР, що входять до складу аварійного викиду, у відповідних точках територій розміщення свердловин. Проведення експериментів на ПМК виконувалось наступним чином. На початку здійснювався запуск файлу MECOGWF.exe. Далі здійснювався перехід між вкладками «Моделювання та прогнозування» → «Вхідні дані», де спо-

чатку у відповідному полі-лічильнику «Введіть кількість свердловин» було зазначено 1, а в полі «Перелік свердловин в БД» обиралась свердловина. Після вибору свердловини з БДІЗ відбулось автоматичне завантаження її параметрів, пласту та флюїду у відповідні поля вкладки «Вхідні дані». Далі у відповідних місцях поля «Оберіть вид НС та забруднюючу речовину для моделювання» було обрано відповідно газове непалаюче фонтанування та метан, а в полі «Сценарій моделювання» – усталене витікання газу. У відповідних комірках поля «Введіть метеорологічні дані та параметри прилеглої території» вводились метеодані. На цьому введення вхідних даних у вкладці «Вхідні дані» завершувалось. Інші необхідні для моделювання параметри метану, такі як молярна маса, густина, температура та тиск за нормальних умов, псевдокритичні тиск та температура, показник адиабати, коефіцієнти фізико-хімічної трансформації, поглинання підстилаючою поверхнею та вимивання опадами не відображаються у вкладці «Вхідні дані», а завантажуються в блок математичного моделювання та прогнозування автоматично з відповідної бази, що входить до складу БДІЗ ПМК.

Для порівняння результатів моделювання з даними натурних вимірювань концентрацій обраної ЗР в приземному шарі атмосфери (ПША) на досліджуваній території в ПМК створена закладка «Порівняння з даними моніторингу». На основі отриманих даних відповідно до критерію Стьюдента з надійністю 0,99 було розраховано довірчі інтервали для концентрацій вказаних ЗР у всіх місцях натурних вимірювань за різних режимів фонтанування газових свердловин (ФГС). На рис. 9 показано результат порівняння для випадку неперервного відкритого ФГС у ході проведення математичних обчислень в усіх 16 точках, де проводились натурні вимірювання.

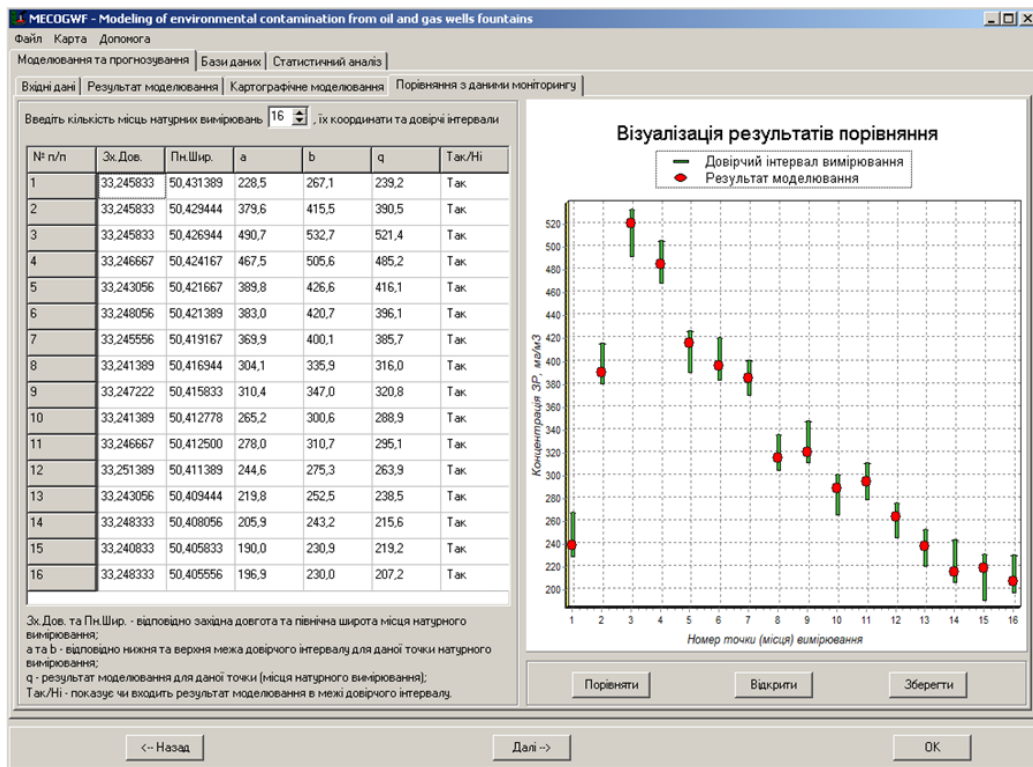


Рис. 9. Приклад результату перевірки достовірності математичних моделей забруднення АП при відкритому неперервному ФГС

Як видно з рисунку 9, отримані результати моделювання вкладаються в обчислені довірчі інтервали. Як свідчать дані, наведені в табл. 2, результати моделювання вкладаються у відповідні довірчі інтервали, що свідчить про високу адекватність розроблених математичних моделей у випадку усталеного непалаючого фонтанування.

Таблиця 2 - Результати моделювання та натурних вимірювань концентрацій метану та сірководню на території розміщення свердловини за неперервного режиму викидів під час аварійного фонтанування

№ п.п.	Місце вимірювання	Концентрація, мг/м ³			
		Метан		Сірководень	
		Результати моделювання	Довірчий інтервал	Результати моделювання	Довірчий інтервал
1	Точка № 1	233,8 – 265,1	228,5 – 267,1	0,035 – 0,038	0,030 – 0,040
2	Точка № 2	383,1 – 412,8	379,6 – 415,5	0,057 – 0,063	0,055 – 0,066
3	Точка № 3	495,0 – 528,6	490,7 – 532,7	0,075 – 0,083	0,072 – 0,085
4	Точка № 4	479,9 – 501,8	467,5 – 505,6	0,077 – 0,081	0,073 – 0,081
5	Точка № 5	396,3 – 418,2	389,8 – 426,6	0,056 – 0,059	0,052 – 0,067
6	Точка № 6	392,8 – 417,1	383,0 – 420,7	0,058 – 0,065	0,051 – 0,066
7	Точка № 7	386,2 – 395,1	369,9 – 400,1	0,052 – 0,060	0,050 – 0,064
8	Точка № 8	314,0 – 326,1	304,1 – 335,9	0,045 – 0,049	0,043 – 0,053
9	Точка № 9	323,8 – 335,8	310,4 – 347,0	0,044 – 0,052	0,041 – 0,054
10	Точка № 10	270,0 – 294,7	265,2 – 300,6	0,038 – 0,044	0,035 – 0,048
11	Точка № 11	280,6 – 297,4	278,0 – 310,7	0,039 – 0,046	0,033 – 0,046
12	Точка № 12	249,3 – 269,8	244,6 – 275,3	0,035 – 0,042	0,030 – 0,044
13	Точка № 13	225,4 – 242,5	219,8 – 252,5	0,036 – 0,039	0,031 – 0,040
14	Точка № 14	210,5 – 234,8	205,9 – 243,2	0,031 – 0,035	0,028 – 0,037
15	Точка № 15	196,4 – 228,1	190,0 – 230,9	0,024 – 0,032	0,024 – 0,034
16	Точка № 16	200,1 – 225,8	196,9 – 230,0	0,022 – 0,030	0,021 – 0,032

Для візуалізації отриманих результатів моделювання у вигляді карти забруднення метаном ПША на території розміщення свердловини за умов фонтанування, що розглядаються, здійснювався перехід на вкладку «Картографічне моделювання». Інтерфейс вкладки «Картографічне моделювання» розроблено таким чином, що географічні координати обраної точки, її поточні координати в системі координат, яка пов'язана з картою, рівень концентрації ЗР, ризик миттєвих токсичних ефектів, ризик хронічної інтоксикації за обраний час, індивідуальний канцерогенний ризик та коефіцієнт небезпеки в цій точці автоматично відображаються під картою при наведенні курсору миші на дану точку на карті. Результат виконаних дій показано на рис. 10.

Моделювання забруднення земної поверхні при аварійному фонтануванні нафтової свердловини (ФНС) здійснено для території розміщення свердловини трапилась аварійна ситуація з виникненням некерованого відкритого неперервного фонтанування нафти, яке тривало 15 год.

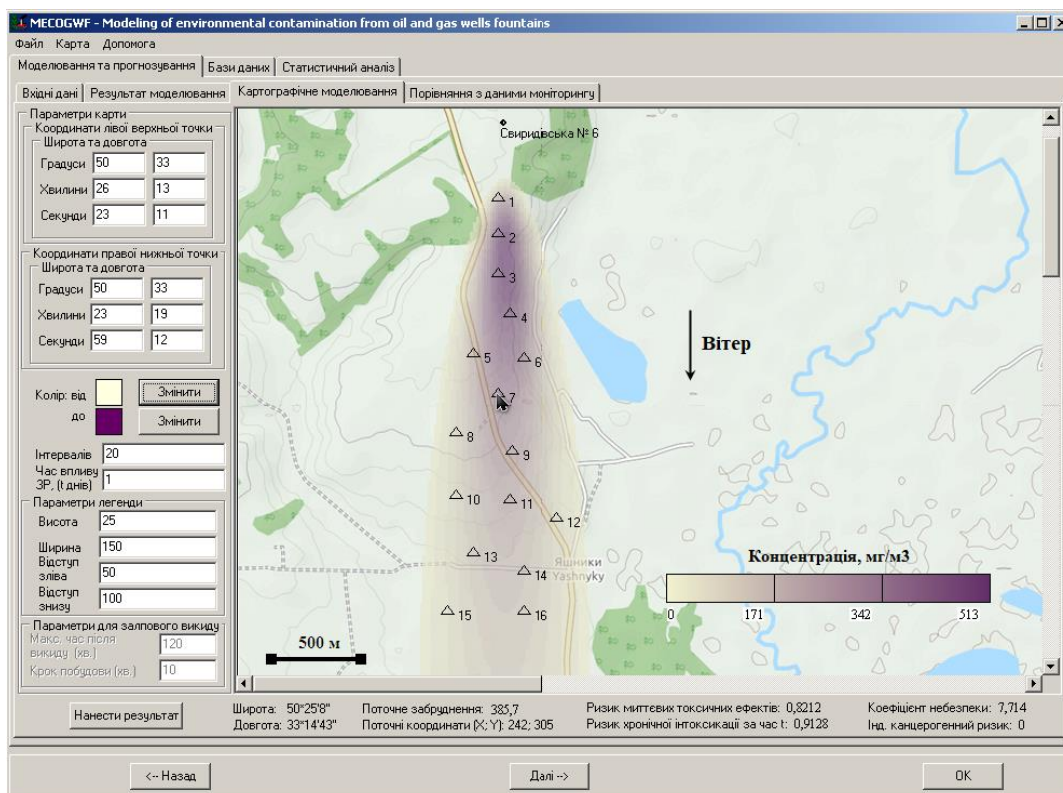


Рис. 10. Карта розподілу концентрацій метану в ПША при неперервних викидах під час відкритого фонтанування свердловини

Для перевірки достовірності розроблених моделей проведено модельні експерименти з визначення товщини НП у місцях здійснення натурних вимірювань і перевірено належність отриманих результатів обчисленим довірчим інтервалам. За отриманими даними відповідно до критерію Стьюдента з надійністю 0,99 розраховано довірчі інтервали для товщини НП у всіх місцях натурних вимірювань.

В таблиці 3 показано зведені результати моделювання та натурних вимірювань.

Таблиця 3 – Результати моделювання та натурних вимірювань товщини НП в результаті фонтанування свердловини

№ п.п.	Місце вимірювання	Товщина НП, м	
		Результати моделювання	Довірчий інтервал
1	Точка № 1	13,5 – 16,4	12,4 – 16,9
2	Точка № 2	10,6 – 14,3	10,3 – 14,6
3	Точка № 3	10,4 – 13,0	9,8 – 13,1
4	Точка № 4	12,1 – 15,2	11,8 – 15,4
5	Точка № 5	8,0 – 10,1	7,6 – 10,3
6	Точка № 6	5,9 – 9,2	5,7 – 9,5
7	Точка № 7	5,1 – 8,3	4,9 – 8,8
8	Точка № 8	3,9 – 7,4	3,8 – 7,6
9	Точка № 9	3,0 – 6,7	2,7 – 6,9
10	Точка № 10	2,1 – 4,3	1,7 – 4,5

Приклад візуалізації результатів моделювання у вигляді електронної карти розподілу нафтового забруднення земної поверхні на території розміщення свердловини під час її аварійного фонтанування показаний на рис. 11. Розподіл нафтового забруднення побудований на момент 12 год. від початку фонтанування. Необхідний момент часу, для якого потрібно побудувати розподіл товщини нафтової плями по досліджуваній території, зазначається у полі «Час з моменту фонтанування» вкладки «Картографічне моделювання».

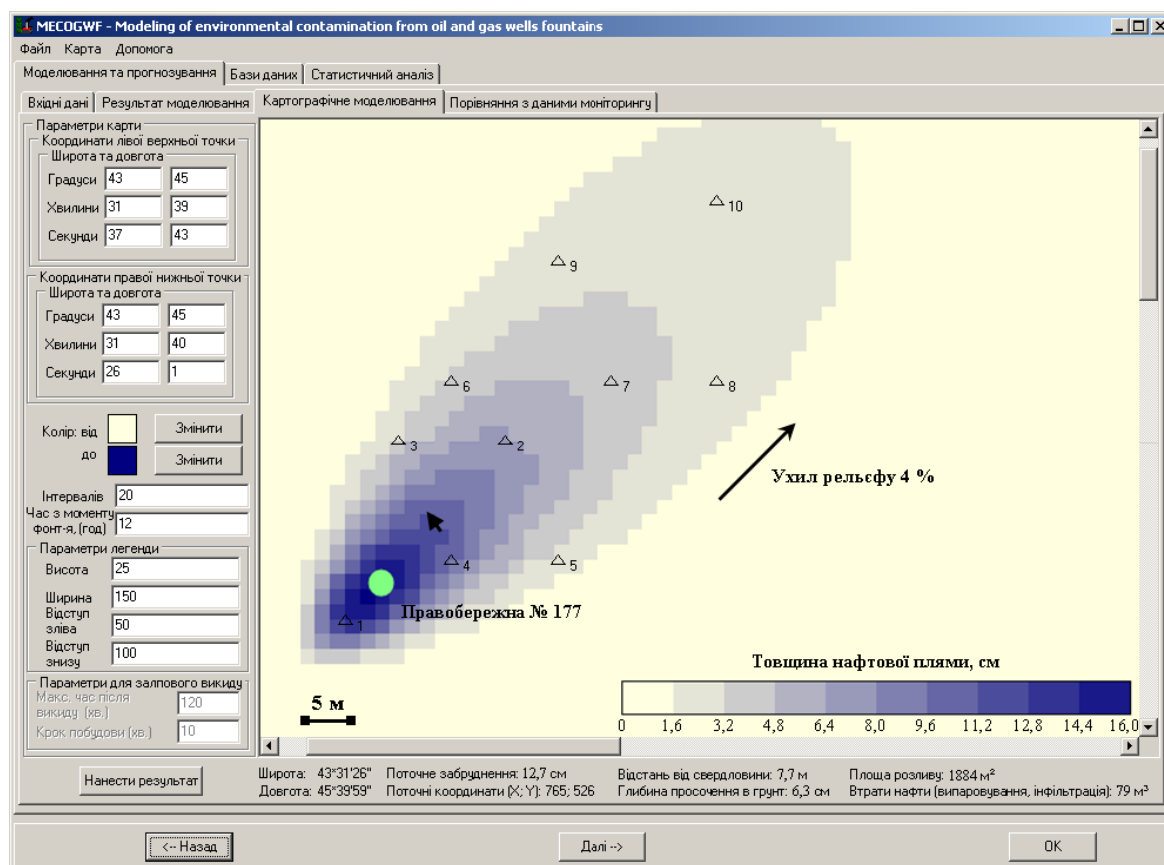


Рис. 11. Візуалізація розподілу забруднення земної поверхні нафтою внаслідок відкритого фонтанування свердловини

Таким чином, результати моделювання вкладаються у відповідні довірчі інтервали, обчислені за даними натурних вимірювань відповідно до критерію Стюдента з надійністю 0,99, що дозволяє зробити висновок про високу достовірність виконаних модельних експериментів та адекватність розроблених математичних моделей витікання нафтового флюїду з свердловини та його розтікання земною поверхнею внаслідок відкритого фонтанування.

В шостому розділі «Управління екологічною безпекою життєвого циклу нафтогазових свердловин» наведено основні позиції Стратегії зменшення забруднення довкілля на етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин. Нижче наведено ці позиції:

- кожен етап життєвого циклу необхідно аналізувати на можливість скорочення не тільки вихідних потоків (емісій, скидів, відходів тощо), а й зменшення вхідних потоків, що передбачає ресурсозбереження та ефективне використання енергії.

Досягнення таких ефектів можливе при модернізації існуючих технологій та устаткування;

- постійний контроль свердловин, виведених з експлуатації шляхом розроблення інноваційних тактик їх залучення в життєвий цикл енергетичних потоків;

- зменшення ризику виникнення аварійних ситуацій шляхом проведення моніторингу стану устаткування: вчасне діагностування та вибір критеріїв досконалості устаткування;

- розроблення прогностичних оцінок при аварійних ситуаціях, зокрема при газонафтоводопроявах та відкритих фонтанах, що дозволить приймати ефективні управлінські рішення для швидкої локалізації аварії та зменшення негативних екологічних ефектів на навколишнє природне середовище. Для досягнення таких результатів необхідно використовувати вдосконалену математичну базу та розроблений програмно-моделюючий комплекс;

- формування системи управління екологічною безпекою на всіх етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин, яка базується на принципах стійкого розвитку, еко-ефективності та постійного вдосконалення шляхом адаптації провідних практик розвинених країн та напрацювання власних управлінських підходів.

Розроблено методику визначення екологічної досконалості устаткування, яка базується на вимогах ряду директив ЄС: Рамкова Директива № 2008/98/ЄС Європейського парламенту та Ради від 19 листопада 2008 р. “Про відходи та скасування деяких директив”, Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21 травня 2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи, де визначено основні вимоги до запобігання або зниження негативних наслідків при виробництві та управлінні відходами, а також зменшення загального впливу використання ресурсів та підвищення ефективності такого використання, наведено цільові показники та довгострокові цілі забезпечення ефективного захисту проти шкідливих впливів на здоров’я людини, рослинність та екосистеми від негативного впливу забруднюючих речовин у довкіллі.

Визначати екологічну досконалисть устаткування пропонується на основі встановлення *індексу екологічної досконалості ІЕЕ (The index of environmental excellence)*. Основною характеристикою ІЕЕ є показники устаткування етапів виготовлення, експлуатації та утилізації. Зазначені показники відображають етапи життєвого циклу устаткування (виготовлення, експлуатація, утилізація) шляхом визначення індексу екологічної досконалості (Index of environmental excellence) ІЕЕ взірця устаткування. Кожен етап передбачає встановлення ІЕЕ, відповідно: ІЕЕ_р (production - виготовлення), ІЕЕ_е (exploitative - експлуатаційні), ІЕЕ_т (recycling - утилізаційні). Для кількісного оцінювання екологічної досконалості однотипних взірців нафтогазового устаткування розробляються матриці оцінювання екологічної досконалості вже згаданих етапів. Для кожного етапу встановлюються критерії, за якими оцінюватиметься досконалисть кожного однотипного взірця:

- в процесі виготовлення: І_е - показник емісії питомих викидів; І_в - питомий показник утворення відходів; І_{ес} – показник питомої енергоємності; І_{ем} – показник питомої матеріаломісткості та І_н – непередбачуваний показник, який може появитись у певного типу устаткування;

- в процесі експлуатації: I_p - показник забруднення довкілля, який передбачається для устаткування, конструктивні та експлуатаційні характеристики якого під час експлуатації зумовлюють утворення забруднюючих речовин, що вільно надходять в довкілля, створюючи ризик небезпечних екологічних ефектів; I_{ec} – показник питомої енергоемності; I_m - питомий розхід паливо-мастильних матеріалів; I_t – показник транспортабельності; I_w - показник надійності в роботі; I_s - показник зручності в обслуговуванні та I_u - непередбачуваний показник.

- в процесі утилізації: I_c – показник компонентності (полікомпонентний або монокомпонентний); I_r – показник можливості повторної переробки; I_i – показник наявності відходів іонізаційного випромінювання; I_u - непередбачуваний показник.

В табл. 4 наведено матрицю оцінювання рівня екологічної досконалості однотипних взірців нафтогазового устаткування в процесі їх виготовлення.

Таблиця 4 – Матриця оцінювання рівня екологічної досконалості однотипних взірців нафтогазового устаткування в процесі їх виготовлення

№п/п	Критерії оцінювання екологічної досконалості взірців нафтогазового устаткування в процесі виготовлення					Індекс екологічної досконалості на етапі виготовлення (I_{EEp})
	Показник емісії (питомий викид), I_e	Питомий показник утворення відходів, I_w	Показник питомої енергоемності, I_{ec}	Показник питомої матеріаломісткості, I_{em}	Непередбачуваний показник, I_u	
1	R_{e1} $I_e \cdot R_{e1} = IEE_{e1}$	R_{w1} $I_w \cdot R_{w1} = IEE_{w1}$	R_{ec1} $I_{ec} \cdot R_{ec1} = IEE_{ec1}$	R_{em1} $I_{em} \cdot R_{em1} = IEE_{em1}$	R_{u1} $I_u \cdot R_{u1} = IEE_{u1}$	$IEE_{e1} + IEE_{w1} + IEE_{ec1} + IEE_{em1} + IEE_{u1} = IEE_{p1}$
2	R_{e2} $I_e \cdot R_{e2} = IEE_{e2}$	R_{w2} $I_w \cdot R_{w2} = IEE_{w2}$	R_{ec2} $I_{ec} \cdot R_{ec2} = IEE_{ec2}$	R_{em2} $I_{em} \cdot R_{em2} = IEE_{em2}$	R_{u2} $I_u \cdot R_{u2} = IEE_{u2}$	$IEE_{e2} + IEE_{w2} + IEE_{ec2} + IEE_{em2} + IEE_{u2} = IEE_{p2}$
3	R_{e3} $I_e \cdot R_{e3} = IEE_{e3}$	R_{w3} $I_w \cdot R_{w3} = IEE_{w3}$	R_{ec3} $I_{ec} \cdot R_{ec3} = IEE_{ec3}$	R_{em3} $I_{em} \cdot R_{em3} = IEE_{em3}$	R_{u3} $I_u \cdot R_{u3} = IEE_{u3}$	$IEE_{e3} + IEE_{w3} + IEE_{ec3} + IEE_{em3} + IEE_{u3} = IEE_{p3}$
4	R_{e4} $I_e \cdot R_{e4} = IEE_{e4}$	R_{w4} $I_w \cdot R_{w4} = IEE_{w4}$	R_{ec4} $I_{ec} \cdot R_{ec4} = IEE_{ec4}$	R_{em4} $I_{em} \cdot R_{em4} = IEE_{em4}$	R_{u4} $I_u \cdot R_{u4} = IEE_{u4}$	$IEE_{e4} + IEE_{w4} + IEE_{ec4} + IEE_{em4} + IEE_{u4} = IEE_{p4}$

Кожному типу взірця устаткування залежно від того, на скільки він відповідає вимогам вибраних екологічних критеріїв, присвоюється відповідна кількість балів R (rank) за 10-ти бальною шкалою і заноситься у відповідні клітинки матриці. При цьому значення характеристики, що погіршує рівень екологічної безпеки (РЕБ), одержує мінімальний бал, а значення характеристик, які покращують РЕБ, одержують максимальний бал. Рівень екологічної досконалості встановлюється сумуванням індексів екологічної досконалості всіх етапів життєвого циклу (виготовлення, експлуатація, утилізація):

$$IEE = IEE_p + IEE_e + IEE_r \quad (12)$$

Зразку устаткування, який отримав максимальну кількість балів у сумі всіх етапів життєвого циклу, присвоюється найвищий рівень екологічної досконалості серед однотипних взірців.

Запропоновані методичні підходи до формування системи запобігання виникненню небезпечних ситуацій на об'єктах нафтогазового комплексу – нафтогазових свердловинах створюють – основу для практичного розроблення нових взірців устаткування з врахуванням принципів екоефективності.

В сьомому розділі «Розробка заходів і методів запобігання розвитку небезпечних процесів життєвого циклу нафтогазових свердловин» запропоновано модель управління екологічною безпекою нафтогазової свердловини (рис. 12), розроблено і вдосконалено конструкції окремих елементів устаткування підвищеного рівня екологічної безпеки, а також запропоновано заходи та рекомендації щодо зменшення рівня забруднення у процесі життєвого циклу нафтогазових свердловин.

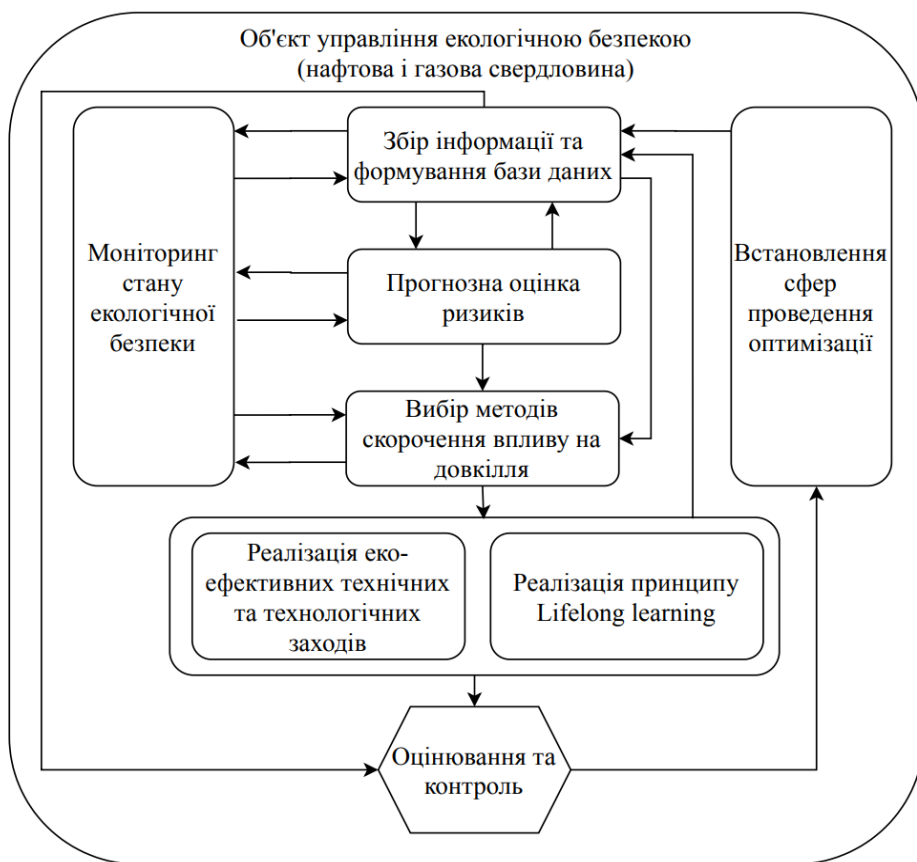


Рис. 12. Модель управління екологічною безпекою нафтогазової свердловини

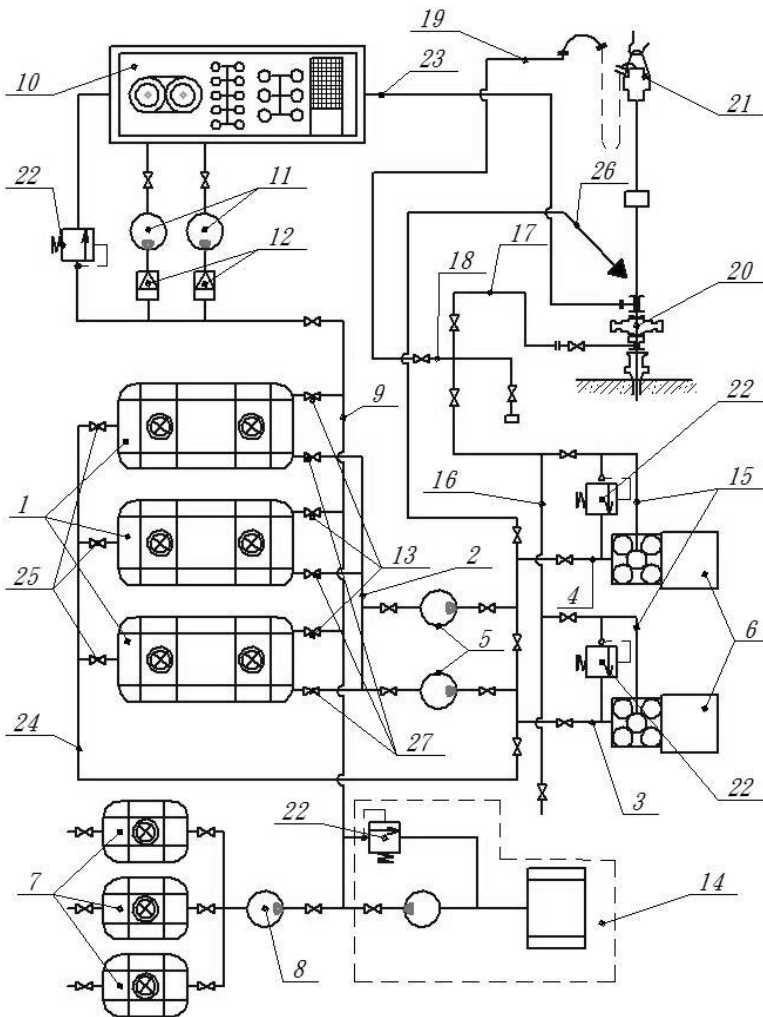
Розроблена модель має циклічний характер і ґрунтується на принципах управління екологічною безпекою, що закладені в Стратегії зменшення забруднення довкілля етапів життєвого циклу нафтогазових свердловин, яка наводиться в розділі 6.

З метою підвищення екологічної безпеки та ефективності промивання свердловин, що буряться, розроблено вдосконалену схему насосно-циркуляційної системи бурової установки (рис. 13).

При виконанні всіх вказаних вище та

інших технологічних операцій, що пов'язані із запропонованою насосно-циркуляційною системою зменшується забруднення довкілля за рахунок максимальної герметизації всіх ділянок системи і раціонального розташування всіх комплектуючих елементів. Особливістю запропонованої системи є те, що приймальні ємності та ємності з хімреагентами виконані герметичними із еластичного матеріалу, і компактно складаються для зручності транспортування, монтажу і демонтажу. Ділянки всмоктувальної лінії оснащені шламовими відцентровими насосами та обв'язкою трубопроводів для перемішування бурового розчину у закритих приймальних ємностях з еластичного матеріалу і для можливості доливання свердловини. Жолобова циркуляційна лінія виконана закритою із еластичних трубопроводів, а для

забезпечення руху бурового розчину оснащена шламовими відцентровими насосами.



1 – герметичні приймальні ємності; 2, 3, 4, 24 – всмоктувальна лінія; 5, 8, 11 – шламовий насос; 6 – буровий насос; 7 – ємність з хімреагентами; 9, 23 – жолобооциркуляційна лінія; 10 – блок очистки; 12 – зворотні клапани; 13, 27 – запірні елементи; 14 – блок приготування бурового розчину; 15, 16, 17, 18 – нагнітальна лінія; 19 – стояк; 20 – обладнання устя свердловини; 21 – вертлюг; 22 – запобіжні перемикаючі пристрої; 25 – запірні елементи; 26 – лінія для доливу бурового розчину.

Рис. 13. Схема модернізованої насосно-циркуляційної системи бурової установки

компресорних труб, штанг, кабелів тощо) під час ремонту експлуатаційної свердловини.

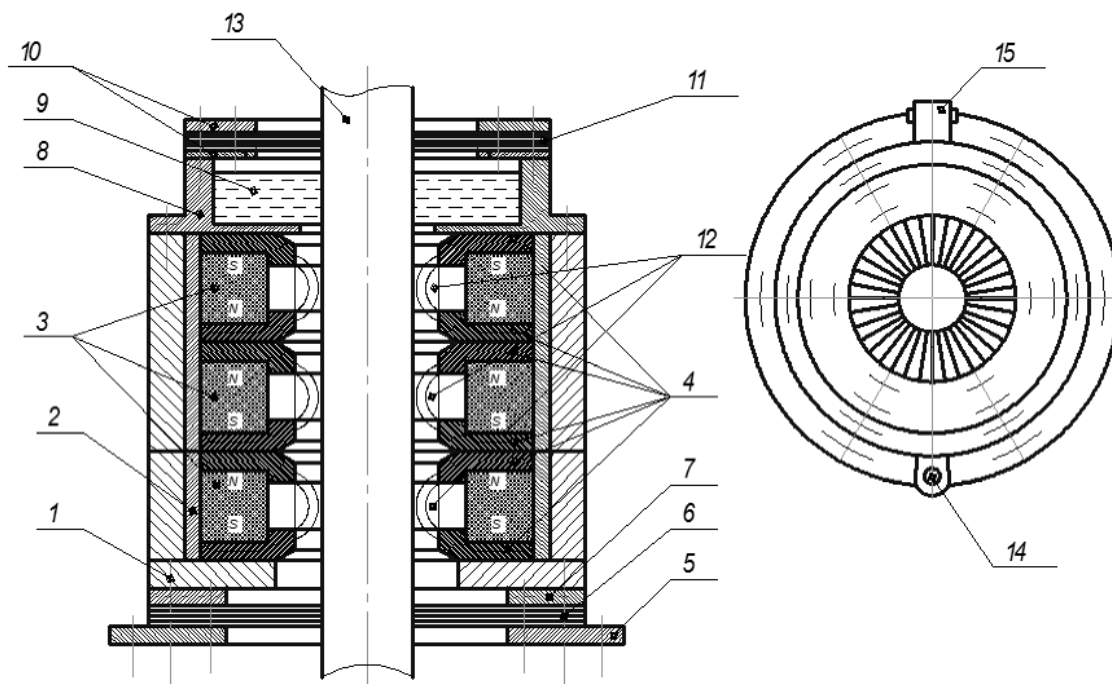
Використання запропонованого обладнання дасть можливість уникнути потрапляння шкідливих речовин в навколишнє середовище, запобігти шкідливому впливу агресивних речовин на здоров'я персоналу та підвищити пожежну безпеку бурової установки. Представлена конструкція пристрою для очищення свердловинного інструменту захищена патентом України на винахід. Застосування даного пристрою дозволить запобігти виникненню аварійних ситуацій, що супроводжується енерге-

3 метою розподілу та регулювання потоків бурового розчину ділянки всмоктувальних і нагнітальних ліній та ділянки жолобово-циркуляційної лінії оснащені зручно розміщеним оптимальним набором запірної арматури, зворотних клапанів і запобіжних перемикаючих пристроїв.

Щоб уникнути потрапляння забруднювачів у навколишнє середовище при підйомі бурового інструменту і випаровуванні бурового розчину зі зовнішньої поверхні бурильних труб пропонується конструктивне удосконалення обладнання блоку очистки бурового розчину та пристрою для очищення свердловинного інструменту (рис.14).

Підвищення надійності і ефективності роботи пристрою досягається шляхом запобігання пошкодження очисних елементів, покращення якості очищення інструменту зі складними формами поверхні, а також можливістю нейтралізувати небезпечні речовини. Запропонований пристрій може бути використаний в процесі буріння для очищення зовнішньої поверхні вилученого із свердловини інструменту (бурильних труб, насосно-

тичними та ресурсними витратами є причиною забруднення довкілля флюїдами. На запропоновану конструкцію штангового магнітного дефектоскопу одержано патент на корисну модель.



1 – корпус; 2 – кожух; 3 – магніти; 4 – магнітопроводи; 5 – фланець; 6 – пружні елементи; 7 – проміжна шайба; 8 – емність; 9 – магнітна рідина; 10 – кільця; 11 – пружні елементи; 12 – магнітна рідина; 13 – свердловинний інструмент.

Рис. 14. Схема пристрою для очищення свердловинного інструменту

Завершальні етапи експлуатації нафтових свердловин супроводжуються технологічними процесами із залученням устаткування, що перебуває в агресивних умовах. Руйнування штанг у свердловині – це складна економічно затратна аварійна ситуація. Основною метою вдосконалення штангового магнітного дефектоскопа було зменшення аварійних ситуацій з штангами глибинно-насосних установок за рахунок відбраковування штанг з дефектами. Вдосконалення штангового магнітного дефектоскопа полягало у зменшенні розсіювання магнітного поля з метою покращення якісних показників дефектоскопії. Застосування даного пристрою дозволить запобігти виникненню аварійних ситуацій, що супроводжується енергетичними та ресурсними витратами, а також спричиняє забруднення довкілля флюїдами. На запропоновану конструкцію штангового магнітного дефектоскопа одержано патент на корисну модель.

Запропоновано рекомендації щодо природоохоронних заходів на окремих етапах життєвого циклу нафтогазової свердловини, які передбачають:

- використання піногенеруючого багатосоплового пристрою марки ПГП-100x25-5, який, під час промислових випробувань дав можливість зменшити використання ПАР на 15...25% при приготуванні пінистого бурового розчину;

- використання спеціально розробленого устаткування для демонтажу пошкодженого обладнання забезпечить значне прискорення ліквідації складних техногенних аварій – відкритих нафтогазових фонтанів, що мінімізує межі шкідливого впливу на довкілля;

- створення умов постійного технічного та екологічного контролю виведених з

експлуатації свердловин, а також розвиток петротермальної енергетики як екологічно чистого та перспективного напрямку альтернативної енергетики.

ВИСНОВКИ

Результатом виконання дисертаційної роботи стало вирішення важливої науково-прикладної проблеми менеджменту екологічної безпеки нафтогазового комплексу - розроблення системи запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів на різних етапах життєвого циклу нафтогазовидобувних об'єктів. На основі проведених досліджень розроблено нові еко-ефективні технології та система прогнозування для безпечного управління природоохоронною діяльністю об'єктів нафтогазового комплексу. Наведено нові методичні підходи, технічні та технологічні рішення, впровадження яких дозволить підвищити рівень екологічної безпеки нафтогазової галузі. До основних результатів дисертаційної роботи належать:

1. Проаналізовано основні показники екологічної безпеки та розглянуто існуючі аспекти нормативно-правової бази об'єктів нафтогазового комплексу. Визначено недосконалість сучасної системи екологічного менеджменту та необхідність розроблення вдосконаленої методології управління екологічною безпекою на об'єктах нафтогазовидобутку.

2. Розроблено інноваційну концепцію нафтогазового підприємства, яка передбачає профілактичні заходи, моніторинг та оцінку життєвого циклу як засіб забезпечення еко-ефективності. На основі теоретичних та польових досліджень нафтових і газових свердловин проведено оцінку їх життєвого циклу. Це дало можливість встановити найбільшу потужність вхідних та вихідних потоків на етапі буріння, який характеризується високою ймовірністю виникнення аварійних екологічно-небезпечних ситуацій, однак його тривалість становить лише 2 % від загального життєвого циклу нафтогазової свердловини. На етапах підготовки майданчика, монтажу та демонтажу спостерігається висока інтенсивність транспортування та залучення автоспецтехніки. Етап експлуатації виражений середніми значеннями потужності вхідних потоків, але його тривалість становить близько 85 % від загального життєвого циклу нафтогазової свердловини.

3. Проведено аналіз умов утворення аварійних нафтових і газових фонтанів, виникнення яких супроводжується значними екологічно-небезпечними наслідками. Встановлено фактори, які визначають масу (інтенсивність) викиду флюїду (суміші газів, нафти), розподіл концентрації забруднюючих речовин в атмосфері, нафтове забруднення на земній поверхні.

4. Розроблено математичні моделі витікання флюїду з свердловини та математичну модель розсіювання забруднюючих домішок в атмосферному повітрі при фонтануванні газової свердловини, яка дозволяє визначати розподіл концентрації в просторі та часі за стаціонарних і нестаціонарних умов викиду, а також різних метеорологічних сценаріїв.

5. Вдосконалено математичну модель розтікання нафти по земною поверхнею при фонтануванні нафтової свердловини, яка, на відміну від існуючих, враховує всі основні фактори впливу на даний процес. Це дає можливість ефективно розв'язувати задачі моніторингу атмосферного повітря на територіях розміщення

газових свердловин та превентивного прогнозу надзвичайних ситуацій, пов'язаних з аварійним фонтануванням.

6. Представлено програмно-моделюючий комплекс, що реалізує розроблені математичні моделі забруднення атмосферного повітря та земної поверхні в результаті відкритого фонтанування газових та нафтових свердловин відповідно. Результати виконаних модельних експериментів з визначення концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та визначення товщини нафтової плями на земній поверхні в різних точках територій розміщення фонтануючих газових та нафтових свердловин вкладаються у відповідні довірчі інтервали, обчислені за даними натурних вимірювань відповідно до критерію Стьюдента з надійністю 0,99. Це дає підстави зробити висновок про високу достовірність виконаних модельних експериментів та адекватність розроблених математичних моделей.

7. Визначено принципи управління екологічною безпекою життєвого циклу нафтогазових свердловин та напрямки їх реалізації на основі скорочення вхідних і вихідних потоків. Розроблено стратегію зменшення забруднення довкілля протягом життєвого циклу нафтогазових свердловин, яка базується на принципах стійкого розвитку, еко-ефективності та постійного вдосконалення. Встановлено вплив екологічної досконалості технічних засобів та технологій на рівень екологічної безпеки процесів в нафтогазовому комплексі.

8. Розроблено модель управління екологічною безпекою нафтогазової свердловини, яка передбачає функціонування взаємопов'язаних блоків: інформаційного, моніторингового, прогнозного, вибору методів скорочення впливу на довкілля, реалізації еко-ефективних технічних та технологічних рішень і принципів «Lifelong learning», оцінювання та контролю, оптимізаційного. Дана модель функціонує за принципом спіралі постійного вдосконалення. Модель передбачає використання розробленої методики визначення екологічної досконалості нафтогазового устаткування шляхом вибору взірців устаткування із індексом, що відповідає найвищому значенню екологічної досконалості. Основою методики є вибір критеріїв, характерних для обраного устаткування та порівняння їх показників на визначальних етапах життєвого циклу взірця (виготовлення, експлуатація, утилізація).

9. Запропоновано методи щодо модернізації схеми насосно-циркуляційної системи з метою максимальної герметизації елементів устаткування від потрапляння шкідливих речовин бурового розчину в довкілля.

10. Запропоновано конструктивне вирішення пристрою для очищення свердловинного інструменту, який дозволяє провести ефективне очищення інструменту зі складними формами поверхні та нейтралізувати небезпечні речовини. Також вдосконалено систему діагностики устаткування для відбраковування штанг, запобігаючи виникненню аварійних ситуацій, які є потенційними джерелами забруднення довкілля.

11. Запропоновано низку рекомендацій з метою запобігання високому екологічному ризику та скороченню негативного впливу шляхом використання ряду устаткування та методичних підходів при регламентованій роботі на етапі спорудження свердловини, під час виникнення аварійних ГНВП та відкритих фонтанів, а також для свердловин, виведених з експлуатації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Колективні монографії

1. Екологічна безпека нафтогазового комплексу у західному регіоні Колективна монографія /О. М. Адаменко, Т. М. Яцишин та ін.; за ред. проф. Я. О. Адаменка. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 384 с.
2. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / В. О. Артемчук, Т. Р. Білан, І. В. Блінов, Т. М. Яцишин та ін.; за ред. А. О. Запорожця, Т. Р. Білан. Київ, 2017. 312 с.
3. Innovative development of resource-saving technologies for mining. Shkitsa L., Yatsyshyn T., Liakh M. ets. Multi-authored monograph. Sofia: Publishing House "St.Ivan Rilski", 2018. 439 p.

Публікації у фахових виданнях

4. Шкіца Л.Є. Яцишин Т.М. Підвищення рівня екологічної безпеки насосно-циркуляційної системи бурової установки. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2014. №3(52). С. 7-16.
5. Яцишин Т.М., Глібовицька Н.І. Вплив нафтогазовидобутку на довкілля і перспективи фітоіндикації та фітотерапії техногенно трансформованих територій. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2016. №1(13). С. 22-29.
6. Орфанова М.Мик., Орфанова М.Мих., Яцишин Т.М., Рибак О.І. Інноваційні технології у формуванні трирівневої екологічної освіти. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2016 №14. С. 98-101.
7. Добровольський І.В, Лях М.М., Федоляк Н.В, Яцишин Т.М. Дослідження технічних показників устаткування для гідроабразивного відрізання обладнання з фонтануючої свердловини. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. №1(62). С. 7-16.
8. Яцишин Т.М. Аналіз впливу аварійних ситуацій на навколишнє середовище при бурінні нафтогазових свердловин. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Випуск 78. С. 81-87.
9. Яцишин Т.М. Аналітичний огляд методів оцінки забруднення атмосферного повітря на нафтогазових свердловинах. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Випуск 80. С. 61-70.
10. Шкіца Л.Є., Яцишин Т.М., Сидоренко О.І Методи покращення якості атмосферного повітря під час буріння нафтогазових свердловин. *Нафтогазова галузь України*. 2017. №5. С. 42-45.
11. Яцишин. Т.М. Аналіз рівня екологічної безпеки свердловин, що виведені з експлуатації. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. №4(65). С. 26-33.
12. Яцишин Т.М. Вибір математичних закономірностей для визначення основних параметрів випромінювання полум'я аварійного газового факелу. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Випуск 82. С. 64-73.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2018_82_11

13. Яцишин Т.М. Вибір критеріїв системи управління екологічними ризиками під час спорудження нафтогазових свердловин. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2018. № 2 (67). С. 31-40.
14. Яцишин Т.М. Аналіз впливу на довкілля життєвого циклу нафтогазової свердловини. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 81. С. 24-31.
15. Артемчук В.О., Каменева І.П., Яцишин А.В., Яцишин Т.М. Методичні та інформаційні засоби аналізу екологічних ризиків на основі даних моніторингу. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Випуск 83. С. 48-62.
16. Яцишин Т.М. Визначення методу дослідження багатофакторних систем на прикладі розливів флюїдів при нафтогазовидобутку. *Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. пр. Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2018. Випуск 83. С. 27-39.
17. Артемчук В.О., Попов О.О., Яцишин А.В., Кириленко Ю.О., Яцишин Т.М. Перспективи розробки математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. пр. Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2018. Випуск 85. С. 75-80.
18. Яцишин Т.М. Оцінка життєвого циклу як інструмент екоефективності нафтогазовидобувних об'єктів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2019. № 3 (72). С. 83-92.

Публікації у виданнях, що входять до науково-метричної бази SCOPUS

19. Shkitsa L., Yatsyshyn T., Lyakh M., Sydorenko O. Means of atmospheric air pollution reduction during drilling wells. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Volume 144. Issue 1. P. 012009 (2016).
20. Biletskyi, V., Molchanov, P., Sokur, M., Gayko, G., Savyk, V., Orlovskyy, V., Liakh, M., Yatsyshyn, T., Fursa, R. Research into the process of preparation of Ukrainian coal by the oil aggregation method. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 3/5 (87), P. 45-53. URL:<http://journals.uran.ua/eejet/article/viewFile/104123/100830>
21. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn T. Conceptual Approaches for Development of Informational and Analytical Expert System for Assessing the NPP impact on the Environment. *Nuclear and Radiation Safety*. 2018. № 3(79). P. 56–65. DOI:10.32918/nrs.2018.3(79).09
22. Yatsyshyn T., Mykhailiuk Y., Liakh M., Mykhailiuk I., Savyk V., Dobrovolskyi I. Establishing the dependence of pollutant concentration on operational conditions at facilities of an oil-and-gas complex. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Ecology*. 2018 № 2/10 (92). P. 56-63. URL:<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/126624/124846>
23. Skitsa L., Yatsyshyn T., Liakh M., Sydorenko O. Ways of increasing the safety of pumping-circulatory system of the drilling rig. *Mining of Mineral Deposits*. 2018. Volume 12. Issue 3. P. 71-79. URL:http://mining.in.ua/2018vol12_3_9.html
24. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Hurkovskyi V., Nikolaiev K., Yatsyshyn T., Dimitriieva D.

Physical Features of Pollutants Spread in the Air During the Emergency at NPPs. *Nuclear and Radiation Safety*. 2019. № 4(84). P. 88-98. DOI:10.32918/nrs.2019.4(84).11

25. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn T., Matvieieva I.: Analysis of Possible Causes of NPP Emergencies to Minimize Risk of Their Occurrence. *Nuclear and Radiation Safety* 2019. №1(81), P. 75-80. DOI:10.32918/nrs.2019.1(81).13.
26. Yatsyshyn T., Shkitsa L., Popov O., Liakh M. Development of mathematical models of gas leakage and its propagation in atmospheric air at an emergency gas well gushing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ECOLOGY*. 2019. Vol 5, № 10 (101). P. 49-59. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179097> <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/179097>
27. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Kameneva I., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn T. Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health & Pollution*. 2020. Vol. 10. №25. P. 1-11. URL:<https://www.journalhealthpollution.org/doi/full/10.5696/2156-9614-10.25.200303>
28. Shkitsa L., Yatsyshyn T., Lyakh M., Sydorenko O. Innovative approaches to the formation of environmental safety at the objects of oil and gas production. *Materials Science and Engineering: IOP Conf. Series*. 2020. №749 012009 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/749/1/0120092019

Патенти

29. Пристрій для очищення свердловинного інструменту. пат. 108717 Україна: МПК E21B 37/02(2006.01) B08B 9/023 (2006.01). заявл.02.06.214; опубл.25.05.2015, Бюл. № 10. 5с.
30. Насосно-циркуляційна система бурової установки. пат. 123713 Україна заявка № u 2017 07840; від 12.03.2018. Опубл. 12.03.2018, Бюл. №5.
31. Штанговий магнітний дефектоскоп пат. 138764 Україна заявка № u 2019 05340; від 20.05.2019. Опубл. 10.12.2019, Бюл. №23.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

32. Лях М.М., Яцишин Т.М., Федоляк Н.Ф., Вакалюк В.М. Аналіз технічного рівня обладнання для сепарації бурового розчину та напрямки його модернізації. *Нафтогазова освіта та наука: стан та перспективи: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. С.159-161.
33. Шкіца Л.Є., Яцишин Т.М. Дослідження процесів забруднення атмосферного повітря на прикладі території бурової установки. *Нафта і газ. Наука-освіта – виробництво: шляхи інтеграції та інноваційного розвитку: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції, 8 – 9 травня 2015*. Дрогобич, 2015. С. 52-55.
34. Яцишин Т.М., Попов О.О., Артемчук В.О. Розробка математичних засобів для вирішення задач екологічного моніторингу техногенних джерел забруднення. *Стратегія качества в промышленности и образовании: Материалы XI международной конференции, 1-5 июня 2015*. Варна, Болгария. С. 430-435.
35. Яцишин Т.М. Моніторинг джерел забруднення атмосферного повітря території

- бурової установки. Нафтогазова енергетика 2015: Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції, 21-24 квітня 2015р. Івано-Франківськ. С. 73-76.
36. Shkitsa L., Yatsyshyn T., Lyakh M. Means of atmospheric air pollution reduction during drilling wells. Innovative ideas in science. Baia Mare, 12-13 November. Romania: technical university of Cluj-Napoca, 2015 <http://conf.cunbm.utcluj.ro/index.php/iis/iis2015>
37. Лях М.М., Яцишин Т.М., Федоляк Н.Ф., Ващаєв О.В. Вплив якості діагностування нафтогазового обладнання на екобезпеку та якісні показники технологічних процесів. Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі (МіЗД ТС-2015). Збірник матеріалів V (XXIX) міжнародної міжвузівської школи-семінару: Івано-Франківськ, 2015. С. 59-64.
38. Орфанова М.Мих., Яцишин Т.М. Екологізація освітнього процесу. Формування стратегії поводження з відходами в умовах децентралізації влади: проблеми та перспективи реалізації на рівні місцевих громад: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології», 10-11 листопада 2015, Київ. С.147-149.
39. Лях М.М., Шкіца Л.Є., Федоляк Н.В., Яцишин Т.М. Результати досліджень вібросит бурових установок. Машина, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку та диверсифікації постачання нафти і газу: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. С.131-135.
40. Яцишин Т.М., Рейті О.О. Природоохоронні технології нафтогазового комплексу. Екологічна безпека держави: тези доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, 21 квітня 2016 р., Київ: Національний авіаційний університет, 2016. С. 81-82.
41. Яцишин Т.М., Орфанова М.М. Формування кваліфікованих науково-педагогічних працівників в умовах новітньої моделі освіти. Сучасний викладач у студентоцентричній моделі освітнього процесу університету: матеріали науково-практичного семінару 3-4 березня 2016 р., ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника». Івано-Франківськ: ТОВ «ВГЦ Просвіта». 2016. С. 80-82.
42. Dmytriv A.P., Tymchuk Y.M., research supervisor: T.M. Yatsyshyn Environmental education as the element of ecological safety in the state. Перспективи розвитку професійно спрямованих мовних компетенцій в сучасній науці: Міжнародна науково-практична студентська конференції, 13 квітня 2016 року, Житомир. С 22-23.
43. Добровольський І.В., Лях М.М., Саманів Л.В., Яцишин Т.М. Проблеми ліквідації відкритого нафтогазового фонтану. Актуальні задачі сучасних технологій. Збірник тез доповідей. Том II. V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. 17-18 листопада 2016. Тернопіль, /М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім.І. Пулюя [та ін]. Тернопіль: ТНТУ, 2016. С. 391-392.
44. Яцишин Т.М. Екологічно безпечні технології та обладнання для спорудження нафтогазових свердловин. Екогеофорум - 2017. Актуальні проблеми та інновації: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22-25 березня 2017р. Івано-Франківськ.

45. Лях М.М., Добровольський І.В., Яцишин Т.М. Вибір та удосконалення обладнання для ліквідації відкритих нафтогазових фонтанів. Нафтогазова енергетика 2017: VI Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, Івано-Франківськ. 2017. С.181-184.
46. Шкіца Л.Є., Яцишин Т.М. Оптимізація природоохоронних заходів на окремих об'єктах нафтогазового комплексу. Проблеми екологічної безпеки: Збірник тез XV міжнародної науково-технічної конференції, Кременчук, 2017. С.106.
47. Шкіца Л.Є., Яцишин Т.М., Сидоренко О.І. Вдосконалення нафтогазовидобувного обладнання для підвищення екологічної безпеки галузі. Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: Матеріали II міжнародної науково-технічної інтернет конференції. 2017. С. 273-274.
48. Орфанова М., Яцишин Т., Смікал І., Рибак О. Інтеграція екологічної складової в систему освіти. Екогеофорум - 2017. Актуальні проблеми та інновації: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22-25 березня 2017, Івано-Франківськ. С. 378-379.
49. Орфанова М., Яцишин Т. Вторинні ресурси Івано-Франківської області Екогеофорум - 2017. Актуальні проблеми та інновації: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22-25 березня 2017, Івано-Франківськ. С.55-56.
50. Яцишин Т.М. Використання інформаційних технологій для підвищення екологічної безпеки на об'єктах нафтогазового комплексу. Наукова молодь-2017: Збірник матеріалів V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених. 14 грудня 2017 р., м. Київ [Електронний ресурс] / за ред. Спіріна О.М. та Яцишин А.В. – К.: ІТЗН НАПН України, 2017. 353 с. Режим доступу: <http://lib.iitta.gov.ua/view/divisions/gen=5Fres=5Fiitzn/2017.html>.
51. Яцишин Т.М., Рейті О.О., Савик В.М. Дослідження виникнення екологічної небезпеки на окремих етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин. Нафта і газ. Наука-освіта – виробництво: шляхи інтеграції та інноваційного розвитку: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції. 18 – 19 квітня 2018 р., Дрогобич. Дрогобич: ТзОВ «ТрекЛТД», 2018. С. 34-37.
52. Савик В.М., Яцишин Т.М., Шкіца Л.Є., Молчанов П.О., Лях М.М. Аналіз результатів випробувань піногенеруючого пристрою на буровій. Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу PGE – 2018. Міжнародна науково-технічна конференція. 24-27 квітня 2018, Івано-Франківськ. С.254-258.
53. Яцишин Т.М., Сидоренко О.І. Оцінка забруднення довкілля нафтогазовими свердловинами при аварійних ситуаціях Problems and achievements of modern science: coll. of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with materials of the International scientific-practical conf., Cork, May 6, 2019. Cork: NGO «European Scientific Platform», 2019. V.1. p. 116. P. 94-96.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

54. Інноваційний університет і лідерство: проект і мікропроекти – П. Т. Фініков, Р. Сухарські [Т. Яцишин та ін.]. Варшава: Fundacja “Instytut Artes Liberales”, 2017. 460с.

55. Інноваційний університет і лідерство: проект і мікропроекти - III. - Т. Фініков, Р. Сухарські, [Т. Яцишин, Л. Шкіца, В. Корнута та ін.]. Варшава: Wydział "Artes Liberales" UW, b2019. 412с. 131--143. ISBN 978-83-63636-84-5 Підвищення якості надання освітніх послуг у сфері вищої технічної освіти Яцишин Т.М., Шкіца Л.Є., Корнута В.А.

АНОТАЦІЯ

Яцишин Т.М. Розроблення наукових основ запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів нафтогазовидобувними об'єктами. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2021. Спеціалізована вчена рада Д 20.052.05.

Дисертаційну роботу присвячено розробленню системи запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів на етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин шляхом визначення переліку впливових факторів, вибору методів і засобів їх контролю та регулювання інтенсивності розповсюдження поллютантів при регламентованих виробничих умовах, а також розроблення засобів прийняття управлінських рішень під час появи екстремальних ситуацій. Багатофакторність впливу, з точки зору екологічної безпеки, є однією з пріоритетних ідей даної дисертаційної роботи.

На основі проведених досліджень розроблені нові еко-ефективні технології та система прогнозування для безпечного управління природоохоронною діяльністю об'єктів нафтогазового комплексу. Наведено нові методичні підходи, технічні та технологічні рішення, впровадження яких дозволить підвищити рівень екологічної безпеки нафтогазової галузі.

Розроблено інноваційну концепцію нафтогазового підприємства для підвищення рівня екологічної безпеки, яка передбачає профілактичні заходи, моніторинг та оцінку життєвого циклу. Наведені фактори потенційного ризику на етапах життєвого циклу нафтогазової свердловини дозволили здійснити вибір критеріїв системи управління екологічними ризиками для запобігання виникненню небажаних наслідків на досліджуваних об'єктах. Проведено моніторинг найбільш поширених об'єктів нафтогазового комплексу – нафтогазових свердловин - на різних стадіях життєвого циклу та збір даних для проведення оцінки життєвого циклу нафтогазових свердловин. Таким чином, встановлено, що на етапі буріння спостерігається найбільша потужність горизонтів вхідних потоків. На етапах підготовки майданчика, монтажу та демонтажу спостерігається висока інтенсивність транспортування та залучення автоспецтехніки. Етап експлуатації виражений середніми значеннями потужності вхідних потоків, але його тривалість становить близько 85 % і більше від загальної тривалості життєвого циклу нафтогазової свердловини. Етап буріння за різноманітністю та потужністю горизонтів вихідних потоків є найбільшим, однак його тривалість становить лише 2 %.

Розроблено математичну модель розсіювання забруднюючих домішок в атмосферному повітрі та вдосконалено математичну модель розтікання нафти земною

поверхнею при фонтануванні нафтової свердловини, які, на відміну від існуючих, враховують всі основні фактори впливу на даний процес. Розроблено програмно-моделюючий комплекс вирішення задач попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням довкілля при відкритому фонтануванні газових та нафтових свердловин.

Запропоновано стратегію зменшення забруднення довкілля впродовж життєвого циклу нафтогазових свердловин, яка базується на принципах стійкого розвитку, еко-ефективності та постійного вдосконалення.

Представлено модель устаткування (деталей) з факторами, що формують їх еко-ефективність. Розроблено методику визначення екологічної досконалості нафтогазового устаткування, яка дозволяє серед однотипних взірців устаткування вибрати найбільш екологічно досконалий. Основою методики є вибір критеріїв, характерних для обраного устаткування, та порівняння їх показників на визначальних етапах життєвого циклу взірця (виготовлення, експлуатація, утилізація).

Сформовано модель управління екологічною безпекою нафтогазової свердловини, яка включає наступні блоки: інформаційний, моніторинговий, прогнозний, вибору методів скорочення впливу на довкілля, реалізації еко-ефективних технічних та технологічних рішень і принципів «Lifelong learning», оцінювання та контролю, оптимізаційного, яка функціонує за принципом спіралі постійного вдосконалення. Запропоновано низку технічних рішень устаткування на різних етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин, на які отримано патенти України та запропоновано ряд рекомендацій для запобігання екологічно-небезпечних ефектів.

Одержані результати дисертаційного дослідження дозволяють вирішити важливу науково-прикладну проблему запобігання розвитку екологічно-небезпечних процесів на об'єктах нафтогазовидобутку.

Ключові слова: нафтогазова промисловість, нафтогазова свердловина, екологічна безпека, екологічний менеджмент, оцінка життєвого циклу, еко-ефективність.

ABSTRACT

Yatsyshyn T. M. The development of scientific foundations of risk prevention of environmentally-hazardous processes of oil and gas extraction objects. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of doctor of technical sciences, specialty 21.06.01 “Ecological safety”. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2021. Specialized Academic Council D 20.052.05.

The thesis paper deals with the development of the prevention of environmentally-hazardous processes at different life stages of oil and gas wells by means of defining the list of influence factors, the choice of methods and ways of their control and control over the intensity of pollutants emission at regulated operation conditions and designing the tools of managerial decisions during states of emergency. The multifactor nature from environmental viewpoint is one of the primary ideas of the given thesis.

On the basis of conducted investigations new environmentally efficient technologies have been developed as well as forecasting system for safe management of nature conservation activities of oil and gas complex objects. New methodological approaches,

technical and technological solutions have been introduced that will enable to increase the level of environmental safety of oil and gas industry.

The new innovative concept of oil and gas enterprise has been developed. This concept includes prophylactic measures, monitoring and life cycle evaluation. The given potential risk factors at different stages of oil and gas life cycle made it possible to choose the criteria of environmental risks management system and preventing unwanted consequences at objects under study. The monitoring of the most widely spread oil and gas complex objects has been conducted. These were oil and gas wells at different stages of life cycle and collecting data for life cycle of oil and gas wells assessment. Thus, the drilling stage is accompanied by the highest capacity of incoming flows horizons. At the stages of site preparation, assembling and disassembling there is a high intensity of transportation and involvement of special vehicles. Operation phase is represented in average values of incoming and outgoing flows capacity but it lasts not more than 85% and more from total life cycle of oil and gas well. Drilling phase by its variety and outgoing flows capacity is the most significant, but its duration is no longer than 2%.

The mathematical model of dispersion of polluting additives into the atmosphere has been developed and the mathematical model of oil spills on the surface during oil-well blowing has been improved. These models compared to already existing ones take into account all basic factors that influence the given process. We developed software-modeling problem-solving complex to prevent emergency situations associated with environmental pollution at open oil and gas wells blowing.

We offered a strategy of environmental pollution reduction during life cycle of oil and gas wells that is based on principles of stable development, environmental efficiency and constant perfection.

We offered a model of equipment (parts) with factors that define their environmental efficiency. We developed the methodology of defining environmental sophistication of oil and gas equipment that makes it possible to choose among monotype items of oil and gas equipment one that is the most environmentally efficient. The basis of this methodology is the choice of criteria typical for the chosen equipment and comparing their values at different stages of life cycle of the example (manufacturing, exploitation, utilization),

We outlined the management model of environmental safety of oil and gas well consisting of the following blocks: informational, monitoring, forecasting, the choice of methods aimed at reducing the impact of affecting environment, the implementation of environmentally-efficient technical and technological decisions and principles “Lifelong learning”, assessment and control, optimizing that functions according to the principle of continual improvement spiral. We offered a set of technical solutions for equipment at different stages of life cycle of oil and gas wells that received patents in Ukraine and offered some recommendations aimed at prevention environmentally-hazardous effects.

The results obtained during the thesis make it possible to solve important scientifically-applied problem of prevention of environmentally-hazardous processes at oil and gas extraction objects.

Key words: oil and gas industry, oil and gas well, environmental safety, environmental management, life cycle assessment, environmental efficiency.