

ВИБІР КРИТЕРІЇВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНИМИ РИЗИКАМИ ПІД ЧАС СПОРУДЖЕННЯ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Т.М. Яцишин

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727165,
e-mail: yatsyshyn.t@gmail.com

Проведено дослідження умов виникнення екологічно небезпечних аварійних ситуацій у нафтогазовидобувній галузі. Одними з найбільш складних аварій є нафтогазоводопрояви та відкриті некеровані фонтани. Високий ступінь екологічного ризику, який присутній при виникненні таких аварійних ситуацій вимагає проведення заходів щодо запобігання їх появі.

Для вдосконалення системи управління екологічними ризиками в нафтогазовій галузі проведено різностороннє вивчення як внутрішньо технологічних процесів та стану обладнання, так і зовнішніх впливів. Здійснено аналіз причин виникнення аварійних нафтогазових фонтанів на різних етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин. Наведено фактори, що передували виникненню газонефтеводопроявів та відкритих фонтанів на понад 100 свердловинах в різних умовах їх експлуатації. Фактори згруповано в окремі напрямки та виділено найбільш впливові. Встановлено основні види небезпек для довкілля, які виникають при аварійних нафтогазових фонтанах. Проведено вибір критеріїв системи управління екологічними ризиками для запобігання виникненню небажаних наслідків на досліджуваних об'єктах. Наведено основні складові критеріїв та можливості визначення їх числових значень. Запропоновані критерії дають змогу адекватно оцінити реальну загрозу та розробити коректні дії для запобігання аварійних ситуацій.

Ключові слова: екологічні ризики, нафтогазові свердловини, екологічна безпека, відкриті фонтани, газонефтеводопрояви.

Проведены исследования условий возникновения экологически опасных аварийных ситуаций в нефтегазодобывающей отрасли. Одними из наиболее сложных аварий являются газонефтеводопроявления и открытые неуправляемые фонтаны. Высокая степень экологического риска, который присутствует при возникновении следующих аварийных ситуаций требует проведения мероприятий по предотвращению их появления.

Для совершенствования системы управления экологическими рисками в нефтегазовой отрасли проведено разностороннее изучение как внутренне технологических процессов и состояния оборудования, так и внешних воздействий. Осуществлен анализ причин возникновения аварийных нефтегазовых фонтанов на различных этапах жизненного цикла нефтегазовых скважин. Приведены факторы, предшествующие возникновению газонефтеводопроявлений и открытых фонтанов на более 100 скважинах в различных условиях их эксплуатации. Факторы сгруппированы в отдельные направления и выделены наиболее влиятельные. Установлены основные виды опасностей для окружающей среды, возникающие при аварийных нефтегазовых фонтанах. Проведен выбор критериев системы управления экологическими рисками для предотвращения возникновения нежелательных последствий на исследуемых объектах. Приведены основные составляющие критериев и возможности определения их числовых значений. Предложенные критерии дают возможность адекватно оценить реальную угрозу и разработать корректные действия по предотвращению возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: экологические риски, нефтегазовые скважины, экологическая безопасность, открытые фонтаны, газонефтеводопроявления.

The article studies the conditions that may cause environmentally hazardous emergency situations in oil and gas extraction industry. One of the most complicated emergencies is oil and gas leaks and open uncontrolled gushes. High degree of environmental risk typical of emergency situations like this needs measures to be taken in order to prevent them.

In order to improve environmental risks management in oil industry, the manifold study of inner technological processes and the condition of equipment as well as outer manifestations has been conducted. The causes of oil and gas gushes at different stages of oil and gas well lifecycle phases have been analyzed. The factors that preceded oil and gas leaks and open gushes at 100 wells in different operating conditions have been given. The factors have been grouped in separate directions and the most powerful have been separated. The main types of environmental hazard that accompany emergency oil and gas gushes have been defined. The criteria for controlling the environmental risks in order to prevent undesired consequences have been selected. The main constituents of those criteria are discussed and the possibilities of defining their numerical values. The proposed criteria make it possible to evaluate the threat adequately and to take certain proper measures in order to prevent emergency situations.

Key words: environmental risks, oil and gas wells, environmental safety, open gushes, oil and gas leaks.

Вступ

Спорудження та експлуатація нафтогазових свердловин супроводжується впливом на всі елементи природного середовища: атмосферне повітря, ґрунтовий і рослинний покрив, по-

верхнєві водні об'єкти, геологічне середовище (ґрунтові води, гірські породи, ґрунти тощо), біоту. Комплексний техногенний вплив на всі компоненти навколишнього середовища часто може мати незворотні негативні наслідки. На

більшості етапів «життєвого циклу» нафтогазовидобувних об'єктів присутні високотоксичні небезпечні для довкілля речовини.

Незважаючи на постійне вдосконалення обладнання, засобів і систем аварійної діагностики і захисту в процесі життєвого циклу нафтогазових свердловин, існує можливість виникнення некерованих або погано керованих явищ і процесів, що класифікуються як аварія і становлять особливу небезпеку для біосфери і, перш за все, для населення [1].

В умовах сучасного розвитку виробництва виникає необхідність подолання або, хоча б часткової, мінімізації виявлених суперечностей між рівнем технологічного процесу та засобами, які підтримують екологічну безпеку життєдіяльності людини та захищають її здоров'я від негативних наслідків функціонування промисловості [2]. Тому є потреба вдосконалити систему управління екологічними ризиками в нафтогазовидобувній галузі, надаючи перевагу превентивним заходам.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Сучасні технології експлуатації технічних систем в своїй основі містять досить прості принципи, що базуються на забезпеченні передбачуваної керованої надійності та прозорості всього виробничого комплексу за допомогою ідентифікації можливих ризиків [3]. Вивченню питання управління екологічними ризиками присвячено праці зарубіжних авторів Pittinge С.А., Bachman R., Rutgers M., Faber J.H. [4, 5], де наведено базові підходи до визначення ризиків для окремих випадків. Відомими компонентами системи управління ризиками є [6]:

принципи управління ризиками: командність, інформативність, прогнозованість, інтеграція, документування;

функції управління ризиками: планування, ідентифікація, контроль, оцінка, документування, обробка;

методи управління ризиками: прогнозування, отримання інформації, творчі методи, оцінки, аналіз.

Впровадження системи управління ризиками в нафтогазовій промисловості (як і у інших видах промисловості) в Україні, враховуючи загальний стан можна вважати, що є на початкових стадіях. На даний час більшість підприємств або практично не застосовують ризик-менеджменту або застосовується лише по відношенню до фінансового та виробничого ризиків [6]. Так, при розслідуванні аварійних ситуацій на об'єктах нафтогазового комплексу, основними причинами їх виникнення найчастіше визначають людський фактор, що супроводжується порушенням норм і правил експлуатації обладнання, при цьому не достатня увага надається ступеню зносу обладнання. Такі дані свідчать про відсутність компетентності в питаннях встановлення причин аварійності, а тим більше в питаннях екологічної та соціальної безпеки. [3].

В праці [7] серед причин аварій з відкритими нафтовими і газовими фонтанами близько 53% аварій на свердловинах відбувається через відсутність і невідповідності до роботи превенторного противикидного обладнання на гирлі, 15% пов'язано з відсутністю і непрацездатністю зворотних клапанів для обсадних колон, більше 8% - зі зносом або недостатньою міцністю обсадних колон.

Окремі родовища можуть містити агресивні компоненти (сірководень, вуглекислий газ), суміш яких є небезпечною по відношенню до населення та навколишнього природного середовища. При наявності таких компонентів необхідність обчислення ризиків присутня на всіх етапах життєвого циклу свердловин, оскільки в такому середовищі пришвидшуються процеси корозії. Також для всіх свердловин є характерним їх старіння, порушення суцільності цементного каменю за колонами [7].

Найчастіше на підприємствах працює схема: аварійна ситуація → облік економічних збитків → визначення соціального збитку (якщо пред'явлено позов) → визначення екологічного збитку (якщо пред'явлено позов). Необґрунтовані дані щодо ймовірностей аварійних ситуацій та наслідків (економічних, соціальних та екологічних) або одностороння оцінка виникнення небажаної події без системного встановлення всіх можливих наслідків є основною проблемою при визначенні ризиків.

Досвід останніх 10 років свідчить, що економічні, екологічні та соціальні проблеми не можна вирішувати ізольовано одну від одної. Передбачення та попередження проблем шляхом планування та прогнозування є більш економічно вигідним, порівняно з витратами на ліквідацію їх наслідків. [2]. В праці [8] спостерігається, що екологічний менеджмент набуває превентивного характеру, тобто орієнтації на запобігання появи небезпечних для довкілля субстанцій виробничих процесів, а не ліквідацію вже вироблених забруднень шляхом використання високовартісних очисних систем. Такі трансформації управління екологічною безпекою відображаються в екологічній модернізації сучасного виробництва, а також удосконаленні взаємозв'язків інституціональної системи суспільства з навколишнім природним середовищем.

Висвітлення невіршених раніше частин загальної проблеми

Проведений аналіз інформації свідчить про неузгодженість системи управління ризиками, зокрема екологічними в різних сферах промисловості. Високий ступінь ризику виникнення аварійних ситуацій, який присутній в нафтогазовій галузі вимагає проведення заходів щодо запобігання небезпечних наслідків. Тому є необхідність визначення можливих ризиків та вдосконалення системи управління ризиками на об'єктах нафтогазової галузі, що дасть змогу адекватно оцінити реальну загрозу та визначити правильні дії щодо запобігання виникнення аварійних ситуацій.

Постановка завдання

Вдосконалення системи управління екологічними ризиками в нафтогазовій галузі вимагає різностороннього дослідження як внутрішньотехнологічних процесів та стану обладнання, так і зовнішніх впливів. Для дослідження обрано найбільш небезпечні аварійні ситуації – газонафтоводопрояви (ГНВП) та нафтогазові некеровані відкриті фонтани (ВФ), які можуть мати місце в життєвому циклі нафтогазовидобувних свердловин. Тому основним завданням роботи є:

- визначення причин виникнення ГНВП та аварійних нафтогазових фонтанів на різних етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин;

- встановлення основних видів небезпеки для довкілля при виникненні ГНВП та аварійних нафтогазових фонтанів;

- вибір критеріїв системи управління екологічними ризиками для запобігання виникнення небажаних наслідків на досліджуваних об'єктах.

Вирішення завдання

Система управління екологічними ризиками складається з об'єкта та суб'єкта управління. Об'єктом управління екологічними ризиками є екологічний ризик, спричинений діяльністю нафтогазової промисловості, і зокрема ризик виникнення несприятливих для довкілля ситуацій при спорудженні свердловини, для прикладу ГНВП та ВФ. Суб'єкт управління – це відповідальна в обраній галузі організація (група людей). Аналіз екологічних ризиків нафтогазовидобувної галузі повинен бути безперервним процесом для забезпечення результативного прийняття управлінських рішень. Аналізування полягає в зібранні, узагальненні, прогнозуванні, виявленні, припиненні та запобіганні негативних ефектів у навколишньому середовищі.

Визначення причин виникнення аварій.

На різних етапах життєвого циклу свердловин присутні високі рівні екологічного ризику, що зумовлено як технологічними процесами так і агресивністю наявних речовин. Екологічний ризик, згідно [9] – це ймовірність несприятливих для навколишнього середовища наслідків будь-яких змін природних об'єктів і факторів, виникнення надзвичайних подій у певний проміжок часу, виражена кількісними параметрами. Техногенна складова екологічного ризику є найбільш поширеною і розуміється як ймовірність виникнення техногенних аварій, що здатні завдати істотної шкоди навколишньому середовищу або здоров'ю людей. Основні фактори екологічних ризиків для нафтогазовидобувної галузі можна згрупувати за рівнем організації виробництва, особливостями технологічних процесів та територіальним розміщенням.

Процес спорудження свердловин, зокрема розвідувальне буріння та розкриття продуктивних пластів несе підвищену екологічну небезпеку, тому що може супроводжуватися виник-

ненням ГНВП та ВФ [10]. В дослідженнях [1] зазначено, що ймовірність виникнення аварії з викидом пластового флюїду при бурінні експлуатаційної свердловини оцінюється величиною $9 \cdot 10^{-4}$ св./рік. Прогнозування ситуацій розвитку аварій та їх попередження неможливо без оцінки чинників виникнення аварій. Тому проведено аналіз причин виникнення ГНВП та ВФ на свердловинах, які перебували в різних умовах та на різних етапах життєвого циклу за матеріалами Кузьменко В. А. [11]. Для дослідження обрано 100 свердловин. Згруповано основні фактори (табл. 1), що передували виникненню аварій та згідно різних джерел могли стати причинами виникнення ГНВП та ВФ. Часто спостерігалася сукупність кількох факторів на одній свердловині, серед яких ключовим, в більшості випадків, виявлявся організаційний (людський) фактор. Тому наведені відсоткові значення відображають цю картину: сума часток факторів від загальної кількості перевищує 100%.

Основне число відкритих фонтанів спостерігається на газових родовищах. Це пояснюється особливостями спорудження газових свердловин та імовірною недооцінкою небезпек, що можуть супроводжувати цей процес. Присутня, також, і адаптація технології і техніки розбурювання нафтових родовищ на газові. Фонтани можуть бути викликані розкриттям нижчих продуктивних горизонтів без перекриття верхніх, особливо з аномально високим пластовим тиском. Також найвища частота виникнення аварійного фонтанування відбувається при розвідувальному бурінні.

В таблиці можна зауважити відсутність таких факторів, як: застаріле обладнання; несвоєчасна заміна обладнання, що відпрацювало свої терміни; не проведення профілактичних ремонтних робіт. При обстеженні місць аварій в джерелах інформації не було вказано цих факторів, однак для специфіки нафтогазовидобувної галузі України спрацювання обладнання є надзвичайно гострою проблемою. Важливо зазначити той факт, що обладнання, яке використало свій робочий ресурс присутнє не тільки на етапах спорудження свердловин, а й на свердловинах, що виведені з експлуатації (закинутих свердловинах), які часто залишаються без контролю відповідальних організацій. Такий стан справ формує високий ризик виникнення аварійних ситуацій, в тому числі ГНВП та ВФ. В дослідженнях [12] наведено результати аналізу математичних залежностей, де визначено основні чинники, що сприяють інтенсивному спрацюванню обладнання: температура, тиск, матеріальне виконання обладнання, агрегатний стан середовища.

На основі аналізу факторів, що сприяють виникненню аварійних ГНВП та ВФ можна простежити недбалість і некомпетентність персоналу, що починається ще на етапах проектування та виготовлення обладнання для буріння, тобто ще до початку робіт на буровій площадці, не говорячи вже про сам процес спорудження свердловини.

Таблиця 1 – Фактори виникнення газонафтоводопроявів та аварійних нафтогазових фонтанів

№	Фактори	Характеристика фактору	Частка від загальної кількості, %	Примітка
1	Організаційні (людські) / Суб'єктивні	Помилки в розрахунках параметрів обладнання	5	Кваліфікація, дисципліна та відповідальність
		Невчасні рішення та дії відповідального персоналу	20	Кваліфікація, дисципліна та відповідальність
		Безвідповідальність, відсутність контролю	40	Кваліфікація, дисципліна та відповідальність
2	Технічні / Суб'єктивні	Відсутність необхідного обладнання на свердловині	25	Відповідальність нафтогазовидобувної компанії
		Неякісне або не готове до використання обладнання	15	Кваліфікація, практичний досвід, відповідальність
3	Технологічні / Суб'єктивні	Невідповідні характеристики бурового розчину	10	Відповідальність нафтогазовидобувної компанії
		Спуско-підймальні операції	20	Кваліфікація, практичний досвід, відповідальність
		Недостатнє промивання або відсутність промивання	8	Кваліфікація, практичний досвід, відповідальність
		Простій	18	Відповідальність нафтогазовидобувної компанії
5	Техногенні / Суб'єктивні / Об'єктивні	Техногенні залежі, міжпластові перетоки, розрив пласта	14	Відповідальність нафтогазовидобувної компанії
6	Геологічні / Об'єктивні	Підвищені пластові тиски, поглинання	23	Складно прогнозовано
7	Аварійні / Суб'єктивні	Аварії, що призвели до виникнення ГНВП або ВФ	13	Кваліфікація, практичний досвід, відповідальність

Таблиця 2 – Впливи ГНВП та ВФ для навколишнього природного середовища

№ з/п	Середовище впливу	Фактори впливу	Наслідки впливу
1	Атмосфера	Забруднення атмосфери CO ₂ , CO, сажа, NO _x , C _n H _m , H ₂ S, SO ₂ , бенз(а)пирена тощо	Підвищена захворюваність органів дихання, присутні випадки гибелі населення прилеглих територій, утворення кислотних дощів, поширення на значні території токсичних сполук з подальшим їх осіданням
2	Гідросфера	Потрапляння у водойми та водоносні горизонти нафти та високомінералізованих пластових вод	Непридатність води для господарського та побутового використання, гибель річкових тварин, риби та рослинності
3	Педосфера	Потрапляння на ґрунтовий покрив нафти та високомінералізованих пластових вод	Непридатність територій для сільськогосподарського використання, опустелювання значних площ
4	Біота	Надходження високотоксичних сполук в середовище існування рослин і тварин	Токсичні ефекти на різних трофічних рівнях.
5	Геологічне	Виникнення карстових та гідродинамічних процесів, що супроводжуються зменшення тиску на пласт, утворенням пустот, воронок просідання, які активізують виникнення землетрусів різної інтенсивності та осіданням земної поверхні	Втрата герметичності експлуатаційної колони, руйнування свердловинного обладнання, будівель та техногенно-небезпечних споруд (наприклад АЕС)

Основні види небезпеки. Згідно [13] аварія - це небезпечна техногенна подія, що створює на об'єкті, визначеній території або акваторії загрозу життю і здоров'ю людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання та транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу, а також до нанесення шкоди навколишньому природному середовищу. Будь-яка аварія на нафтогазовидобувних об'єктах супроводжується руйнуванням технологічного нафтогазовидобувного та бурового обладнання, самої бурової вежі та прилеглих будівель.

Виникнення ГНВП та ВФ відбувається з неконтрольованим викидом великих мас флюїду в довкілля і виникає забруднення ґрунтів, підземних і поверхневих водойм, атмосфери, знищення рослинності (табл. 2). У період будівництва газових і газоконденсатних свердловин небезпека виділення сірководню в повітря робочої зони і навколишнє середовище істотно зростає при розкритті продуктивних пластів і подальших операціях на гирлі свердловини [1]. Відкритий фонтан на газовій свердловині може бути палаючий і не палаючий. Присутні дані, які відзначають тривалість осадження хімічних сполук, що утворюються при відкритому горінні газів: NO₂, SO₂ – відповідно 6-7 днів; CO₂ та CO – більше року. При спалюванні газу з вмістом сірководню в атмосфері утворюються аерозолі сірчаної кислоти і сірчанокислого амонію, які знаходяться в ній кілька разів довше, ніж газу і є причиною виникнення кислотних дощів. Для прикладу масштабності катастрофічного екологічного впливу варто навести цитати з матеріалів досліджень [11]: «Висота фонтана

над свердловиною досягала 180м. В процесі згорання нафти і газу утворились і розсіювалися в навколишнє середовище до 3000 тон сірчаних сполук в добу...».

Сам процес ліквідації ВФ несе в собі небезпеку для прилеглих населених пунктів, а зокрема для працюючих ліквідаторів фонтану: теплове випромінювання, звуковий тиск, можливі високі концентрації вибухонебезпечних та токсичних газів, нервово-психічне перенапруження тощо.

Можна дослідити всесторонній негативний екологічний вплив при виникненні ГНВП та ВФ, що супроводжується значними збитками та далеко не завжди є можливість реально оцінити наслідки таких аварійних ситуацій.

Вибір критеріїв. На основі проведеного аналізу причин та наслідків під час діяльності нафтогазовидобувної галузі, а, зокрема, під час спорудження нафтогазових свердловин, та на базі існуючих національних стандартів [14] пропонується ряд критеріїв (табл. 3) для ефективного керування екологічними ризиками і запобіганню виникнення нафтогазових відкритих фонтанів. Критерій – це ознака, на підставі якого формується оцінка якості об'єкта, процесу, мірило такої оцінки [15].

Критерій А1. Для визначення екологічної стабільності території використовують шкалу градації величини коефіцієнту екологічної стабільності земельної території (табл. 4)

Загальний коефіцієнт екологічної стабільності території $K_{E.C}$ розраховується за формулою:

$$K_{E.C.} = (\sum K_{li} \cdot F_i / \sum F_i) \cdot K_P, \quad (1)$$

Таблиця 3 – Критерії системи управління екологічними ризиками в нафтогазовидобувній галузі

№ з/п	Критерії	Складові критерію	Примітка
1	Критерій А Територіальний	А1 Рівень екологічної стабільності території	$K_{E.C}$ - коефіцієнт екологічної стабільності території
		А2 Індивідуальні особливості території впливу спорудження свердловини	Коефіцієнт, що враховує особливості рельєфу, кліматичні характеристики, сезон робіт (потребує доопрацювання)
2	Критерій В Технічний	В1 Наявність та справність необхідного обладнання	Перевірка відповідності, комплектності та справності обладнання
		В2 Ступінь надійності обладнання	$P(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи впродовж заданого часу; $\lambda(t)$ - інтенсивність відмов; T_{cp} - середній час безвідмовної роботи; δ - ступінь зносу; $\lambda_{\delta}(\tau)$ - інтенсивність зносових відмов
		В3 Екологічна досконалість обладнання	Рівень використання сучасних технологій запобігання негативним екологічним наслідкам під час аварійних ситуацій
3	Критерій С Технологічний	С1 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 екстремальній обстановці складні завдання
5	Критерій E Економічний	E1 Інвестиції в екологізацію обладнання та технологічні процеси	Кількість виділених коштів на модернізацію обладнання та екологізацію технологічних процесів

де K_{Ii} - коефіцієнт екологічної стабільності угідь і-го виду;

F_i - площа угідь і-го виду;

K_p - коефіцієнт морфологічної стабільності рельєфу ($K_p=1$ для стабільних і $K_p=0,7$ для нестабільних територій).

Таблиця 4 – Шкала градації величини коефіцієнта екологічної стабільності земельної території [16]

№ з/п	Екологічна стабільність території	Величина коефіцієнта екологічної стабільності земельної території
1	Нестабільна	< 0,3
2	Нестійко стабільна	0,34-0,50
3	Середньо стабільна	0,51-0,66
4	Стабільна	> 0,67

В табл. 5 наведено нормативні величини коефіцієнтів екологічної стабільності для різних видів земельних угідь [16].

Таблиця 5 – Нормативна величина коефіцієнтів екологічної стабільності для різних видів земельних угідь

№ з/п	Види земельних угідь	Коефіцієнт екологічної стабільності території (K_1)
1	Забудована територія і дороги	0,00
2	Рілля	0,14
3	Виноградники	0,29
4	Лісосмуги	0,38
5	Фруктові сади, чагарники	0,43
6	Городи	0,50
7	Сіножаті	0,62
8	Пасовища	0,68
9	Ставки і болота природного походження	0,79
10	Ліси природного походження	1,00

Критерій А2. До індивідуальних особливостей території впливу спорудження свердловин належить: рельєф, гідрологічна мережа, густина населення, кліматичні характеристики тощо. Для даного критерію необхідно визначити шкалу градацій величин коефіцієнта, яка дасть можливість встановити рівень екологічної небезпеки при аварійних ситуаціях на різних етапах життєвого циклу свердловин.

Критерій В1. Параметр «Наявності та справності необхідного обладнання» повинен реалізовуватись методом перевірки і контролю наявного та необхідного обладнання його справності і комплектності.

Критерій В2. Ступінь надійності обладнання описує теорія надійності. Надійність – це властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [17]. Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначення об'єкта і умов його застосування, може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність чи певні поєднання цих властивостей [18].

В теорії надійності є ряд критеріїв надійності системи:

- ймовірність безвідмовної роботи впродовж заданого часу $P(t)$
- інтенсивність відмов $\lambda(t)$
- середній час безвідмовної роботи T_{cp}

Ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу визначається:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (2)$$

Інтенсивність відмов – це відношення середньої кількості елементів системи, які відмовили $n_{\sigma}(t)$ до середньої кількості безвідмовно працюючих елементів системи за час $n_{\sigma\sigma}(t)$ в межах кількості елементів, які досліджуються.

$$\lambda(t) = \frac{n_{\sigma}(t)}{n_{\sigma\sigma}(t)} \quad (3)$$

Середній час безвідмовної роботи:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt \quad (4)$$

Ступінь зносу може бути визначена як відношення фактичного стоншення стінки об'єкта Δt_{ϕ} до максимально можливого Δt_{\max} при досягненні стінкою розрахункової товщини [12]:

$$\delta = \frac{\Delta t_{\phi}}{\Delta t_{\max}} \quad (5)$$

В процесі експлуатації об'єкта параметр δ під дією випадкових і детермінованих чинників змінюється і досягає згодом граничного значення $[\delta] = 1$ при $\Delta t_{\phi} = \Delta t_{\max}$ після чого стан об'єкта вважається неприцездатним і кваліфікується як відмова.

Інтенсивність зносних відмов $\lambda_{\delta}(\tau)$ у відповідності з положеннями теорії надійності може бути представлена таким чином:

$$\lambda_{\delta}(\tau) = \frac{f(\tau)}{P(\tau)} = \frac{f(\tau)}{1-Q(\tau)}; \quad (6)$$

де $f(\tau)$ - густина розподілу ймовірності відмови;

$P(\tau)$ - ймовірність безвідмовної роботи;

$Q(\tau)$ - ймовірність відмови.

Точкова оцінка інтенсивності відмов виражається:

$$\lambda_{\delta}(\tau) = \frac{\exp\left(-\frac{u^2}{2}\right)}{0.5 \cdot \sqrt{2\pi} + \int_0^u \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du}; \quad (7)$$

де u - квантиль нормального розподілу.

Критерій В3. Виконання критерію досконалості обладнання полягає в оцінці наявності та використання сучасного досконалого обладнання, яке забезпечує екологічну та промислову безпеку і запобігає виникненню значних збитків, як екологічного, так і соціального характеру. На даний час існують розробки систем автоблокування та автоматичного управління і регулювання промисловою та екологічною безпекою, яка дозволяє уникнути в аварійних ситуаціях розриву апарату [19].

Критерій С1. Якість виконання технологічних процесів залежить від якості обладнання, якості необхідних реагентів, а також компетентності відповідальної особи під час прийняття рішень. Ефективність реалізації різних варіантів технологічного процесу може бути кількісно визначена, тобто виражена за допомогою певної величини: критерію ефективності.

Критерій Д1. Практичний досвід працівників оцінюється стажем роботи.

Критерій Д2. На підприємствах нафтогазової галузі необхідні підвищені вимоги до екологічної компетентності фахівців та керівництва галузі. Одним із способів формування екологічної компетентності у фахівців є додаткова професійна підготовка, що забезпечує безперервність освіти і формування додаткових компетенцій у досвідчених фахівців.

В роботі [20] представлено технологію формування екологічної компетентності у фахівців нафтогазової галузі в системі додаткової професійної підготовки. Визначено показники сформованості екологічної компетентності за рівнями (табл. 6).

Критерій Д3. Морально психологічна готовність працівника діяти в екстремальних ситуаціях повинна відпрацьовуватись під час додаткової професійної підготовки. Часто виникають проблеми при застосуванні теоретичних знань у конкретній практичній справі, вирішенні нетипових питань. Психологічна готовність до дій в аварійних ситуаціях – найважливіша складова всебічної професійної підготовленості, суттєва передумова попередження

Таблиця 6 – Показники та рівні сформованості екологічної компетентності у фахівців нафтогазової галузі

№ з/п	Рівні сформованості екологічної компетентності	Показники сформованості екологічної компетентності у фахівця нафтогазової галузі
1	Високий	Прогнозування екологічної ситуації на стадії проектно-пошукових робіт, і при проектуванні та розміщенні об'єктів нафтогазового комплексу.
		Використання інноваційних методів, спрямованих на збереження і поліпшення природного середовища.
		Попередження і своєчасне рішення екологічних проблем.
		Попередження і сучасні методи ліквідації надзвичайних ситуацій на підприємствах нафтогазової галузі.
2	Середній	Організація роботи з проведення екологічної експертизи та екологічного моніторингу.
		Розробка плану заходів щодо зменшення впливу на навколишнє середовище.
		Готовність до надзвичайних ситуацій на підприємстві.
		Визначення шкоди навколишньому середовищу від забруднень.
		Визначення ступеня зносу нафтопромислового обладнання, магістральних трубопроводів.
3	Низький	Застосування отриманих знань і накопиченого досвіду в професійній діяльності.
		Мінімальний вплив на навколишнє природне середовище в процесі здійснення професійної діяльності.
		Готовність до виникаючих змін на виробництві.

Таблиця 7 – Рівні основних показників психологічної готовності

№ з/п	Рівень психологічної готовності до дій в екстремальних ситуаціях	Показник сформованості психологічної готовності працівника до дій в екстремальних ситуаціях
1	Високий	Стабільна активність до набуття знань, навиків і умінь зі своєї спеціальності; бажання удосконалювати важливі психолого-професійні якості; відповідальне ставлення до психологічного загартування; свідомо орієнтація щодо виконання обов'язків; впевненість у досягненні професійної майстерності; прийняття і виконання настанов на активні цілеспрямовані дії.
2	Середній	Неповна стабільність наполегливості у набутті необхідних знань, якостей; непостійна активність на підготовчих заняттях; нестійке прагнення у досягненні майстерності; недостатня впевненість у самостійних діях у кризових ситуаціях; нечітка настанова на переборення труднощів; недостатнє прагнення до результату дій.
3	Недостатній	Епізодичні прояви самостійності в навчанні та практичній роботі; відсутність бажання удосконалювати психолого-спеціальні якості, уміння і навики; невміння долати труднощі в надзвичайних ситуаціях.

масштабних екологічних збитків. Психологічна готовність будь-якого робітника бурової адекватно діяти при виникненні факторів, що можуть передувати ГНВП та ВФ – це важливий професійний стан його особистості, що характеризує його можливість і здатність вирішувати в екстремальній обстановці складні завдання.

Існують дослідження психологів [21], де встановлено рівні основних показників психологічної готовності (табл. 7): високий, середній, недостатній. Показниками психологічної готовності є: прагнення до активних, практичних

дій в надзвичайній ситуації; почуття відповідальності за свою всебічну підготовленість; поінформованість про особливості діяльності в екстремальних умовах; настрої на подолання труднощів в умовах безпеки.

Критерій Е1. Даний критерій оцінюється рівнем інвестицій в модернізацію наявного бурового обладнання, впровадження нових екологічно безпечних технологій та обладнання. Так, наприклад, пропонуються розробки нової насосно-циркуляційної системи та її окремих блоків, яка мінімізує надходження в довкілля

агресивних забруднюючих речовин, що присутні при спорудженні нафтогазових свердловин [22]. Необхідно реалізувати на виробництві сучасні технології, що дадуть можливість запобігти значним екологічно небезпечним аварійним ситуаціям.

Запропоновані критерії дозволяють керувати екологічними ризиками в напрямку їх мінімізації та запобігати широкомасштабним аварійним ситуаціям на різних етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин. Подальша робота повинна спрямовуватися на вдосконалення форми оцінки даних критеріїв.

Висновки та рекомендації

Враховуючи положення стандартів серії ISO 14000, де зазначено необхідність постійного покращення всіх етапів життєвого циклу в системі екологічного управління, нафтогазовидобувна галузь потребує значної модернізації в напрямку екологізації як свідомості персоналу, так всіх процесів та обладнання. Тому робота направлена на підвищення ефективності системи управління екологічними ризиками при спорудженні та експлуатації нафтогазових свердловин.

Проведено аналіз причин виникнення аварійних нафтогазових фонтанів на різних етапах життєвого циклу нафтогазових свердловин. Наведено фактори, що передували виникненню газонафтоводопроявів та відкритих фонтанів на понад 100 свердловинах із доступних джерел інформації в різних умовах їх експлуатації. Фактори згруповано в окремі напрямки та виділено найбільш впливові. Підтверджено важливість організаційного (людського фактору) у формуванні передумов виникнення аварійних нафтогазових фонтанів.

Встановлено основні види небезпек для довкілля, які виникають при аварійних нафтогазових фонтанах, що дозволяє оцінювати та аналізувати наслідки при виникненні ГНВП та ВФ.

Проведено вибір критеріїв системи управління екологічними ризиками для запобігання виникнення небажаних наслідків на досліджуваних об'єктах. Наведено основні складові критеріїв та можливості визначення їх числових значень. Запропоновані критерії дають змогу адекватно оцінити реальну загрозу та розробити конкретні дії для запобігання виникнення аварійних ситуацій.

Література

1 Чувилов В.Н. Прогнозирование загрязнения атмосферы возможными аварийными выбросами сероводородосодержащего газа при строительстве скважин на Астраханском ГКМ: дис. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук: спец. 25.00.23 «Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов» / В.Н. Чувилов – А., 2002. – 152 с.

2 Берзіна С.В. Системи екологічного управління. Довідниковий посібник з впрова-

дження міжнародних стандартів серії ISO 14000 / С.В. Берзіна. – К.: Aiva Plus Ltd, 2009. – 62 с.

3 Хаустов А.П. Чрезвычайные ситуации и экологическая безопасность в нефтегазовом комплексе / А.П. Хаустов, М.М. Редина // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499075302>

4 Pittinger C.A. A Multi-Stakeholder Framework for Ecological Risk Management: Summary of a SETAC Technical Workshop / C.A. Pittinger, R. Bachman, A.L. Barton et al., Retrieved from: https://c.ymcdn.com/sites/www.setac.org/resource/resmgr/publications_and_resources/ermsummbklet.pdf

5 Rutgers M. Site-specific ecological risks: A basic approach to the function-specific assessment of soil pollution / M. Rutgers, J.H. Faber, J.F. Postma and H. Eijsackers – Wageningen: The Netherlands Integrated Soil Research Programme (Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, volume 28) – 18 p., 1 app.

6 Семенова К.Д. Організація системи управління ризиками на підприємстві / К. Д. Семенова, К. І. Тарасова // Вісник соціально-економічних досліджень: зб. наук. праць. – Одеса: Одеський національний економічний університет, 2015. – Вип. 3. – № 58. – С. 221–227.

7 Хаустов А.П. Экологическое проектирование и риск анализ / А.П. Хаустов, М.М. Редина, П.Ю. Силаева. – М.: РУДН, 2008. – 320 с.

8 Хвесик М.А. Екологічна модернізація в системі природно-техногенної та екологічної безпеки / [М.А. Хвесик, А.В. Степаненко, Г.О. Обиход та ін.]; за наук. ред. д.е.н., проф., акад. НААН України М.А. Хвесика. – К.: Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», 2016. – 455 с.

9 Добровольський В.В. Екологічні знання. / В.В. Добровольський. – Київ: Професіонал, 2014. – 299 с.

10 Яцишин Т.М. Аналіз впливу аварійних ситуацій на навколишнє середовище при бурінні нафтогазових свердловин / Т.М. Яцишин // Моделювання та інформаційні технології. – 2017. – Ви. 78. – С. 81-87.

11 Кузьменко В. А. Газонефтеводопроявления и открытые фонтаны в период с 1944 по 2000 годы. Обстоятельства и причины их возникновения / В. А. Кузьменко. – Киев, 2006. – 521 с.

12 Хлуденёв С.А. Оценка воздействия нефтехимических производств на объекты окружающей среды при различных условиях функционирования: дис. на соиск. уч. степени канд. тех. наук: спец. 03.00.16 «Экология» / С.А. Хлуденёв. – П., 2007. – 165 с.

13 ГОСТ 22.0.05-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. <http://docs.cntd.ru/document/gost-22-0-05-97>.

14 ДСТУ ISO 14031:2004 Екологічне керування. Настанови щодо оцінювання екологічної характеристики.

15 Экономика и право: словарь-справочник / Л. П. Кураков, В. Л. Кураков, А. Л. Кураков. – М.: Вуз и школа. 2004. Режим доступу: https://dic.academic.ru/dic.nsf/dic_economic_law/7103/%D0%9A%D0%A0%D0%98%D0%A2%D0%95%D0%A0%D0%98%D0%98

16 Коренюк П.І. Методологічні засади визначення інтегрального показника екологічного стану земельної території / П.І. Коренюк // Екологія і природокористування. – 2003. – Вип. 6. – С. 85-91

17 ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення

18 Васілевський О.М. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 160 с.

19 Патент России на изобретение № 2345397 2009. Система автоматического управления и регулирования промышленной и экологической безопасностью оборудования с пожаровзрывоопасным продуктом для процесса с высокой энергией / Зиновьев А.П., Рыжов Г.И., Зиновьев С. А., Рыжов И. Г. – Дата рег.: 20.03.2007. Номер заявки: 2007110303/09

20 Насрутдинова Л.С. Технология формирования экологической компетентности у специалистов нефтегазовой отрасли в системе дополнительной профессиональной подготовки / Л.С. Насрутдинова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 105.

21 Психологічна готовність до дій у надзвичайних ситуаціях / Б. І. Фурманець // Проблеми екстремальної та кризової психології / Нац. ун-т цивільного захисту України. – Харків, 2007. – Вип. 1. – С. 289–303. Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfExtremeAndCrisisPsychology/vol1/31.pdf>

22 Патент України на корисну модель №123713 Насосно-циркуляційна система бурової установки / Лях М.М., Шкіца Л.Є., Яцишин Т.М., Сидоренко О.І. Заявка № u 2017 07840; від 12.03.2018. Опубл. 12.03.2018, Бюл. №5.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
31.05.18*

*Рекомендована до друку
професором Федоришиним Д.Д.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-ром техн. наук Винничуком С.Д.
(Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ)*