

## ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ УТИЛІЗАЦІЇ НЕДІЮЧИХ ТРУБОПРОВІДІВ З УРАХУВАННЯМ АСПЕКТІВ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ЕНЕРГОНОСІЇВ

О. М. Бортняк, М. П. Школьний, Р. С. Варик

ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,  
E-mail: [public@nung.edu.ua](mailto:public@nung.edu.ua)

*Розглянуто проблемні аспекти недіючих трубопроводів в системі транспортування вуглеводневих енергоносіїв. Проведено аналіз можливих способів використання трубопровідних систем після виведення їх з експлуатації. Обґрунтовано необхідність розроблення вибухопожежобезпечної технології демонтажу недіючих систем трубопровідного транспорту вуглеводневої сировини та удосконалення нормативно-правової бази, що регламентує проведення аварійних та газонебезпечних робіт.*

Ключові слова: недіючі трубопроводи, газонебезпечні роботи, вибух, газоповітряна суміш

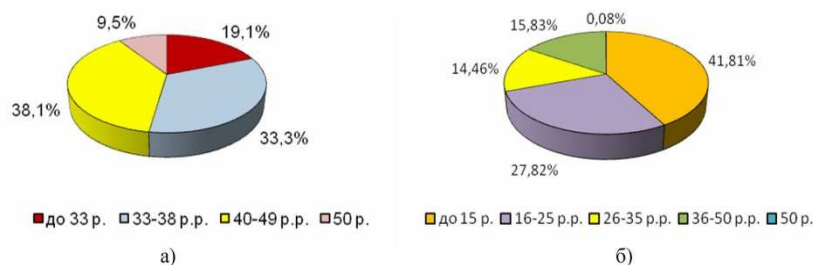
*Рассмотрены проблемные аспекты недействующих трубопроводов в системе транспорта углеводородных энергоносителей. Проведен анализ возможных способов использования трубопроводных систем после вывода из эксплуатации. Обоснована необходимость разработки взрывопожаробезопасной технологии демонтажа недействующих систем трубопроводного транспорта углеводородного сырья и усовершенствования нормативно-правовой базы, регламентирующей проведение аварийных и газоопасных работ.*

Ключевые слова: недействующие трубопроводы, газоопасные работы, взрыв, газоздушная смесь

*The problematic aspects inactive pipelines in the transportation of hydrocarbon fuels are considered. The analysis of the possible uses of piping systems after removing them from exploitation is conducted. The need developing of explosive-fire safety technology by dismantling of inactive pipeline systems hydrocarbons and improvement of the legal framework governing of emergency and gas dangerous works is conducted.*

Key words: inactive pipelines, gas dangerous operations, explosive, gas and air mixture

На сьогоднішній день паливно-енергетичний комплекс України є основою ефективного розвитку і функціонування усіх галузей економіки країни, важливою ланкою, у конструкції якого, є система магістральних трубопроводів для транспортування нафти і газу. Географічне розташування країни створило передумови для забезпечення Україні статусу потужного і вагомого транзитера вуглеводневої сировини до країни Західної, Східної та Центральної Європи. Транспортна система України складається з густої мережі комунікацій, якими нафта та газ постачаються як внутрішнім споживачам, так і за межі країни. Загальна протяжність нафтогазопроводів становить близько 42,37 тис. км, в тому числі 38,6 тис. км – газопроводи, 4667,1 км – нафто- і нафтопродуктопроводи, протяжність технологічних трубопроводів не піддається обліку. Таким чином, трубопровідний транспорт є надзвичайно металоемкою галуззю. Разом з тим, строк експлуатації більшості нафтопроводів складає від 20 до 50 років, близько 60 % газопроводів – від 15 до 50 років (рис. 1).



а - нафтопроводи; б - газопроводи

Рисунок 1 – Термін експлуатації магістральних трубопроводів України

Отже, значна частина систем транспорту нафти і газу відпрацювала свій амортизаційний період (близько 80 % нафтопроводів та 29 % газопроводів).

Магістральні трубопроводи відносять до небезпечних виробничих об'єктів техногенного характеру, відмови і збої в роботі яких пов'язані, як правило, зі значними матеріальними і екологічними збитками. Особливо гостро постає проблема надійності, екологічної безпеки та безпеки праці обслуговуючого персоналу в системах магістрального транспорту газу, нафти та нафтопродуктів. Проте, в будь-якому випадку, основним критерієм, що визначає ступінь екологічної безпеки трубопроводів є їх надійність, здатність виконувати задані функції зі збереженням експлуатаційних властивостей протягом визначеного життєвого циклу. Перевищення терміну експлуатації над амортизаційним періодом знижує надійність системи і тим самим несе потенційну загрозу навколишньому середовищу. Тому, з метою підвищення безпеки і забезпечення нормального функціонування транспортних магістралей, постійно ведеться діагностування та, у разі необхідності, заміна пошкоджених ділянок лінійної частини трубопроводів. В деяких випадках трубопровід може бути виведений з експлуатації за відсутністю потреби у ньому, наприклад у разі зміни напрямків потоків чи відсутності необхідних потужностей для заповнення системи. При цьому досить рідко проводять демонтаж таких трубопроводів, як правило вони залишаються на балансі обслуговуючого їх підприємства і там, де були укладені на початку. Облік таких систем в масштабах усієї галузі країни залишається проблематичним. Однак сьогодні, в умовах ринкових відносин і постійно зростаючих вимог щодо захисту навколишнього середовища все більш актуальною стає проблема ефективної і безпечної утилізації трубопровідних систем, виведених з експлуатації. По-перше, залишені без демонтажу старі системи транспорту вуглеводневої сировини, зважаючи на можливе потрапляння останньої у навколишнє середовище, несуть потенційну безпосередню загрозу ґрунтам, підземним та поверхневим водам, рослинному і тваринному світу, а також приземній атмосфері. У такому випадку протікаючи процеси руйнування та забруднення можуть виявитися незворотними.

Процес забруднення гідросфери відбувається шляхом інфільтрації або поширення водоносним горизонтом забруднюючих речовин. Особливо небезпечними є нафта та нафтопродукти з незначною в'язкістю, що сприяє міграції на великі відстані. Встановлено, що у випадку витоків, нафта, що потрапляє у ґрунт просочується під впливом сили тяжіння. Одночасно відбувається її поширення в горизонтальній площині, шляхом проникнення в поровий простір, утворений між частинками ґрунту. Найбільш сприятливими для міграції нафти, на відміну від глин, є піски та гравійні суміші [1]. Однією з особливостей нафтових вуглеводнів є здатність збільшувати свій вміст у 10 разів на кожному слідуєчому рівні трофічного ланцюга. Отже, якщо нафтові вуглеводні потрапляють спочатку у рослини, потім ланцюгами живлення до риб, то їх накопичується вже в 10 тис. разів більше, ніж у початковій ланці, і в 100 тис. разів більше, ніж у воді [2]. Нафта та її похідні, потрапляючи в ґрунт, призводить до суттєвих, іноді незворотних змін: утворення гудронізованих солончаків, бітумізації та цементації. Відбувається зниження водопроникності за рахунок руйнування структури ґрунту та диспергування його частинок, різко зростає співвідношення між вуглеводнем і азотом, що призводить до погіршення азотного режиму та порушення кореневого живлення рослин. Навіть відносно незначне забруднення нафтою призводить до зниження кількості мікроорганізмів і утворення надлишку вуглекислого газу. Відновлення чисельності мікроорганізмів відбувається не раніше ніж через півроку після надходження токсичних речовин [2]. В результаті ґрунт втрачає свою родючість, стає гідрофобним, підвищується ерозія та вивітрювання. Нафта, як суміш високовідновних сполук, надзвичайно важко піддається біологічному окисленню. В природних умовах розклад вуглеводнів може тривати десятиріччями.

По-друге, раціональне та доцільне використання демонтованих труб дозволить отримати суттєвий економічний ефект. Вторинна реалізація демонтованих систем можлива, наприклад, у разі їх відновлення та передачі для повторного використання на подібних трубопроводах; підготовки і використання на трубопроводах з меншими робочими тисками; виготовлення інших менш відповідальних деталей та конструкцій і зрештою відправлення на переплав. Останній спосіб є найменш раціональним, однак теж дозволить отримати певний економічний ефект. У будь-якому випадку кожне рішення повинно бути достатньою мірою технічно і економічно обґрунтоване.

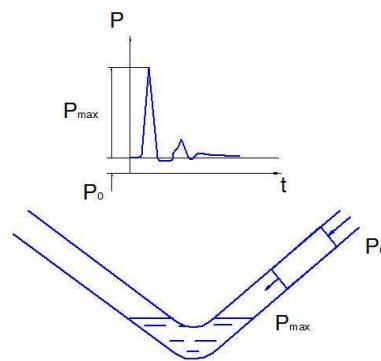
Оскільки забезпечити безпеку трубопроводу після його виведення з експлуатації достатньо проблематично, то незаперечним фактом є необхідність його демонтажу. Демонтаж старого трубопроводу, з метою повторного використання повинен передбачати попереднє очищення його внутрішньої поверхні від залишків продуктів транспортування, води, конденсату та накопичених у процесі експлуатації забруднень.

Відповідно до [3] очищення внутрішніх поверхонь трубопровідних систем можливе шляхом промивання, продування з пропуском очисного пристрою та без його використання, а також витісненням забруднень в потоці рідини та протягуванням очисного пристрою. Використання того чи іншого методу повинно бути чітко обґрунтованим із забезпеченням організації проведення очисних робіт на сучасному технічному і технологічному рівні з дотриманням жорсткої екологічної дисципліни. Промивання трубопровідних систем передбачає скидання значної кількості відпрацьованої води, неорганізований викид якої є забороненим, оскільки веде до розмиву, забруднення та засолення ґрунтів, підземних та поверхневих вод. Крім того, у випадку

руйнування трубопроводу під час проведення очисних робіт або наявності наскрізних тріщин у матеріалі труб неминучим є викид значного обсягу забрудненої води у незапланованому місці. Як показує практика, під час промивання трубопроводу діаметром 720 мм на ділянці протяжністю 30 км об'єм забрудненої води становить понад 14 тис. м<sup>3</sup>, а для газопроводів діаметром 1420 мм – близько 55 тис. м<sup>3</sup>. Вода після промивання повинна направлятися у відстійники і тільки після очищення і освітлення дозволяється її скид у водойми. Організації системи очищення відпрацьованої води вимагає додаткових економічних та трудових затрат.

Найбільш сприятливим способом випорожнення старих систем з точки зору дотримання екологічних вимог є продування стисненим повітрям з пропуском механічних скребоків. Проте, використання даного способу очищення внутрішньої порожнини трубопроводів вимагає розроблення безпечної технології, досконалої організації та чіткого дотримання вимог і правил проведення вибухопожежонебезпечних робіт.

У процесі руху очисного пристрою у порожнині трубопроводу, заповненого газоповітряною сумішшю вуглеводневих залишків транспортованих продуктів внаслідок підвищення тиску може виникнути так званий “ефект дизеля”, що призведе до самозаймання та подальшого вибуху газоповітряної суміші. При цьому суттєву роль відіграє профіль траси трубопроводу, зокрема наявність висхідних та низхідних ділянок, у місці контакту яких, у випадку накопичення рідких відкладень, утворюється своєрідний гідрозатвор. Під час руху поршня на понижених ділянках трубопроводу (рис. 2) на зустріч практично нерухомій рідинній пробці відбувається стиснення розташованої між ними газоповітряної суміші, що призводить до підвищення її тиску та температури. Даний ефект суттєво посилюється виникненням гідравлічного удару в результаті підвищення швидкості руху механічного пристрою на низхідних ділянках трубопроводу, внаслідок чого спостерігається різке додаткове підвищення тиску на межі рідинної пробки, а отже і в газоповітряній суміші. Різке підвищення тиску суміші призводить до суттєвого підвищення температури, значення якої може досягнути температури самозаймання суміші та, у випадку певного концентраційного вмісту горючих парів вуглеводневих залишків, до подальшого вибуху.



**Рисунок 2 – Різке підвищення тиску газоповітряної суміші внаслідок дії гідравлічного удару під час руху поршня на понижених ділянках трубопроводу, заповнених рідиною**

Таким чином, очищення внутрішньої поверхні недіючих трубопровідних систем у вказаний спосіб відноситься до вибухопожежонебезпечних робіт, неправильна організація яких може стати суттєвою загрозою обслуговуючому персоналу з нанесенням значних збитків екологічного та економічного характеру. З іншого боку, у разі виконання робіт з дотриманням відповідних вимог безпеки праці та охорони навколишнього середовища, очищення виведених з експлуатації трубопроводів стисненим повітрям з пропуском механічного пристрою є найбільш раціональним. Отже, з метою розроблення безпечних технологій, удосконалення правил організації і проведення газонебезпечних і аварійних робіт обслуговуючим персоналом систем трубопровідного транспорту і зберігання нафти, нафтопродуктів та газу, існує необхідність проведення подальших теоретичних та експериментальних досліджень енергетичних параметрів та критеріїв оцінки факторів, що можуть впливати на вибуховість газоповітряних сумішей.

З дослідженнями в області горіння та вибуху газоповітряних сумішей пов'язані імена таких вчених як Ф. Бекон, Р. Бойль, М.В. Ломоносов, А. Лавуазьє, А. Вольта, К. Бертоле, Дж. Дальтон, У. Томсон, Г. Деві, М. Фарадей, Р. Бунзен та ін. У працях В. А. Михельсона та А. Ле Шательє закладені основи сучасної теорії розповсюдження полум'я. У результаті досліджень таких видатних вчених як Н. Н. Семенов, Я. Б. Зельдович, К. И. Щелкін, Д. А. Франк-Каменецький, Л. Н. Хитрин, П.І. Вернигор, В. Иост, Д. Тауненд, Б. Льюїс та Г. Ельбе, Г. Хоттел сформульовані основні ідеї сучасної теорії горіння та вибуху. Проте, багато з основних закономірностей, які впливають на процеси горіння та вибуху дотепер вивчені недостатньо, що пов'язано, насамперед, з їх складністю, оскільки в даному випадку приходиться мати справу зі складними хімічними реакціями, що протікають одночасно з процесами аеродинаміки, дифузії, тепло- і масообміном. В переважній більшості основні результати досліджень процесів вибуху, наведені в існуючих

літературних джерелах, стосуються однокомпонентних газів (метану, етану, пропану, бутану, водню, ацетилену та ін.) або природного газу і практично відсутні дані щодо енергетичних характеристик параметрів вибуху більш важких багатокомпонентних газів, таких як пари вуглеводневих залишків.

Попередній аналіз наукових публікацій, монографій та довідникових матеріалів, що стосуються питань горіння та вибуху газоподібних горючих речовин, дає можливість встановити основні властивості та фактори, які можуть мати вплив на енергетичні параметри вибуховості речовин.

Величини концентрації газу, що лежать в межах нижньої та верхньої границі вибуху, утворюють область вибухопожежонебезпечних концентрацій. Умову пожежовибухонебезпеки записують у вигляді [4]

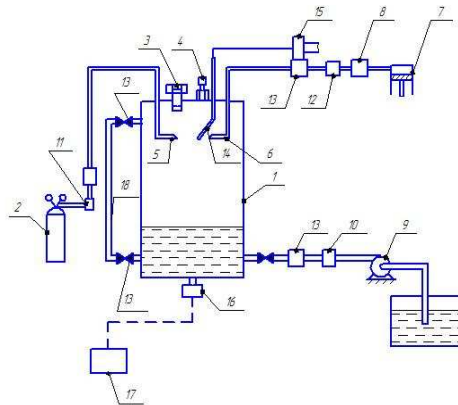
$$\varphi_n \leq \varphi \leq \varphi_v, \quad (1)$$

де  $\varphi_v$  - концентрація горючої речовини в газоповітряній суміші;  $\varphi_n, \varphi_v$  - відповідно нижня та верхня концентраційна межа займання.

Концентраційні межі є важливими показниками пожежної безпеки речовин і підлягають їх обов'язковому визначенню.

Розбавлення горючих газів баластними домішками ( $N_2, CO_2$  і т.д.), так званими флегматизаторами, погіршує умови їх займання. Так, наприклад розбавлення чистого кисню азотом повітря звужує концентраційні межі займання. У разі збільшення концентрації флегматизатора в горючій суміші верхня концентраційна межа зменшується, а нижня як правило несуттєво збільшується. При певній визначеній для кожного флегматизатора концентрації нижня і верхня концентраційні межі зникають. Цю точку називають екстремальною точкою області розповсюдження полум'я або точкою флегматизації. Концентрація флегматизатора, за якої відбувається суміщення верхньої і нижньої концентраційних меж, називають мінімальною флегматизуючою концентрацією (МФК) [4], тобто це і є мінімальна кількість флегматизатора, яку необхідно ввести у газоповітряну суміш стехіометричного складу, щоб вона стала негорючою.

Межі займання газоповітряних сумішей розширюються з підвищенням температури, вплив тиску має більш складний характер. Підвищення тиску для певних сумішей вище атмосферного (наприклад водню з повітрям) звужує межі займання, для інших (суміш вуглеводневих газів з повітрям) розширює. Даний факт обов'язково слід враховувати у разі можливого підвищення тиску в об'ємі вибухонебезпечної газоповітряної суміші. У разі зниження тиску нижче атмосферного концентраційні межі займання звужуються. Враховуючи, що під час очищення внутрішньої порожнини старих трубопроводних систем механічними пристроями шляхом продування стиснутим повітрям, існує можливість різкого підвищення тиску і температури горючої газоповітряної суміші, що може призвести до її вибуху, з метою можливості розроблення вибухопожежобезпечних технологій проведення робіт виникає необхідність дослідження основних чинників, що можуть впливати на енергетичні параметри вибуху газоповітряної суміші, утвореної горючими парами вуглеводневих залишків. З цією метою була розроблена експериментальна установка, схематичне зображення якої наведе на рисунку 3.



1 – камера випробувальна; 2 – балон з робочим газом; 3 – запобіжний пристрій;  
4 – кран продування продуктів вибуху; 5 – сопло подачі робочого газу; 6 – сопло подачі повітря; 7 – компресор; 8 – ресивер; 9 – насос; 10, 11, 12 – витратоміри; 13 – крани; 14 – запальник; 15 – реле часу; 16 – давач тиску; 17 – вторинний прилад; 18 – рівнемір.

**Рисунок 3 – Сема лабораторного стенду для дослідження енергетичних параметрів вибуху газоповітряних сумішей**

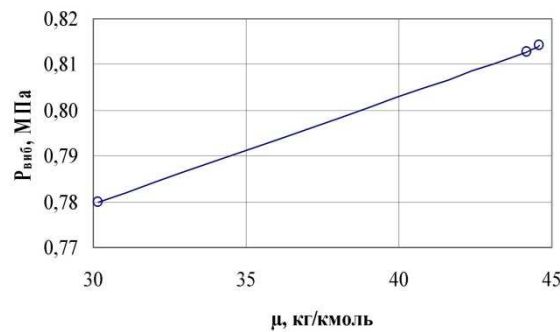
Експериментальна установка складається із вибухової камери 1, яка представляє собою циліндричну посудину. Об'єм газоповітряної суміші, а також тиск у камері можна виміряти шляхом зміни рівня води в робочій камері. Вода в порожнину вибухової камери подається насосною установкою 9. Рівень води у камері можна визначити на основі показів електричного рівнеміра 10.

Для утворення газоповітряної суміші в порожнині вибухової камери в її верхню частину подаються газ і повітря. Газ надходить з балона 2 через сопло 5, положення якого в просторі повітряної камери можна змінювати. Для обліку кількості газу, що надходить в порожнину вибухової камери, передбачений ротатійний витратомір 11. Повітря за допомогою компресора 7 подається в ресивер 8 і через сопло 6 в порожнині вибухової камери. Витрата повітря реєструється ротатійним витратоміром 12. Іскровий розряд в порожнину камери подається за допомогою іскрового розрядника 14, який працює у комплексі з реле часу 15.

Для реєстрації підвищення тиску в робочій камері і часу вибуху використовувалися п'єзометричні перетворювачі тиску 16, що працюють у комплексі з підсилювачем 17 та перетворювачем електричного сигналу 18. Після утворення газоповітряної суміші необхідної концентрації та ініціювання вибуху, проводилася продувка утворених продуктів згорання через кран 4. З метою забезпечення цілісності камери під час проведення дослідів, у разі перевищення тиску вибуху над максимально допустимою величиною встановлений запобіжний пристрій.

Конструктивне виконання експериментальної установки дозволяє змінювати величину тиску у газовій області вибухової камери і досліджувати вплив початкових параметрів газоповітряної суміші на величину тиску вибуху.

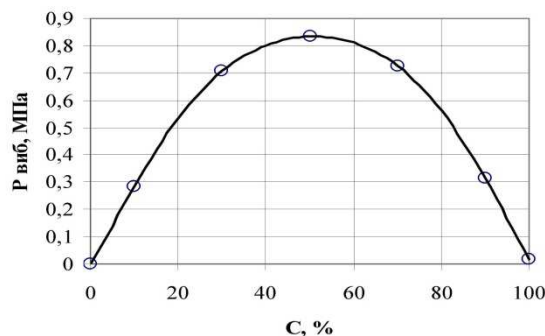
В ході проведення експериментальних досліджень були встановлені закономірності впливу концентраційних співвідношень компонентів газоповітряної суміші, умов її утворення та початкових параметрів у вибуховій камері на величину тиску та енергії вибуху газоповітряної суміші, утвореної газоподібними вуглеводнями різного компонентного складу, графічна інтерпретація яких наведена на рисунках 4-6.



**Рисунок 4 – Залежність тиску вибуху від молярної маси газу, що входить до складу газоповітряної суміші**

Оскільки умови проведення дослідів в кожному випадку були ідентичними, то зміна величини тиску вибуху обумовлювалась відмінністю фізико-хімічних властивостей газу. З метою проведення аналізу впливу властивостей газу на величину тиску вибуху побудовані графічні залежності тиску вибуху від молярної маси газу (рис. 4). Аналіз отриманих результатів дає можливість зробити висновок, що зі збільшенням молярної маси газу величина тиску вибуху пропорційно зростає.

Досліди також показали, що залежність тиску вибуху від відносної концентрації газу у суміші з повітрям, близька до параболічної. При цьому максимальне значення тиску вибуху суміші відповідає середині зони між нижньої та верхньої межами її вибуховості (рис. 5).

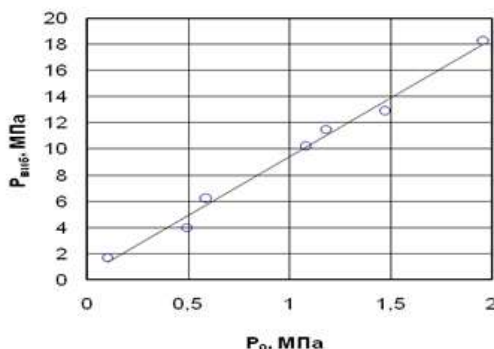


**Рисунок 5 – Залежність тиску вибуху від концентрації суміші**

З фізичної точки зору це можна пояснити таким чином. У разі низьких концентрацій (в межах вибуховості) зі збільшенням маси заряду збільшується енергетичний потенціал суміші. За умов високих концентрацій зменшується доля кисню, яка припадає на одну молекулу газу, тому енергетичний запас газоповітряної суміші зменшується.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що на величину тиску вибуху, має суттєвий вплив початковий тиск газоповітряної суміші, і чим він більший тим більша величина тиску вибуху, при чому дана закономірність має строгий прямолінійний характер, що узгоджується з теоретичними дослідженнями. Результати експериментів наведені на рисунку 6.

Однією з умов попередження вибухів газоповітряних сумішей є їх розведення інертними газами до повного усунення її здатності займатися і призводити до вибуху [5]. Подальші експериментальні дослідження дозволять встановити необхідну оптимальну кількість флегматизуючої речовини, яку необхідно буде додавати до газоповітряної суміші з метою попередження її вибуху, зокрема під час очищення порожнини трубопроводу від вуглеводневих залишків стисненим повітрям шляхом пропуску механічного пристрою.



**Рисунок 6 – Залежність тиску вибуху від початкового тиску газоповітряної суміші**

Таким чином, отримані результати та подальші експериментальні дослідження дозволять розробити безпечну технологію проведення аварійних та газонебезпечних робіт. Адже, безпека людини в умовах експлуатації об'єктів нафтогазового комплексу в значній мірі залежить від належного виконання вимог нормативних документів, дотримання посадових інструкцій та можливості раціонального впровадження у виробничі процеси наукових досягнень, що є запорукою своєчасного попередження надзвичайних ситуацій.

### **Література**

1. Atlas R.M. Microbial degradation of organic compounds within complex effluents / R.M. Atlas // Environ. Hazard Asses. Effluents. - 1986. – No 1. - P.163-171.
2. Коронелли Т.В. Принципы и методы интенсификации биологического разрушения углеводородов в окружающей среде//Прикладная биохимия и микробиология. – 1996. - №6. - С. 579-585.
3. Ведомственные строительные нормы. Строительство магистральных и промышленных трубопроводов. Очистка полости и испытание: ВСН 011-88. – [Введены 1989-02-01]. – М.: Миннефтегазстрой, 1989. – 51 с.
4. Андросов А.С. Теория горения и взрыва./ А.С. Андросов, И.Р. Бегишев, Е.П. Салеев – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 360 с.
5. Вернигор П.И. Техника безопасности в газовом хозяйстве металлургических заводов / П.И. Вернигор. – М.: Металлургия, 1975. – 248 с.
6. Правила безпеки під час будівництва та реконструкції магістральних трубопроводів: ДНАОП 0.00-135-03. [Введені 2004-03-25]. – К., 2003. – 182 с.
7. Правила безпеки під час експлуатації магістральних нафтопроводів. [Введені 2007-05-23]. – К.: Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, 2006.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
10.06.12*

*Рекомендована до друку оргкомітетом  
міжнародної науково-технічної конференції  
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,  
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.*