

**ЕКОЛОГІЯ ПЕДОСФЕРИ**

УДК 622.4.076 : 620.197.6

*Полутренко М.С.  
Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу*

**ЕКОЛОГІЧНИЙ АУДИТ КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТІВ  
ПРОКЛАДАННЯ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ**

Проведено екологічний аудит корозійної активності ґрунтів прокладання одного з магістральних газопроводів (МГ) Південного регіону. В результаті комплексного обстеження ґрунтів на всіх ділянках газопроводу встановлено, що ґрунти відносяться до ґрунтів з середнім та високим ступенем корозійної активності, що призводить до інтенсифікації корозійних процесів підземних нафтогазопроводів. Для підвищення ефективності протикорозійного захисту магістрального газопроводу на досліджуваних ділянках із врахуванням корозійної активності ґрунтів запропоновано використовувати розроблене інноваційне біостійке протикорозійне покриття на основі бітумно-полімерної мастики МБПІ-Д-1 (А), модифікованої інгібітором «Ж».

**Ключові слова:** екологічний аудит, корозія, бактерії, ґрунт, газопроводи.

Проведен экологический аудит коррозионной активности грунтов прокладки одного из магистральных газопроводов Южного региона. В результате комплексного обследования почв на всех участках газопровода установлено, что почвы относятся к почвам со средней и высокой степенью коррозионной активности, что приводит к интенсификации коррозионных процессов подземных нефтегазопроводов. Для повышения эффективности противокоррозионной защиты магистрального газопровода на исследуемых участках с учетом коррозионной активности почв предложено использовать разработанное инновационное биостойкое противокоррозионное покрытие на основе битумно-полимерной мастики МБПИ-Д-1 (А), модифицированной ингибитором «Ж».

**Ключевые слова:** экологический аудит, коррозия, бактерии, почва, газопроводы.

Conducted an environmental audit corrosive soils laying of a gas pipeline South region. As a result of a comprehensive survey of soil in all areas of the pipeline is established that the soils are soils with moderate to high degree of corrosion activity, which leads to an intensification of the processes of corrosion of underground oil and gas. To increase the effectiveness of corrosion protection for gas main study sites with the corrosive soils proposed to use razrbotannoea innovative biological stability of anticorrosive coating based on bitumen-polymer mastic MBPI-D-1 (A), the modified inhibitor "F".

**Keywords:** environmental audits, corrosion, bacteria, mold, gas pipelines

**Актуальність проблеми.** Мережа газопроводів є важливим елементом транспортування газу і відіграє значну роль у забезпеченні енергетичної безпеки країни. У процесі проектування та експлуатації газопроводів недостатньо враховується їх вплив на довкілля й оцінюється екологічна безпека експлуатації газопроводів. Забезпечення екобезпеки, в основному, зводиться до дотримання певних відстаней між трасою магістрального трубопроводу та об'єктами інфраструктури. Основною формою впливу магістральних газопроводів на довкілля при їх експлуатації є можливість забруднення ґрунтового масиву, повітряного басейну, води продуктами транспортування у разі виникнення аварійних ситуацій. Причини відмов трубопроводів, що створюють екологічний ризик, висвітлено в роботах вітчизняних та зарубіжних вчених [1,4, 6, 9].

Аналіз причин відмов трубопроводів показав [7], що більше 80% всіх відмов відбулися з причин корозії металу труб. Внаслідок корозії відбувається значне зменшення перерізу трубопроводу. Це різко підвищує екологічний ризик подальшої експлуатації таких металоконструкцій і актуалізує проблему оцінки їхнього залишкового ресурсу. Внаслідок експлуатації більше 20 років газопроводів України зростає ризик аварійно-небезпечних дефектів, що негативно впливає на екологічну безпеку експлуатації трубопровідного транспорту.

Важливим чинником забезпечення безаварійної роботи підземних газопроводів є захист їх поверхні від ґрунтової корозії якісними ізоляційними покриттями.

Для надійної та безпечної експлуатації підземних трубопроводів, крім якісного захисного ізоляційного покриття, необхідно враховувати корозійну активність ґрунтів, в яких вони прокладені. На процеси корозії металоконструкцій в підземному середовищі впливає ряд екологічних факторів, а саме: хімічна природа ґрунтів, їх вологість, питомий опір, окисно-відновний потенціал, наявність сульфатвідновлювальних бактерій (СВБ), які відіграють домінуючу роль серед мікробної асоціації ґрунтових мікроорганізмів. Крім фізико-хімічних показників необхідно враховувати біологічний чинник, який значною мірою визначає інтенсивність корозійних процесів, що відбуваються на поверхні металевих конструкцій в підземному середовищі.

У зв'язку з викладеним вище, метою даного дослідження було проведення екологічного аудиту визначення корозійної активності ґрунтів прокладання одного з магістральних газопроводів Південного регіону.

**Виклад результатів проведених досліджень.** Екологічний аудит корозійної активності ґрунтів охоплював комплекс досліджень по визначенню кислотності ґрунтів, окисно-відновного потенціалу (ОВП) ґрунту до і після шурфування, питомого опору ґрунту, а також втрату маси металу, визначену гравіметричним методом, що характеризує корозійне руйнування металу. Відбір проб ґрунту проводили згідно методики діючого ДСТУ 3291-95 [2].

Для оцінки корозійної активності ґрунтів по відношенню до прокладання в нього трубопроводу характерним є утворення в ньому перших ознак наскрізної корозії. Безперечно, що така оцінка є наближеною, оскільки процес корозії сталевих трубопроводів залежить не тільки від ґрунтових умов, але й від сорту сталі, якості і матеріалу зварних з'єднань, товщини стінки трубопроводів, якості захисного покриття, а також від умов експлуатації трубопроводу.

На сьогодні існує більше двадцяти польових та лабораторних методів визначення корозійної активності ґрунтів [3, 10]. Враховуючи широке розмаїття причин корозії металу в ґрунті жоден з цих методів окремо не може дати точну картину визначення корозійної активності ґрунтів. Правильну оцінку корозійної активності ґрунтів можна зробити тільки після дослідження ґрунтів різними методами і співставлення результатів цих досліджень з врахуванням місцевих географічних і кліматичних умов.

В зоні прокладання магістрального газопроводу Південного регіону діаметром 529 мм з товщиною стінки 8,0 мм було проведено три шурфування. На відмітці 163+32 (шурф 1) проведено візуальний аналіз стану поверхні газопровода, введеного в експлуатацію 1966 року, та ізоляційного покриття, яке складається з бітумно-гумової мастики та бітумізованої паперової обгортки, яка є зморщеною, швидше всього від тиску ґрунту. Бітумна ізоляція продавлена, бітум розсипчастий, знизу труби під ізоляцією сконденсувалася волога. Продукти корозії, які важко відділяються, зосереджені під ізоляцією в місцях відшарування покриття. Спостерігаються каверни максимальною глибиною 0,5 мм та загальною довжиною 2,0 см. На відмітці ПК 576+00 (шурф 2), газопровід покритий поліхлорвініловою ізоляцією, зверху якої намотано один шар поліетиленової обгортки. Візуальний огляд ізоляції на момент проведення досліджень показав, що не дивлячись на те, що поверхня обгортки зморщена, механічні пошкодження на ній відсутні. Видається на перший погляд, що обгортка щільно прилягає до ізоляції,

проте під ізоляцією є волога зі всіх сторін труби, що вкрай небажано, оскільки в умовах катодної поляризації це призводить до відшарування ізоляційного покриття та інтенсифікації локальних корозійних процесів металу труби. Поверхня труби покрита іржею, що легко відділяється. Окремих каверн на металі труби не виявлено. Було оглянуто 2,0 м<sup>2</sup> ізоляції. Заміну труби проведено в 1984 р. Третє шурфування на лінійній частині даного магістрального газопроводу було проведено на відмітці ПК 646+00 (шурф 3). Заміну труби проведено в 1984 р. Ізоляція бітумно-гумова, покрита одним шаром бітумізованої паперової обгортки, поверхня якої є гладкою. Візуальний аналіз бітумної ізоляції показав, що ізоляція продавлена, бітум мало пластичний. Під ізоляцією внизу труби сконденсувалася волога. В місцях відсутності ізоляції спостерігається наліт іржі, який легко відстає, утворення каверн на тілі труби не виявлено.

За механічним складом досліджені ґрунти представлені глинами та суглинками (табл.1). Визначали такі фізико-хімічні показники: питомий електроопір, кислотність, окисно-відновний потенціал (ОВП) ґрунту до шурфування і після, а також зміну втрати маси металу гравіметричним методом, яка характеризувала інтенсивність корозійних процесів.

Таблиця 1

## Характеристика обстежених ґрунтів

№ шурфа	pH	Питомий електроопір $\rho$ , Ом·м	ОВП до шурфування, В	ОВП після шурфування, В	Гранулометричний склад
1	8,04	63	- 0,99	- 0,97	Супісок з рештками коренів рослин
2	8,00	10	- 1,05	- 1,02	Суглинок коричневий з рештками коренів рослин
3	7,88	14	- 1,20	- 1,17	Суглинок коричневий з рештками коренів рослин

Основою для визначення ступеня корозійної активності ґрунту був вибраний питомий електроопір ґрунту. Низькі значення питомого електроопору для шурфів 2 і 3 вказують на високу корозійну активність ґрунтів. Оскільки одним з екологічних показників, який характеризує корозійну активність ґрунту є кислотність, тому важливим було простежити як змінюється кислотність ґрунту, відібраного зверху і знизу масиву трубопровода, зліва та справа по ходу газу. Кислотність ґрунтів зумовлена наявністю йонів Гідрогену, концентрація яких виражається величиною pH. Величина pH в ґрунті змінюється в залежності від загальної мінералізації ґрунтових вод і наявності в них карбонатної і мінеральних кислот, кислих і основних солей. За величиною pH розрізняють ґрунти: сильнокислі (3 - 4,5), кислі (4,5 - 5,5), слабкокислі (5,5 - 6,5), нейтральні (6,5 - 7,0), слабколужні (7,0 - 7,5), лужні (7,5 - 8,5), сильнолужні (більше 8,5) [10].

В залежності від того, в якому стані знаходяться в ґрунті йони Гідрогену, розрізняють наступні види кислотності: актуальну (активну) і потенційну (приховану), яка поділяється на обмінну і гідролітичну. Актуальна кислотність зумовлена йонами Гідрогену, що знаходяться в ґрунтового розчині. Про її величину судять за результатами аналізу водної витяжки з ґрунту. Актуальна кислотність характеризує кислотність ґрунту на момент її визначення.

Нами була визначена актуальна кислотність відібраних проб ґрунту за методикою [5] з допомогою універсального індикатора та pH- метра марки pH-150МИ (табл. 2).

Таблиця 2

## Визначення рН водних витяжок проб ґрунту

Місце відбору проби ґрунту	Шурф №1				Шурф №2			Шурф №3		
	верх	зліва	справа	низ	верх	зліва	справа	верх	зліва	справа
ручний рН-метр ( $T_{емр}$ )	8,05	8,02	8,00	8,03	8,02	7,95	7,85	7,88	8,0	7,76

Одержані результати показали, що газопроводи «Глібовка-Сімферополь» прокладені в однорідних за кислотністю ґрунтах. За величиною рН ґрунти є лужними. Для характеристики корозійної активності ґрунтів недостатньо оперувати тільки значенням рН, оскільки рН вказує лише на активність йонів Гідрогену в ґрунтовому розчині, але не вказує на кількісний вміст кислот в ґрунті, оскільки рН відноситься тільки до дисоційованої частини кислот.

Також необхідно було виключити можливість посилення корозійних процесів наявністю сульфат-йонів ( $SO_4^{2-}$ ). Саме з цією метою нами були проаналізовані водні витяжки ґрунтів на предмет  $SO_4^{2-}$  якісною реакцією з водним розчином барій хлориду [8]. Випадання білого осаду (поява мути) свідчило про наявність йонів  $SO_4^{2-}$  в ґрунтових водах. Нами було проаналізовано водні витяжки всіх відібраних проб ґрунту і одержано наступні результати (табл. 3).

Таблиця 3

Якісний вміст йонів  $SO_4^{2-}$  в ґрунтових водах

№ проби	ПК 163+32	ПК 576+00	ПК 646+00
Наявність $SO_4^{2-}$ (якісна проба)	±	+	+

"+" - спостерігалось утворення мути; "±" - слабка муть; "-" – муть відсутня.

З одержаних даних видно, що сульфат-йони присутні в ґрунтових водах відібраних проб на відмітках ПК 576+00 і ПК 646+00, що свідчить про наявність в ґрунтах сульфатів (можливо  $Na_2SO_4$ ,  $FeSO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ). Наявність сульфат-йонів в ґрунтових водах не виключає розвиток мікробіологічної корозії підземних газопроводів.

Таким чином, співставляючи дані, одержані по визначенню кислотності ґрунту з даними якісного аналізу  $SO_4^{2-}$  можна допустити, що ґрунти з шурфів на відмітках ПК 576+00 і ПК 646+00 є корозійно-активними.

Оскільки, в ґрунтових водах на трасі магістрального трубопроводу, за допомогою якісного аналізу виявлено наявність сульфат-йонів, то не виключена можливість розвитку корозії сталевих труб в результаті мікробіологічної корозії або біокорозії. Для повноти заключення про корозійну активність ґрунтів, було проаналізовано також значення питомого електроопору ґрунтів (табл. 1).

З одержаних даних видно, що на трасі магістрального газопроводу, спостерігається суттєве зниження питомого електроопору ґрунту на досліджуваній ділянці трубопроводу від відмітки ПК 163+32 до ПК 576+00 і ПК 646+00, що вказує на високу корозійну активність ґрунтів. Порівнюючи одержані значення питомого електроопору зразків ґрунту з даними літературних джерел, можна допустити, що найбільш ймовірна швидкість розвитку піттингів складатиме 0,18 мм/рік. Для більш точної оцінки корозійної активності ґрунтів, нами було проведено серію дослідів з відібраними зразками ґрунтів по визначенню маси втрат металу гравіметричним методом, який є досить простим в технічному плані та поширеним [3].

На рис. 1, 2 і 3 приведені залежності втрати маси металу трубок в ґрунтах на різних ділянках траси.

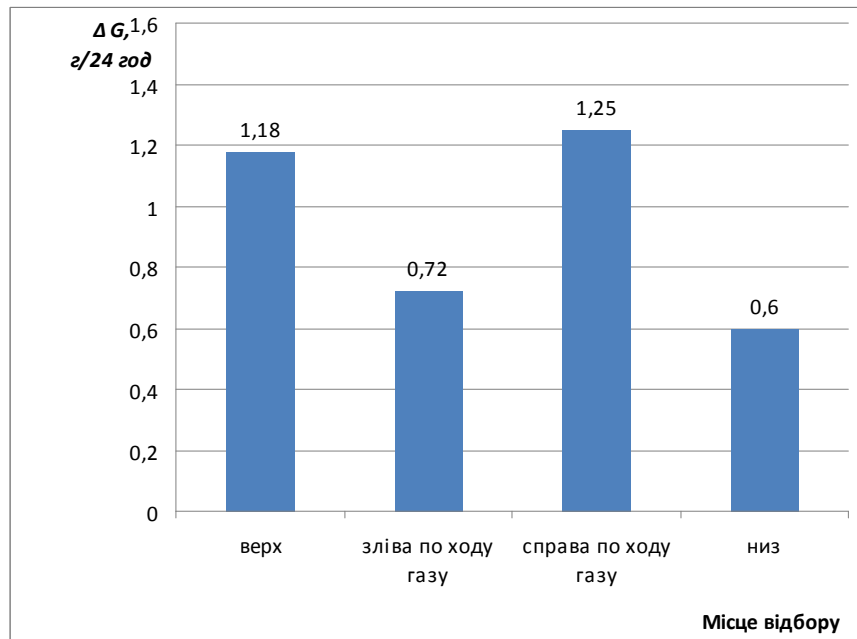


Рис. 1. Залежність втрати маси металу трубок ( $\Delta G, \text{г/24 год}$ ) на ділянках траси МГ (ПК163(+32) шурф1)

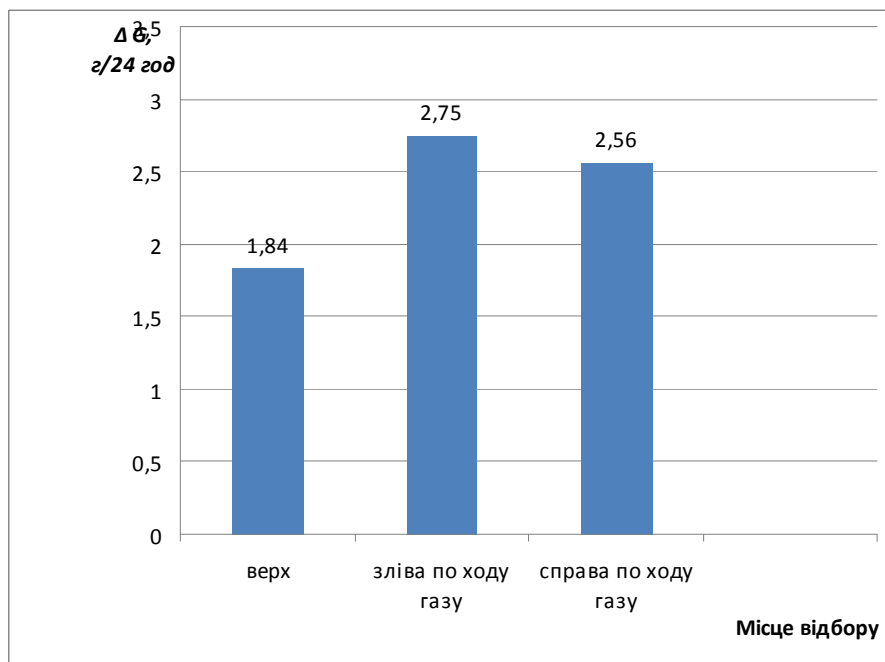
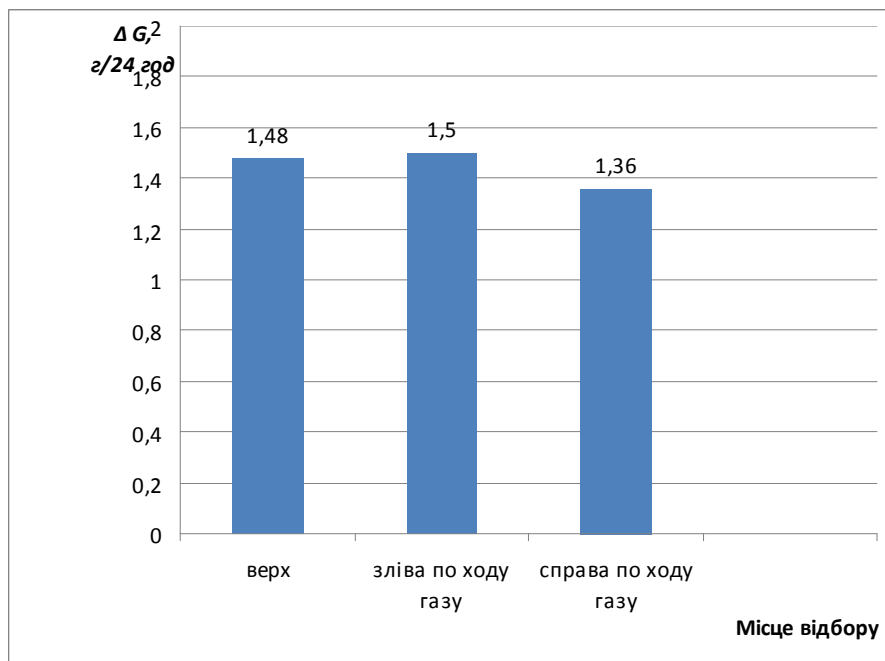


Рис. 2. Залежність втрати маси металу трубок ( $\Delta G, \text{г/24 год}$ ) на ділянках траси МГ (ПК576(+00), шурф 2)



**Рис. 3. Залежність втрати маси металу трубок ( $\Delta G$ , г/24 год) на ділянках траси МГ (ПК646(+00), шурф 3)**

Аналіз одержаних залежностей  $\Delta G = f(l)$  (рис. 1-3), показав, що на ділянках траси магістрального газопроводу ґрунти, за втратою маси металу, відносяться до ґрунтів середньої корозійної активності.

Співставляючи результати екологічного аудиту по визначенню корозійної активності ґрунтів прокладання магістрального газопроводу можна стверджувати, що ґрунти на досліджуваних ділянках траси відносяться до ґрунтів з високим ступенем корозійної активності. Тому, для запобігання корозії металу трубопроводу внаслідок ґрунтової корозії нами запропоновано ізоляційне покриття на основі бітумно-полімерної мастики МБПІ-Д-1 Дашавського заводу композиційних матеріалів, яке володіє підвищеними протикорозійними характеристиками (в т.ч. є водостійкими), а також проявляє бактерицидні властивості за рахунок введення до складу покриття інгібітора "Ж". Інгібітор «Ж» відноситься до четвертинних амонієвих солей загальної формули  $[R(R')_3N]^+X^-$ , де R і R' – вуглеводневі радикали, X – атом галогену, які використовуються для пригнічення росту сульфатвідновлювальних бактерій (СВБ). Перевага інгібітора «Ж», який є біоцидом (антисептиком) перед іншими біоцидами – у високій ефективності дії (низькій мінімальній інгібуючій концентрації), відносно низькій вартості, тривалості зберігання бактерицидної активності, який є ефективним антисептиком. В табл. 4 приведено характеристику інноваційного біостійкого модифікованого бітумно-ізоляційного покриття інгібітором "Ж".

Таблиця 4

**Характеристика модифікованого бітумно-ізоляційного покриття**

Праймер	Мастика	Адгезія стрічки до мастики, Н/мм	Адгезія мастики до заґрунтованого металу, Н/мм <sup>2</sup>	Загальна товщина захисного покриття, мм	Міцність при ударі при 20°C, Дж
А	А	1,5	0,55	4,3	15
Ж	А+ 0,1мас.%	1,7	0,62	4,3	15

Аналіз одержаних результатів показав, що введення інгібітора корозії "Ж" дозволяє отримувати модифіковану мастику, яка є міцною пластичною, з вищими адгезійними показниками, а ізоляційне покриття на її основі дозволить підвищити ефективність протикорозійного та мікробіологічного захисту експлуатації підземних газопроводів.

**Висновки.** Проведено екологічний аудит корозійної активності ґрунтів прокладання одного з магістральних газопроводів Південного регіону. Встановлено в результаті комплексного обстеження ґрунтів на досліджуваних ділянках траси магістрального газопроводу, що ґрунти відносяться до ґрунтів з високим ступенем корозійної активності, що призводить до інтенсифікації корозійних процесів підземних газопроводів. Наявність сульфат-йонів у водних витяжках ґрунту на досліджуваних ділянках траси МГ спричиняє розвиток мікробіологічної корозії з участю сульфатвідновлювальних бактерій. З метою підвищення протикорозійного захисту магістрального газопроводу на досліджуваних ділянках із врахуванням корозійної активності ґрунтів рекомендовано використовувати розроблене інноваційне біостійке протикорозійне покриття на основі бітумно-полімерної мастики МБП-Д-1 (А), модифікованої інгібітором «Ж».

### Література

1. Говдяк Р.М. Підвищення ефективності магістральних газопроводів на пізній стадії експлуатації: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. док. техн. наук /Р.М. Говдяк.- Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу, 2008. – 32с.
2. ДСТУ 3291-95 Методи оцінки біокорозійної активності ґрунтів і виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд // Київ.: Держстандарт України, 1996. – 28 с.
3. Жуков В.И. Битумная изоляция подземных трубопроводов /В.И. Жуков, Ф.Г. Храмынин. - М.: Госстройиздат, 1964. - 120 с.
4. Кривенко Г.М. Прогнозування екологічного та технічного ризиків при експлуатації магістральних нафтопроводів з пересіченим профілем траси: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук /Г.М. Кривенко.- Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу, 2005. – 23с.
5. Крикунов В.Г.Лабораторний практикум по ґрунтознавству /В.Г. Крикунов, Ю.С. Кравченко, В.В. Криворучко та ін. // Біла Церква, 2003. – 83 с.
6. Кутуков С.Е. Технологический и экологический мониторинг систем магистрального транспорта и промышленного сбора нефти. Практика и перспективы совершенствования / С.Е. Кутуков // Безопасность жизнедеятельности. Приложение. – 2004. - №8. – 16с.
7. Миронюк С.Г. Анализ аварийности промышленных нефтепроводов в регионе и оценка риска их эксплуатации/ С.Г. Миронюк, И.А. Пронина // Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов. Тезисы докладов Международной конференции. – М.: Ноосфера, 2001. – С.290-292.
8. Полутренко М.С. Аналітична хімія. Конспект лекцій МВ 02070855 – 934 – 2002 / М.С. Полутренко.- Івано – Франківськ. : Факел, 2002. –117с.
9. Середницький Я. Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопровідному транспорті (2-а частина) / Я. Середницький, Ю. Банахевич, А. Драгілев. – Львів: ТзОв «Сплайн», 2004. – 276с.
10. Стрижевский И.В. Подземная коррозия и методы защиты /И.В. Стрижевский . - М.: Металлургия, 1986. – 112 с.

*Поступила в редакцію 17 вересня 2013 р.*