

УДК 550.374

Р. Глоба, асп.  
E-mail: hloba\_roman@ukr.net, +380931536202,І. Зінченко, студ.  
E-mail: evandersar@ukr.net, +380639542486,Я. Глоба, асп.  
E-mail: globa\_yaroslav@ukr.net, +380631682639,О. Дзюба, асп.  
E-mail: geoinformatic@ukr.net, +380630407543Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

## ГЕОФІЗИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРАС ТРУБОПРОВІДНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

*(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Іванік)*

*Запропоновано використання комплексу геофізичних досліджень для інженерних вишукувань при проектуванні і експлуатації лінійних підземних споруд трубопровідного транспорту.*

*Показано можливість вибору ділянок для будівництва та експлуатації трубопровідних транспортних систем. Розкрито ефективність комплексного застосування геофізичних методів при обґрунтуванні заходів захисту трубопровідних транспортних систем від впливу природних і техногенних процесів.*

*Для визначення можливих ділянок корозії на підземному вхідному газопроводі АГНКС (автомобільна газонаповнювальна компресорна станція) "Харків-4" були проведені дослідження методами електророзвідки: ВЕЗ (вертикальне електричне зондування), "віддаленого електрода", вимірювання градієнт потенціалу і СЕП (симетричне електричне профілювання). Низький позірний опір і високі негативні значення потенціалу є ознаками того, що ґрунти схильні до корозії і є ймовірність пошкодження трубопроводу в майбутньому. Підтверджено, що електричні геофізичні дослідження уздовж підземних трубопроводів слід проводити для раннього виявлення та профілактики пошкоджень трубопроводу з негативними екологічними та економічними наслідками.*

**Ключові слова:** корозія, ВЕЗ, СЕП, метод "віддаленого електрода", вимірювання градієнт потенціалу.

Вступ. Виникнення серйозних аварій на трубопроводах (викиди нафти, нафтопродуктів та інших речовин, вибухи газу і т.п.) може призвести до надзвичайних ситуацій з людськими жертвами, спричинити економічну і екологічну дестабілізацію цілих регіонів країни. Безпечна експлуатація трубопровідного транспорту є складним комплексним завданням, яке полягає у вирішенні технічних, технологічних, економічних і організаційних аспектів [10].

Питанням безпечної експлуатації трубопроводів і їх корозійної безпеки присвячено праці багатьох вчених. Так, М. В. Беккер, досліджуючи газотранспортну систему України, відзначив, що її надійна робота і безпечна експлуатація можлива лише за відповідного науково-технічного забезпечення. В роботах В.В. Рогозюка, Ю.П. Гужова та Ю.О. Кузьменка розглянуто основи електрохімічної та ґрунтової корозії, досліджено корозійні умови в різних регіонах України, а також визначено основні вимоги до експлуатації протикорозійного захисту трубопроводів і чинники їх надійності. Методи боротьби з окремими видами корозії металів досліджено в працях Р. Юхневича, В. Богдановича та Е. Валашковського. Значну увагу вони присвятили наступним методам антикорозійного захисту: застосування інгібіторів корозії, тимчасовий захист металів та електрохімічний захист. Авторами проведено оцінку ґрунтових умов експлуатації лінійної частини газотранспортної системи Полтавської області за показником рН середовища, електропровідністю ґрунту і вмістом сульфат-іонів, що дало змогу оцінити можливість створення умов для розвитку корозійних процесів на ділянках трубопроводів. В цих роботах наведено залежність для оцінювання швидкості корозійних процесів на поверхні ділянки трубопроводу.

Для лінійних інженерних споруд характерним є проведення великого обсягу земляних робіт, що тягне за собою істотну зміну складу і властивостей гірських порід. У першу чергу, це пов'язано з формуванням в траншеї розуцільнених ґрунтів зворотної засипки, які відрізняються нерівномірною щільністю і підвищеною фільтраційною здатністю. Більшість магістральних трубопроводів прокладені в глинистих ґрунтах, для яких рух води по порах відбувається не тільки під дією механічних сил, заданих градієнтом гідростатичного тиску, але й під дією інших фізичних і фізико-хімічних сил, зокрема: 1) градієнта поля постійного електричного струму (електроосмос);

2) градієнта концентрації розчинених електролітів (капілярний осмос); 3) температурного градієнта (термоосмос). Механізм руху води при електроосмосі, осмосі і термоосмосі однаковий – це рух рідини по поверхні частинок, на відміну від фільтрації, під час якої відбувається рух вільної води по шару зв'язаної води. Це свідчить про те, що при різних умовах експлуатації, в залежності від фізичної та хімічної неоднорідності як середовища (ґрунти), так і металу трубопроводу, може мати місце зміна потенціалу негативний / позитивний (катод / анод), тобто виникає знакозмінна зона, а це, як відомо, істотно впливає на термін експлуатації трубопроводів [7].

Процеси корозії трубопроводів у підземних умовах обумовлені фізичними і фізико-механічними факторами, що визначають її інтенсивність. Ґрунт як середовище, в якому відбувається процес корозії, характеризується різноманітними взаємопов'язаними і змінними в часі параметрами. Складний взаємозв'язок цих параметрів призводить до того, що той чи інший параметр при різних комбінаціях може діяти не тільки з різною інтенсивністю, але і змінювати корозійний вплив на транспортну споруду. Корозійна агресивність ґрунтів залежить від структурно-текстурних особливостей, форми ґрунтових частинок, загальної пористості, форми і поширення включень, які проводять струм [4].

Встановлено, що території з регіональним поширенням корозійних пошкоджень за комплексом природних особливостей характеризуються складними інженерно-геологічними умовами. На ділянках з інтенсивними корозійними процесами, особливо в зонах паралельного прокладання декількох ниток трубопроводів, виникають складності в проведенні детальних досліджень з метою встановлення закономірностей впливу ґрунтового середовища на виникнення корозійних процесів, а також подальшого утворення і розвитку ділянок корозійних пошкоджень [6].

Ухил крутих схилів в поєднанні зі зниженням рослинності в смузі укладання трубопровідних транспортних систем, спричиняє активізацію осипів, обвалів, зсувів і формування колювальних нестійких утворень. Зміна вологості ґрунтів навколо трубопроводу (внаслідок знищення рослинності) і морфології рельєфу має значний вплив, як на кінетику корозійних процесів, так і на вторинні процеси безпосередньо в зоні контакту "труба-земля" [8]. Це виявляється в зміні температури

середовища і, відповідно, температури поверхні трубопроводу, змінені водневого показника (рН), електропровідності ґрунтів, вмісту газів, що сприяє створенню умов для життєдіяльності різних бактерій. Найбільш різких перетворень геологічне середовище зазнає на початковій стадії експлуатації споруд. Надалі взаємозв'язок між спорудами і навколишнім середовищем поступово стабілізується [9].

Методика виявлення корозійних ділянок на трубопроводних транспортних системах електрометричними методами. При електрохімічному захисті (ЕХЗ) підземних трубопроводів виконується ряд вимірювань, зокрема, різниці потенціалів "труба-земля", поляризаційного потенціалу на трубопроводі, величини корозійної активності ґрунтів, стану ізоляційного покриття. Перераховані вимірювання дозволяють вирішити ряд завдань, а саме: визначення захищеності трубопроводів (ефективність ЕХЗ), локалізацію дефектів, інтегральну оцінку стану ізоляційного покриття (величина загасання струму в трубі), визначення ділянок з високою корозійною небезпекою, а також, оцінити залишковий експлуатаційний ресурс труб з урахуванням ефекту старіння металу [2].

Методика виявлення корозійних ділянок газопроводу, корозійної активності ґрунтів і вибору майданчика під анодне заземлення передбачає:

- вимір поздовжнього потенціалу "труба-земля" для визначення захищеності катодною поляризацією по довжині газопроводу і поперечного градієнта електричного поля кроком 5 м для визначення якості ізоляційного покриття комунікацій;
- вимір питомого електричного опору ґрунтів методом симетричного електричного профілювання;
- виконання вертикального електричного зондування з метою вибору майданчика під анодне заземлення [3].

Методика вертикального електричного зондування (ВЕЗ) передбачає вимір питомого опору установкою, в якій відстань між живлячими електродами постійно збільшується від одного виміру до іншого. Кінцевим результатом зондування є крива залежності позірних опору ( $\rho$ ) від розносу живильної лінії.

Зондування виконується кількома вимірювальними лініями, розмір яких змінюється в залежності від відстані між живильними електродами. Це дозволяє при технічно можливих значеннях сили струму в ланцюзі живлячих електродів забезпечити можливість для в'євненого вимірювання різниці потенціалів. При переходах

від однієї вимірювальної лінії до іншої визначення  $\rho$  виконуються при двох суміжних значеннях розносів MN.

За виміряними значеннями  $\rho$  безпосередньо в полі будується графік ВЕЗ, що відображає залежність  $\rho$  від величини  $\frac{1}{2}$  від розносу живильної лінії. Цей графік створюється в подвійному логарифмічному масштабі з модулем, рівним 6,25 см. Ділянки кривої, отримані різними вимірювальними лініями, відображаються на графіку у вигляді окремих відрізків. Розриви між відрізками пояснюють зміни відстані між електродами живлення і вимірювальної лінії, тобто, вказують на зміну глибини вимірювання або вплив локальних неоднорідностей поблизу вимірювальних електродів [4].

Для визначення якості ізоляційного покриття і корозійної активності ґрунтів проводяться вимірювання поперечного градієнта захисного потенціалу технологічних трубопроводів з кроком 5 м по осі трубопроводу (установка MN = 5 м). Також застосовується метод "віддаленого електрода" (один з електродів розташовується за межами території майданчика з метою уникнення впливу електричних полів сусідніх технологічних трубопроводів і анодних зон, створених заземленнями установки катодного захисту). У місцях аномальних значень градієнта (при зростанні значень градієнта у 2-3 рази) виконуються детальні вимірювання (крок вимірювань зменшується до 1-2 м). Корозійна активність ґрунтів визначається за даними вимірювання питомого електричного опору ґрунту методом симетричного електричного профілювання.

Місце знаходження технологічних трубопроводів визначається за допомогою трасошукача "Спрут-5 м" з використанням частотного генератора. Також вимірюється глибина залягання технологічних трубопроводів кроком до 50 м і в місцях їх поворотів [3].

Результати електрометричних досліджень. Вертикальне електричне зондування виконувалося за межами майданчика автомобільної газонаповнювальної компресорної станції (АГНКС) "Харків-4" в місті Харків. При виконанні робіт використовувався прилад "Електротест-S" в режимі змінного струму з частотою 5 Гц, симетрично установкою з бронзовими вимірювальними електродами MN і сталевими живлячими АВ.

Кількісна інтерпретація ВЕЗ виконана за допомогою програмного продукту "IP12Win" (Рис. 1). За даними контрольних вимірів точність глибини горизонтів і вимірів позірних опорів повинна складати  $\pm 5\%$ .

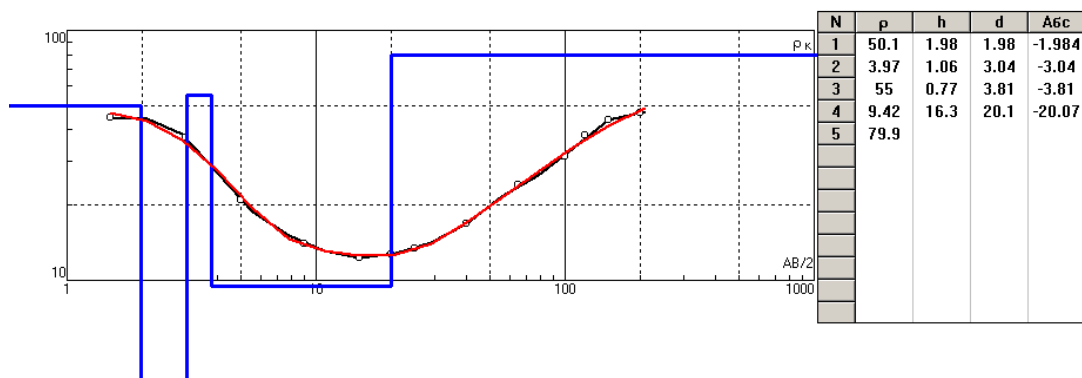


Рис 1. Кількісна інтерпретація кривої ВЕЗ

Інтерпретація отриманих даних дозволяє виділити наступні літологічні горизонти. Перший горизонт потужністю (h) 2 м представлений суглинком з домішками органічних речовин і має питомий електричний опір ( $\rho$ )

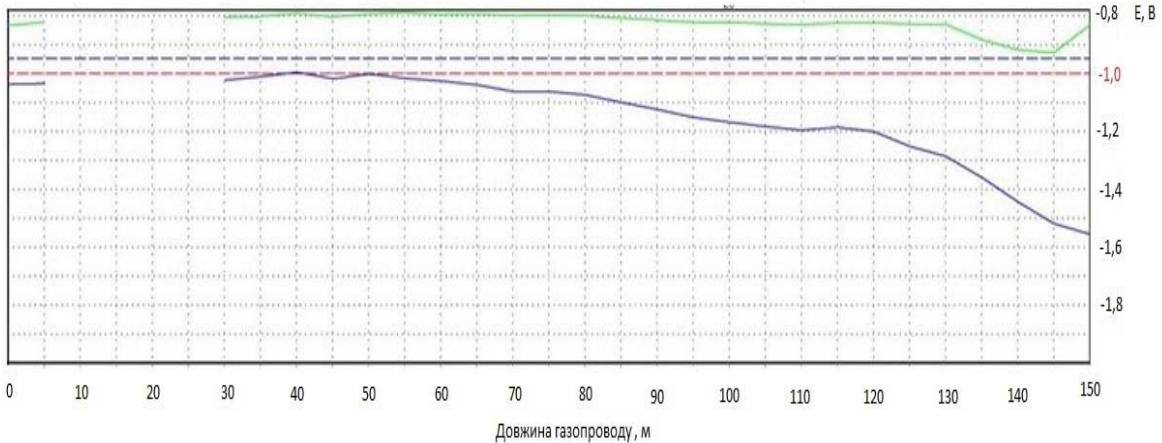
50 Ом\*м. Другий горизонт складений глинами (h=1 м,  $\rho$ =4 Ом\*м). Третій – суглинками (h=1 м,  $\rho$ =55 Ом\*м). Четвертий горизонт складений глинами (h=16 м,  $\rho$ =9 Ом\*м). П'ятий горизонт починається з глибини 20 м і представ-

лений зволоженими пісками та супісками з питомим електричним опором 80 Ом\*м. По геоелектричному розрізу ґрунту на глибину встановлено, що в даному районі досліджень для ефективної роботи системи ЕХЗ необхідно передбачати глибинне анодне заземлення (ГАЗ) з глибиною розміщення електродів в інтервалі 2-20 м

За результатами досліджень потенціалів і питомого електричного опору побудовано графіки представлені на рис. 2-4.

1) Графік розподілу потенціалу "труба-земля" (Рис. 2). Основним критерієм захищеності технологічних трубопроводів від ґрунтової корозії є значення захисного потенціалу "труба-земля" щодо мідно-сульфатного електрода порівняння (Cu / CuSO4):

- з омичною складовою – 900 мВ;
- по поляризаційному потенціалу – 850 мВ.

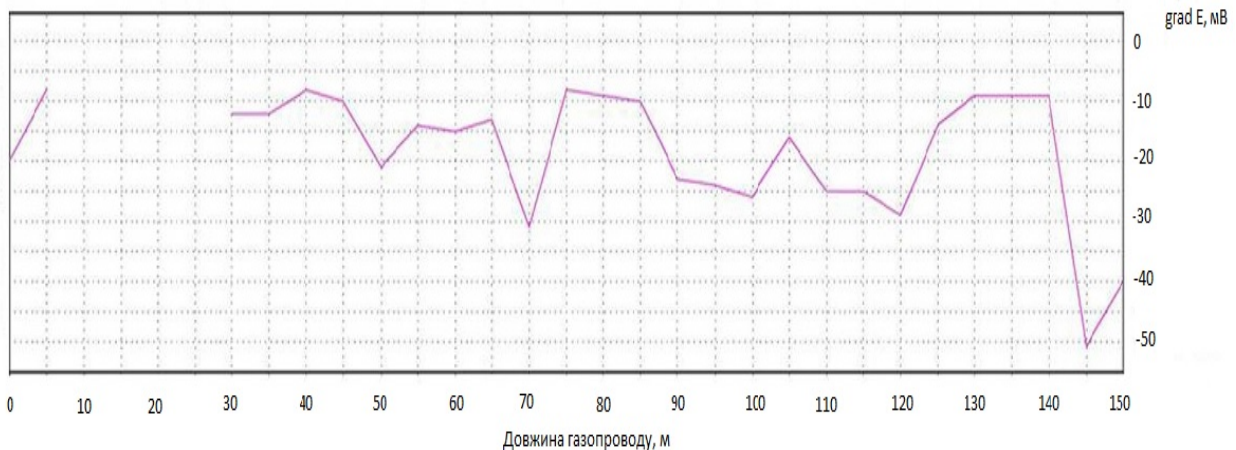


**Рис. 2. Графік розподілу потенціалу "труба-земля" на підвідному газопроводі АГНКС "Харків-4"**

Величина потенціалу "труба-земля" з омичною складовою змінюється в межах від – 0.996 до – 1.560 В. Величина поляризаційного потенціалу "труба-земля" змінюється в межах від – 0.785 до – 0.925 В. Захищеність підвідного газопроводу катодною поляризацією по довжині складала:

- з омичною складовою – 97%;
- по поляризаційному потенціалу – 0%.

2) Графік поперечного градієнт-потенціалу "земля-земля" (Рис. 3). Стан ізоляційного покриття технологічних трубопроводів визначається за величиною значень поперечного градієнта. Аналізуючи графік можна зробити висновок, що ізоляційне покриття підвідного газопроводу АГНКС "Харків-4" на контактах "труба-земля" знаходиться в задовільному стані.



**Рис. 3. Графік поперечного градієнт-потенціалу "земля-земля" на підвідному газопроводі АГНКС "Харків-4"**

3) Графік питомого електричного опору (визначення корозійної активності ґрунтів) (Рис. 4). Корозійна активність ґрунтів визначається за даними вимірювання питомого електричного опору ґрунту приладом "Ф-4103-М1" із симетричною установкою Венера. Цей параметр, по відношенню до металу технологічних трубопроводів, визначається відповідно до вимог ДСТУ 4219-2003 [3]. Основ-

ним виміром при цьому, є значення питомого електричного опору ґрунтів. За цим параметром ґрунти діляться:

- до 20 Ом\*м – ґрунти з високою корозійною активністю;
- від 20 Ом\*м до 50 Ом\*м – ґрунти з середньою корозійною активністю;
- більше 50 Ом\*м – ґрунти з низькою корозійною активністю.

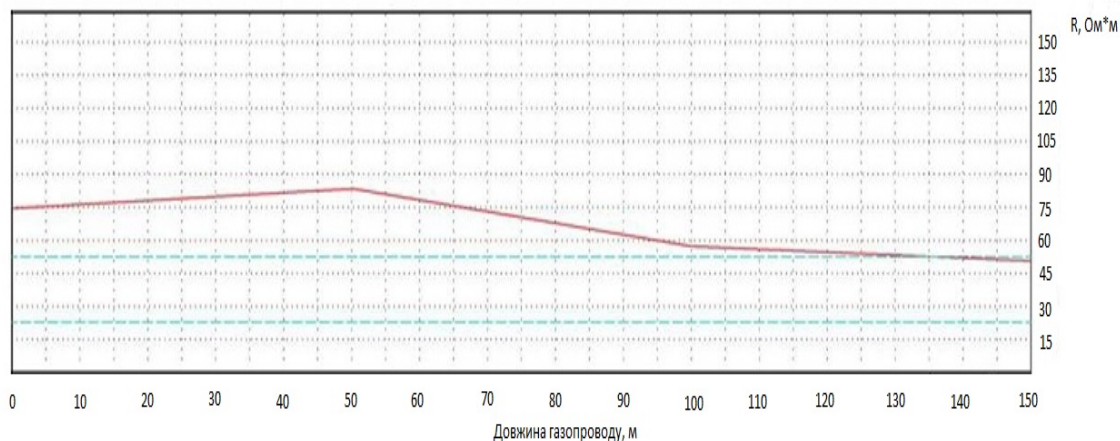


Рис. 4. Графік питомого електричного опору ґрунтів

Дослідженнями встановлено, що підвідний газопровід АГНКС "Харків-4" перебуває в ґрунтах з низькою і середньою корозійними активностями.

Висновки. Методи, розглянуті в даній статті, є оптимальними для визначення корозійних процесів, які впливають на трубопровідний транспорт. Для пошуку корозійних ділянок підвідного газопроводу АГНКС "Харків-4" проведено вимірювання поляризаційного потенціалу. Основним критерієм захищеності технологічних трубопроводів від ґрунтової корозії є розподіл потенціалу "труба – земля". За результатами методу симетричного електричного опору визначена корозійна активність ґрунтів, в котрих розташований газопровід. За допомогою методу вертикального електричного зондування побудовано геоелектричний розріз з метою вибору майданчика під анодне заземлення. Розглянуті методи в комплексі можуть, як доповнювати інженерні вишукування, так і бути застосовані при оцінці природних і техногенних умов середовища та для створення різноманітних статичних і динамічних моделей стану і розвитку геологічного середовища.

#### Список використаних джерел

1. Бекман В. Катодная защита от коррозии: справочн. издание / В. Бекман, В. Швенк. – М.: Металлургия, 1984. – 496 с.
2. Доклад "Рургаз" о состоянии катодной защиты от коррозии и о проблемах коррозии в газотранспортной сети стран СНГ. – 1996. – 61 с.
3. ДСТУ 4219–2003 "Трубопроводы сталеви магістральні загальні вимоги до захисту від корозії". – К.: Держстандарт України, 2003. – 72 с.
4. Мещеряков С. В. Влияние химико-микробиологических факторов в почвогрунте на коррозионные процессы в условиях Крайнего Севера / С. В. Мещеряков, О. В. Васина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – №8. – С. 11-15.
5. Розгонюк В.В. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів / В.В. Розгонюк, Ю.П. Гужов. – К.: Росток, 2000. – 286 с.
6. Трофимов В. Т. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду / В.Т. Трофимов, В.А. Королёв, А.С. Герасимова. – М.: Геоэкология, 1995. – С.129-130.

R. Hloba, PhD student

E-mail: hloba\_roman@ukr.net, +380931536202,

I. Zinchenko, student

E-mail: evandersar@ukr.net, +380639542486,

Y. Hloba, PhD student

E-mail: globa\_yaroslav@ukr.net, +380631682639,

O. Dziuba, PhD student

E-mail: geoinformatic@ukr.net, +380630407543

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

#### GEOPHYSICAL METHODS APPLICATION FOR PIPELINE TRANSPORT SYSTEMS

Set of geophysical methods to engineering surveys when designing and operating linear underground constructions of pipeline transport is proposed to apply.

The study allows to identify the area's best fitting for laying and operating the pipeline transport system. The paper provides a complex of geophysical methods to guarantee safety standards on the pipeline transport systems when affected by natural and anthropogenic hazards.

7. Bobachev A. Study of working and projected pipelines with electrical methods / A. Bobachev // Electromagnetic Fields and Our Health. – 1998. – №9 – P. 127-131.

8. Ekine A. S. Investigation of Corrosion of Buried Oil Pipeline by the Electrical Geophysical Methods / A.S. Ekine, G.O. Emujakporue // J. Appl. Sci. Environ. Manage. – 2010. – №14. – p. 63–65.

9. Ivanik O. Numerical modeling of geological environment impact on the pipelines / O. Ivanik, M. Lavrenyuk, V. Shevchuk // Earthdoc, 2009.

10. Ivanik O. Complex technique of the comprehensive assessment of the hazardous geological processes impact on the nature-technical systems / O. Ivanik, M. Lavrenyuk, V. Shevchuk. // Abstracts of 10-th International Conference "Geoinformatics: theoretical and Applied Aspects", 10-13 May, 2011. – Kiev, 2011.

#### References

1. Bekman, V., Shvenk, V. (1984) Katodnaya zaschita ot korrozii. Metallurgiya, 45-48. [in Russian].
2. Doklad "Rurgaz" o sostoyanii katodnoy zaschityi ot korrozii i o problemah korrozii v gazotransportnoy seti stran SNG. (1996). [in Russian].
3. DSTU 4219–2003 "Truboprovody stalevi mahistralni zahalni vymohy do zakhystu vid korozii". (2003). Derzhstandart Ukrainy, 72. [in Ukrainian].
4. Mescheryakov, S.V., Vasina, O.V. (2009). Vliyanie himiko-mikrobiologicheskikh faktorov v pochvogrunte na korroziionnye protsessy v usloviyah Kraynego Severa. Zashchita okruzhayushey sredy i neftegazovom komplekse, 8, 11-15. [in Russian].
5. Rozghoniuk, V.V., Huzhov, Iu.P. (2000). Tekhnichna ekspluatatsiia system zakhystu vid pidzemnoi korozii mahistralnykh hazoprovodiv. K.: Rostok, 286. [in Ukrainian].
6. Trofimov, V. T., Korolov, V. A., Gerasimova, A. S. (1995). Klassifikatsiya tehnogennykh vozdeystviy na geologicheskuyu sredu. M.: Geoekologiya, 5, 96-107. [in Russian].
7. Bobachev, A. (1998). Study of working and projected pipelines with electrical methods. Electromagnetic Fields and Our Health.9, 127-131.
8. Ekine, A. S., Emujakporue, G.O. (2014). Investigation of Corrosion of Buried Oil Pipeline by the Electrical Geophysical Methods . O. J. Appl. Sci. Environ. Manage, 14, 63–65.
9. Ivanik, O., Lavrenyuk, M., Shevchuk, V. (2009). Numerical modeling of geological environment impact on the pipelines. Earthdoc.
10. Ivanik, O., Lavrenyuk, M., Shevchuk, V. (2011). Complex technique of the comprehensive assessment of the hazardous geological processes impact on the nature-technical systems. Abstracts of 10-th International Conference "Geoinformatics: theoretical and Applied Aspects", 10-13 May. Kiev.

Надійшла до редколегії 16.11.16

*During implementation of this study, the feasibility of using digital satellite images for monitoring of pipeline transport facilities was confirmed. The paper proposes the application of complex of traditional electrical methods to the pipeline transportation system, the latter being typified as a complex engineering construction.*

*Electrical methods, such as vertical electrical sounding, symmetrical electrical profiling, gradient potential method and self potential method were used to identify possible areas of corrosion on the underground pipeline of filling station "Kharkiv-4".*

*The low apparent resistivity and high negative spontaneous potential values indicate that the soil is very corrosive and it is possible to have the pipeline failure in the future. Electrical geophysical investigations along buried pipelines should be undertaken for the early detection and prevention of pipeline failure with its negative environmental and economic consequences.*

*Keywords: corrosion, pipeline systems, engineering surveys, VES, SEP, the method of "remote electrode", measuring potential gradient.*

Р. Глоба, асп.

E-mail: hloba\_roman@ukr.net, +380931536202,

И. Зинченко, студ.

E-mail: evandersar@ukr.net, +380639542486,

Я. Глоба, асп.

E-mail: globa\_yaroslav@ukr.net, +380631682639,

О. Дзюба, асп.

E-mail: geoinformatic@ukr.net, +380630407543

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, Киев, 03022, Украина

### ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАСС ТРУБОПРОВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

*Предложено использование комплекса геофизических и дистанционных исследований для инженерных изысканий при проектировании и эксплуатации линейных подземных сооружений трубопроводного транспорта.*

*Показана возможность выбора участков для строительства и эксплуатации трубопроводных транспортных систем. Подтверждена эффективность комплексного применения геофизических методов при обосновании мер защиты трубопроводных транспортных систем от воздействия природных и техногенных процессов.*

*Для определения возможных участков коррозии на подземном входящем газопроводе автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) "Харьков-4" проведены исследования методами электроразведки: ВЭЗ (вертикальное электрическое зондирование), "удаленного электрода", измерения градиент потенциала и СЭП (симметрическое электрическое профилирование).*

*Низкое кажущееся сопротивление и высокие отрицательные значения потенциала являются признаками того, что грунты подвержены коррозии и есть вероятность повреждения трубопровода в будущем. Подтверждено, что электрические геофизические исследования вдоль трасс подземных трубопроводов следует проводить для раннего выявления и профилактики повреждений трубопровода, которые могут сопровождаться негативными экологическими и экономическими последствиями.*

*Ключевые слова: коррозия, трубопроводные транспортные системы, ВЭЗ, СЭП, метод "удаленного электрода", измерения градиент потенциала, дистанционный мониторинг.*