

УДК 550.374

**Р.Н. Глоба, Е.М. Иваник, Я.Н. Глоба, С.А. Выжва**

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка, УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, Киев 03022, Украина, e-mail: november90@mail.ru, om.ivanik@gmail.com, globa\_yaroslav@ukr.net, vsa@univ.kiev.ua*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТРУБОПРОВОДНО-ТРАНСПОРТНЫЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ**

В соответствии с природой воздействия геологической среды на трубопроводные системы выделяются физические, физико-химические и химические типы влияния. Существенным физико-химическим процессом, влияющим на функционирование трубопроводно-транспортных систем, является коррозия. Защита трубопроводных систем от коррозии может быть успешной при своевременном выявлении коррозионных разрушений, определении их величины и выборе защитных мер. При выявлении коррозионных участков значительную роль играют геофизические исследования. Установлены оптимальные методы определения коррозионной активности грунтов, из которых наиболее перспективны и информативны методы электрометрических исследований. Для определения возможных участков коррозии на подземном входящем газопроводе автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) "Киев-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 подземных трубопроводов следует проводить для раннего выявления и профилактики повреждений трубопровода с негативными экологическими и экономическими последствиями.

**Ключевые слова:** коррозия, трубопроводно-транспортные системы, АГНКС, ВЭЗ, СЭП, метод "удаленного электрода", измерения градиент-потенциала.

**Вступление.** Исследования, связанные с оценкой качественного и количественного влияния геологической среды и опасных геологических процессов на транспортные природно-техногенные системы, требуют обязательного детального анализа этих воздействий, их структурной и функциональной типизации и классифицирования. В начальный период

эксплуатации состояние трубопровода определяется качеством проектирования и строительства. В процессе работы изменение технического состояния транспортной магистрали происходит под влиянием эксплуатационных факторов, ведущим из которых и является коррозия. Этот физико-химический процесс обусловлен, главным образом, электрохимическими реакциями окисления металла при взаимодействии с влагой, при которых металл, изменяясь на ионном уровне, исчезает с поверхности сооружения [3, 5].

**Электрометрические исследования выявления коррозионных процессов газотранспортных систем.** Коррозия металла труб происходит как снаружи под воздействием почвенного электролита (в почве всегда находятся влага и растворенные в ней соли), так и внутри вследствие наличия примесей влаги, сероводорода и солей, содержащихся в транспортируемом углеводородном сырье. Коррозия металлических сооружений наносит большой материальный и экономический ущерб. Она приводит к износу агрегатов, установок, трубопроводов, сокращает межремонтные сроки оборудования, вызывает дополнительные потери транспортируемого материала [6]. При подземной прокладке стальные трубопроводы подвергаются грунтовой коррозии. В почвах почти всегда содержатся соли, кислоты, щелочи и органические вещества, которые вредно воздействуют на стенки стальных труб. В некоторых случаях такая коррозия может вызвать сквозные свищи в металле трубы и этим вывести трубопровод из строя, подобные разрушения происходят особенно часто в трубопроводах, уложенных без защиты от коррозии [1, 4].

При электрохимической защите подземных трубопроводов выполняются измерения, в частности разности потенциалов труба–земля; поляризационного потенциала на трубопроводе; коррозионной активности грунтов; состояния изоляционного покрытия. Перечисленные измерения позволяют оценить остаточный эксплуатационный ресурс труб с учетом эффекта старения металла [2].

Ниже представлена технология проведения электрометрических методов по выявлению коррозионных участков газотранспортной системы на примере автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) “Киев-4”.

Методика выявления коррозионных участков газопровода, коррозионной активности грунтов и выбора площадки под анодное заземление предусматривала:

- рекогносцировку трубопроводов и технологических сооружений на местности с разметкой точек измерений на площадке АГНКС;
- измерение потенциалов труба–земля подземных газопроводов на пунктах измерения (ПВ), кранах и других доступных местах для определения состояния защищенности катодной поляризацией промплощадки АГНКС;
- измерение продольного потенциала труба–земля для определения защищенности катодной поляризацией по длине газопровода и поперечного градиента электрического поля шагом 5 м для выяснения качества изоляционного покрытия коммуникаций;
- измерение глубины залегания технологических трубопроводов;
- измерение удельного электрического сопротивления грунтов методом симметричного электрического профилирования в пределах площадки АГНКС;
- выполнение вертикального электрического зондирования земли (ВЭЗ) на глубину до 100 м с целью выбора площадки под анодное заземление.

Для вывода результатов исследований применялись программные продукты IPI2WIN и AutoCAD.

Методика вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) предполагает измерение удельного сопротивления установкой, в которой расстояние между питающими электродами постоянно увеличивается от одного замера к другому. Конечный результат зондирования – кривая зависимости  $\rho$  от разноса питающей линии.

Зондирование выполняется несколькими измерительными линиями, размер которых изменяется в зависимости от расстояния между питающими электродами. Это позволяет при технически возможных значениях силы тока в цепи питающих электродов обеспечить в измерительной линии достаточно широкую возможность для уверенного измерения разности потенциалов. При переходах от одной измерительной линии к другой измерения  $\rho$  выполняются при двух смежных значениях разносов  $MN$ . Последовательность измерительных разносов питающих и измерительных линий обычно выбирается стандартным и устанавливается действующей инструкцией по выполнению электроразведочных работ.

По измеренным значениям  $\rho$  непосредственно в поле строится график ВЭЗ, отражающий зависимость  $\rho$  от величины половины разноса питающей линии, в двойном логарифмическом масштабе с модулем,

равным 6,25 см. Участки кривой, полученные различными измерительными линиями, отображаются на графике в виде отдельных отрезков. Разрывы между отрезками оказывают на изменение расстояния между электродами питания и измерительной линии, т. е. изменение глубины измерения, или влияние локальных неоднородностей, находящихся вблизи измерительных электродов. Если расстояние между концами отрезков кривой ВЭЗ превышает 10 %, рекомендуется немного сместить центр зондирования и повторить измерения [1].

Вертикальное электрическое зондирование проводилось за пределами площадки АГНКС “Киев-4”. При выполнении работ использовался прибор “Электротест-S” в режиме переменного тока с частотой 5 Гц, с симметричной установкой с бронзовыми измерительными электродами *MN* и стальными питающими электродами *AB*. Максимальный разнос линии питания электродов *AB* составил 200 м.

Количественная интерпретация ВЭЗ выполнялась с помощью программного продукта IPI2Win (рис. 1). По данным контрольных измерений точность глубины горизонтов и кажущегося сопротивления составляет  $\pm 2,1$  %.

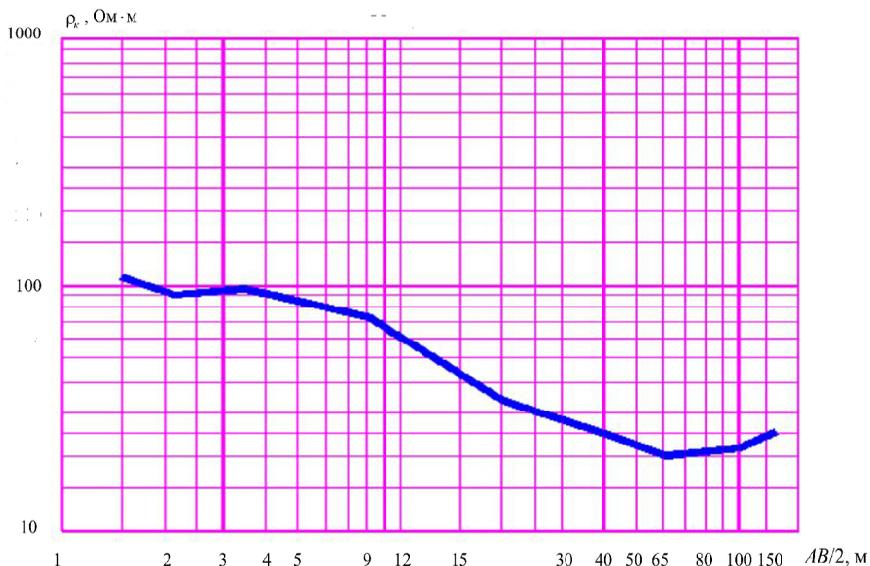


Рис. 1. Количественная интерпретация кривой ВЭЗ

Интерпретация полученных данных позволила выделить следующие литолого-стратиграфические горизонты: первый (мощность  $h = 0,9$  м; удельное электрическое сопротивление  $\rho = 130$  Ом·м) представлен насыпным грунтом; второй ( $h = 0,8$  м;  $\rho = 43,5$  Ом·м) – суглинком (vd P<sub>III</sub>bz); третий ( $h = 1,5$  м;  $\rho = 330$  Ом·м) – песками (f P<sub>II</sub>dn); четвертый ( $h = 18$  м;  $\rho = 27$  Ом·м) – наслоением суглинков и пестрых глин (g P<sub>II</sub>dn); пятый ( $\rho = 5$  Ом·м) – пестрыми глинами (N<sub>1-2</sub>sg).

Для определения качества изоляционного покрытия и коррозионной активности грунтов измеряется поперечный градиент защитного потенциала технологических трубопроводов с шагом 5 м по оси трубопровода (установка  $MN = 5$  м). Применяется также метод “удаленного электрода” (один из электродов располагается за пределами территории площадки АГНКС с целью избежать влияния электрических полей соседних технологических трубопроводов и анодных зон, созданных заземлениями установки катодной защиты (УКЗ)). В местах аномальных значений градиента (значения градиента увеличивались в 2–3 раза) выполнялись детальные измерения (шаг измерений уменьшался до 1–2 м).

Коррозионная активность грунтов на площадке АГНКС определялась по данным измерения удельного электрического сопротивления грунта прибором Ф-4103-М1, с симметричной установкой Веннера при двух разностях электродов:  $a = 3$  м и  $a = 2$  м.

Место нахождения технологических трубопроводов площадки АГНКС определялось с помощью трассоискателя Спрут-5м с использованием частотного генератора, измерялась глубина залегания технологических трубопроводов шагом до 50 м и в местах их поворотов.

По результатам исследований построены графики потенциалов и удельного электрического сопротивления. На рис. 2 отоброжено распределение потенциала труба–земля. Основным критерием защищенности технологических трубопроводов площадки АГНКС от почвенной коррозии в соответствии с требованиями ДСТУ 4219-2003 было значение защитного потенциала труба–земля относительно медно-сульфатного электрода сравнения (Cu/CuSO<sub>4</sub>):

- $-0,9$  В с омической составляющей;
- $-0,85$  В по поляризационному потенциалу.

На рис. 3 представлен график поперечного градиент-потенциала земля–земля. Состояние изоляционного покрытия технологических трубопроводов определялось по значениям поперечного градиента.

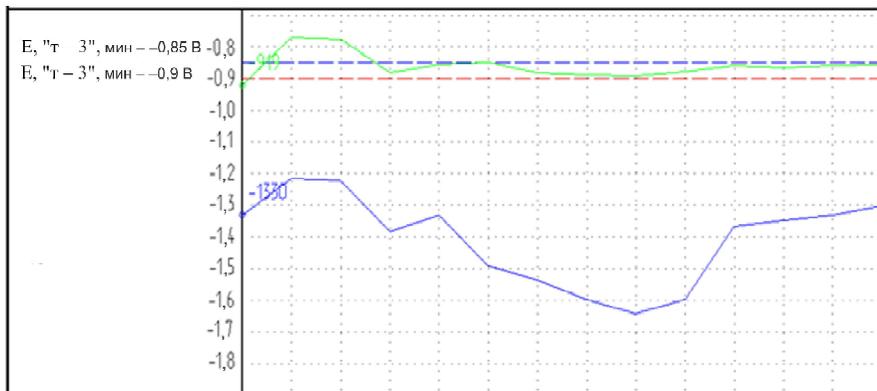


Рис. 2. Изменение потенциалов труба–земля

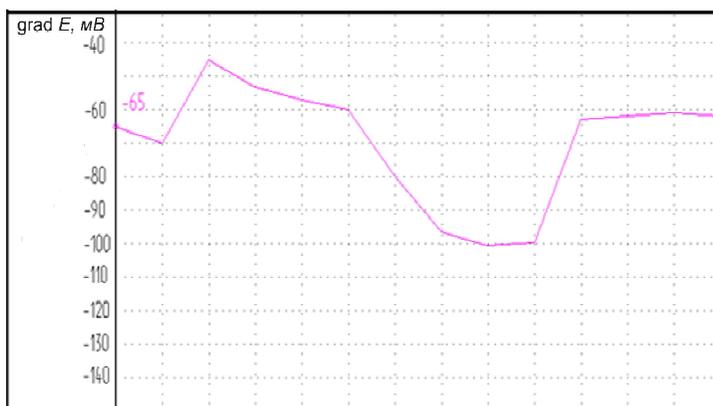


Рис. 3. Изменение поперечного градиента-потенциала земля–земля вдоль газопровода

На рис. 4 показано изменение удельного электрического сопротивления (определение коррозионной активности грунтов). Коррозионная активность грунтов на площадке АГНКС определялась по данным измерения удельного электрического сопротивления грунта прибором Ф-4103-М1, с симметричной установкой Веннера при двух разносах электродов 3 и 2 м. Коррозионная активность почв по отношению к металлу технологических трубопроводов определяется в соответствии с требованиями ДСТУ 4219-2003. Основным параметр – удельное электрическое сопротивление грунтов. По значениям  $\rho$  выделены почвы с коррозионной активностью: высокой – до 20 Ом·м; средней – от 20 до 50 Ом·м; низкой – более 50 Ом·м.

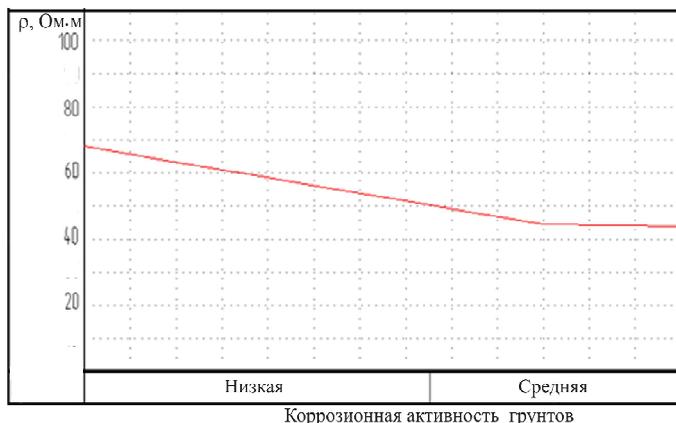


Рис. 4. Изменение удельного электрического сопротивления

По результатам ВЭЗ второй горизонт, представленный суглинком (vd P<sub>III</sub> bz), – наиболее оптимален для выбора площадки под анодное заземление.

**Выводы.** Коррозионные процессы, имеющие физико-химическую природу, – наиболее неблагоприятные факторы влияния геологической среды на функционирование трубопроводных систем. По результатам проведенных исследований для определения коррозионной активности ґрунтов наиболее перспективны и информативны методы электрометрических исследований. Технология электрометрических исследований апробирована на примере АГНКС “Киев-4”. Установлено, что по данным измерений удельного электрического сопротивления газопровод находится в почвах с низкой и средней коррозионной активностью. Согласно графикам потенциала труба – земля определяется защитный потенциал с омической составляющей вдоль всей длины газопровода. По результатам измерений поляризационный потенциал составляет ниже минимальной нормы (–0,85 В). Данная проблема может привести к коррозии и дальнейшему ухудшению состояния трубопровода, что требует проведения дополнительных превентивных мер.

1. Бекман В. Катодная защита от коррозии: справоч. 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. 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.
4. Розгонюк В.В. Технічна експлуатація систем захисту від підземної корозії магістральних газопроводів / В.В. Розгонюк, Ю.П. Гужов. – К.: Росток, 2000. – 280 с.
5. Трофимов В.Т. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду / В.Т. Трофимов, В.А. Королёв, А.С. Герасимова // Геоэкология. – 1995. – № 5. – С. 96–107.
6. 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. Manag. – 2010. – V. 14, No. 1. – P. 63–65.

### **Оцінка впливу корозійних процесів на трубопровідно-транспортні природно-техногенні системи за даними електрометрії**

Р.М. Глоба, О.М. Іванік, Я.М. Глоба, С.А. Вижва

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ “Інститут геології”, вул. Васильківська, 90, Київ 03022, Україна,  
e-mail: november90@mail.ru, om.ivanik@gmail.com, globa\_yaroslav@ukr.net,  
vsa@univ.kiev.ua*

Відповідно до природи впливу геологічного середовища на трубопровідні системи виділяють фізичні, фізико-хімічні та хімічні типи процесів. Значним фізико-хімічним процесом, що впливає на функціонування трубопровідно-транспортних систем, є корозія. Успішний захист трубопровідних систем від корозії може бути здійснений за своєчасного виявлення корозійних руйнувань, визначення їх величини і вибору захисту. Під час виявлення корозійних ділянок істотну роль відіграють геофізичні дослідження. Встановлено оптимальні методи визначення корозійної активності ґрунтів, з яких найперспективнішими та інформативнішими є методи електрометричних досліджень. Для визначення можливих ділянок корозії на підземному вхідному газопроводі автомобільної газонаповнювальної компресорної станції (АГНКС) “Київ-4” проведено 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, трубопровідно-транспортні системи, АГНКС, ВЕЗ, СЕП, метод “віддаленого електрода”, вимірювання градієнт-потенціалу.

### **Assessment of the corrosion processes impact on the pipeline natural-technical systems by the electrical methods**

R.N. Hloba, E.M. Ivanik, Ya.N. Hloba, S.A. Vyzhva

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, 90 Vasylkivska Str., Kyiv 03022, Ukraine, e-mail: november90@mail.ru, om.ivanik@gmail.com, globa\_yaroslav@ukr.net, vsa@univ.kiev.ua*

Physical, physics-chemical and chemical types of influence are defined as a result of the impact of geological environment on the pipeline system. Corrosion is significant physical and chemical process that affect on the functioning of the pipeline transporting systems. Successful protection of pipeline systems may be effected at timely detection of corrosion damage, determining of its size and choice of protective measures. Geophysical investigations are the most important among the various methods that used to identify areas of corrosion. Electrical geophysical investigations are most informative among the optimal methods to determine the corrosion activity of soils. 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 "Kiev-4". The low apparent resistivity and high negative spontaneous potential values are indicated that the soil is very corrosive and there is the possibility of 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 system, filling station, VES, SEP, the method of "remote electrode", self-potential method, gradient potential method.

*Поступила в редакцію 19.06.2015 г.*