

УДК 620.197

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ПОЧВЫ НА ЕЕ КОРРОЗИОННОСТЬ В ЗОНЕ ПРОКЛАДКИ
ТРУБОПРОВОДА**

**STUDY OF SOIL RESISTANCE INFLUENCE ON ITS CORROSION
IN THE PIPING AREA**

Х.М. Насиров

**Государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики,
г. Баку, Азербайджанская Республика**

Habib M. Nasirov

State Oil Company of Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan Republic

e-mail: nasirovhabib@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию влияния удельного сопротивления почвы на ее коррозионность в зоне прокладки трубопровода. Отмечается, что удельное сопротивление почвы является важнейшим показателем, определяющим коррозионную способность почвы. С учетом пространственной неоднородности удельного сопротивления почвы введен в рассмотрение новый показатель, определяющий интегральную оценку произведения удельного сопротивления почвы на длину ветви трубопровода. Составлена и решена задача оптимизации вновь введенного показателя с учетом ограничительного условия, налагаемого на фактическую функциональную зависимость между удельным сопротивлением и длиной трассы. На основе полученного решения сформулирована рекомендация, согласно которой для достижения эффективного функционирования трубопровода следует создать условия,

исключающие линейную зависимость изменения удельного сопротивления почвы по длине трассы трубопровода.

Abstract. The article is devoted to the study of soil resistance influence on its corrosion in the piping area. It is noted that the soil resistivity is the most important indicator that determines the soil corrosive capacity. Due to the spatial inhomogeneity of soil resistivity, a new indicator that determines the integral estimate of the product of soil resistivity by the length of the pipeline branch was introduced. The problem of optimizing the newly introduced indicator was compiled and solved, taking into account the restrictive condition imposed on the actual functional relationship between the resistivity and the length of the route. On the basis of the obtained solution, a recommendation was formulated according to which, in order to achieve the effective functioning of the pipeline, the directly proportional linear law of change in soil resistivity along the length of the pipeline route should be excluded.

Ключевые слова: трубопровод; коррозионность; удельное сопротивление; почва; оптимизация

Key words: pipeline; corrosiveness; resistivity; soil; optimization

Введение

Как отмечается в работе [1], трубопроводы проектируются на период функционирования более 50 лет. Однако такие факторы, как старение, неправильное техническое обслуживание, повреждение защитных покрытий и др. приводят к уменьшению срока службы подземных трубопроводов. Например, в Австралии на каждый год происходит до 20 поломок на подземный трубопровод длиной 100 км [2]. Основные факторы, влияющие на нормальное функционирование трубопровода, показаны на рисунке 1.

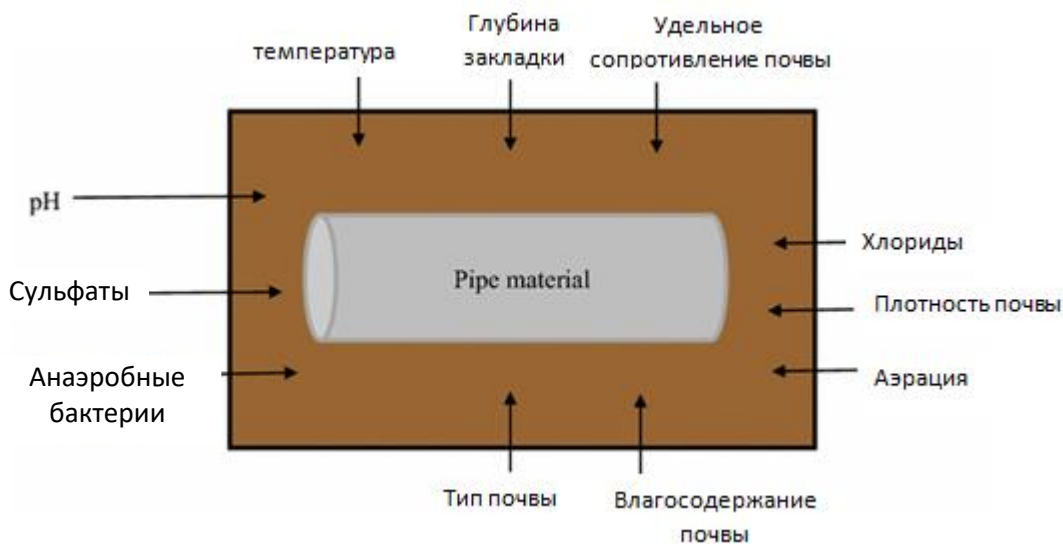


Рисунок 1. Основные факторы, влияющие на коррозионность подземных трубопроводов

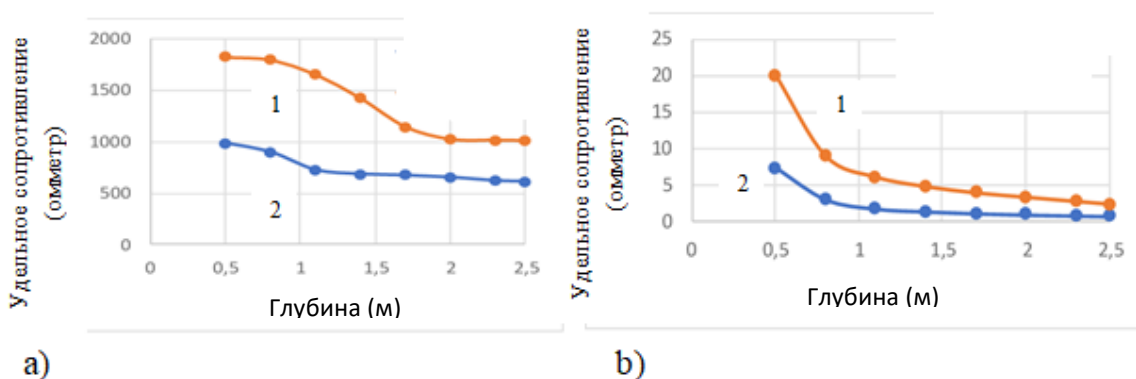
Как видно из рисунка 1, существует достаточно большое количество факторов, влияющих на коррозионность почвы. Вместе с тем, можно выделить среди них такой основной фактор, который, характеризуя свойства почвы, частично зависит от других, указанных на рисунке 1, факторов. Таким фактором, удельное сопротивление почвы, согласно [3], зависит от геологических и метеорологических факторов. Удельное сопротивление почвы в первую очередь зависит от влагосодержания и химического содержания, пористости, проводимости, температуры и типа самой почвы.

Согласно работе [4], линейное многофакторное регрессионное уравнение, связывающее удельное сопротивление с воздействующими на него факторами, имеет вид:

$$y = a_1 - a_2x_1 - a_3x_2 - a_4x_3, \quad (1)$$

где y – удельное сопротивление почвы верхнего слоя толщиной 30 см; x_1 – влагосодержание почвы (в процентах по весу); x_2 – содержание солей в почве (почва : водный экстракт = 1 : 2,5); x_3 – плотность почвы (г/см³); $a_1 = 16,88739536$; $a_2 = 1,53579677$; $a_3 = 6,503447218$; $a_4 = 25,02988756$.

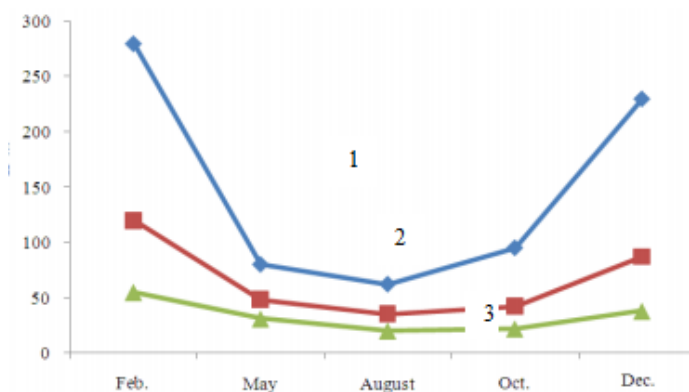
Что касается зависимости удельного сопротивления от глубины залегания исследуемого слоя почвы, то здесь существует однозначная закономерность уменьшения удельного сопротивления с увеличением глубины (рисунок 2) [5].



1 – сухая почва; 2 – влажная почва

Рисунок 2. Зависимости удельного сопротивления почвы, взятой в Южной Африке с местностей с географическими координатами (30.0210°S и 30,8665°E) (a) и (29°51'09" S и 31°0'13" E) (b)

Сезонно-метеорологические факторы также значительно влияют на удельное сопротивление почвы. Это отчетливо видно на графиках, показанных на рисунке 3 [6].



глубины: 1 – 0,5 м; 2 – 0,8 м; 3 – 1,2 м

Рисунок 3. Зависимости удельного сопротивления почвы от времени года и глубины слоя (измерения были проведены в Нигерии, в местечке Очбис, в 2008 г.)

Как видно из графиков, представленных на рисунке 3, в прибрежном регионе, где проводились исследования с февраля по август, удельное сопротивление уменьшается, а в течение периода сентябрь-декабрь – растет. При этом с увеличением глубины происходит уменьшение удельного сопротивления почвы.

Целью настоящей статьи является исследование интегрированного влияния удельного сопротивления почвы на степень потенциальной коррозионности трубопровода. Для оценки такого влияния вводится новый интегральный показатель коррозионности почвы применительно к некоторому отрезку трубопровода и ставится задача исследования условий достижения экстремума этого показателя.

Предлагаемый метод

Предварительно рассмотрим результаты исследований зависимости степени коррозионности от удельного сопротивления почвы, проведенных в [7]. Согласно этой работе, чем меньше удельное сопротивление почвы, тем более коррозионна почва, что подтверждается данными таблицы 1.

Таблица 1. Зависимость уровня коррозионности почвы от удельного сопротивления

Удельное сопротивление почвы (Ом·см)	Уровень коррозионности
> 20,000	некоррозионна
10000–20000	слегка коррозионна
5000–10000	умеренно коррозионна
3000–5000	коррозионна
1000–3000	высоко коррозионна
< 1000	слишком коррозионна

Вышеизложенная многофакторная зависимость удельного сопротивления почвы позволяет в первом приближении сформировать

модельное ограничительное условие на пространственное распределение этого показателя в виде:

$$\int_0^{R_{mfx}} \rho(R) dR = c : c = const, \quad (2)$$

где R – геометрическая координата, взятая по любому азимутному углу.

Считаем, что свойство (2) обладает изотропностью, т.е. верно в любом направлении прокладки трубопровода.

Далее воспользуемся результатами исследований, проведенных в [7], по выяснению зависимости уровня коррозионности от удельного сопротивления почвы при различных временных интервалах. На рисунке 5 приведена усредненная кривая указанной зависимости [7].

Согласно [7], между указанными показателями существует следующее соотношение:

$$Z = -0,014 \ln \rho + 0,2383. \quad (3)$$

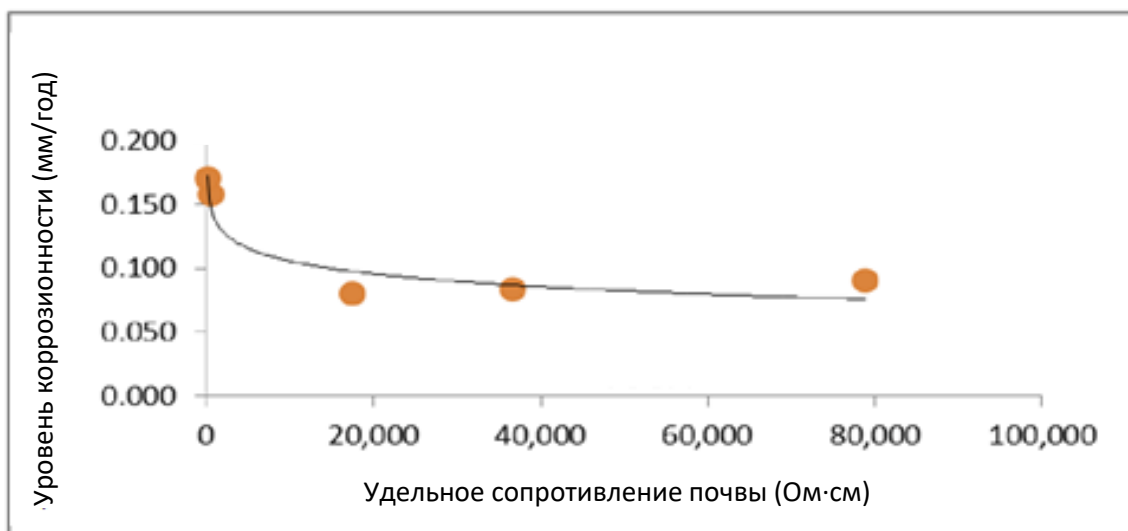


Рисунок 5. Усредненная кривая зависимости уровня коррозионности почвы от удельного сопротивления почвы (Z – уровень коррозионности (мм/год); Y – удельное сопротивление почвы (Ом·см))

Введем в рассмотрение интегральную оценку коррозионности в виде:

$$\alpha(\rho(R)) = \int_0^{R_m} R \cdot Z(\rho(R)) dR. \quad (4)$$

Показатель (4) является интегральной величиной умножения двух величин R и Z . Логически ясно, что иметь высокое значение произведения RZ нам невыгодно, так как это означало бы высокую коррозионность большой ветви трубопровода. Следовательно, можно ставить задачу минимизации (4) с учетом ограничительного условия (2). Таким образом, можно составить следующую задачу безусловной вариационной оптимизации:

$$Z_1 = \int_0^{R_{\max}} R[-0,014 \ln \rho(R) + 0,2383] dR + \lambda \left[\int_0^{R_{\max}} \rho(R) dR - C \right], \quad (5)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Решение оптимизационной задачи (5) может быть дано на основе уравнения Эйлера-Лагранжа [8].

Решение оптимизационной задачи

Согласно [8], решение задачи (5) должно удовлетворять условию

$$\frac{\partial \{R[-0,014 \ln \rho(R) + 0,2383] + \lambda[\rho(R) - C]\}}{\partial \rho(R)} = 0. \quad (6)$$

Из условия (6) получаем

$$\frac{0,014R}{\rho(R)} + \lambda = 0. \quad (7)$$

Из выражения (7) находим

$$\rho(R) = -\frac{0,014R}{\lambda}. \quad (8)$$

С учетом выражений (2) и (8) получаем

$$-\int_0^{R_{\max}} \frac{0,014R}{\lambda} dR = C. \quad (9)$$

Из равенства (9) находим

$$\lambda = -\frac{0,014 R_{\max}^2}{2C}. \quad (10)$$

С учетом выражений (7) и (10) получим

$$\frac{0,014R}{\rho(R)} = \frac{0,014 R_{\max}^2}{2C}. \quad (11)$$

Из (11) находим

$$\rho(R) = \frac{2CR}{R_{\max}^2}. \quad (12)$$

Таким образом, при выполнении условия (12) вновь введенный показатель (4) достигает экстремума. Для определения типа экстремума вычислим величину θ , где θ – вторая производная интегранта (5) по $\rho(R)$:

$$\theta = \frac{\partial \left[\frac{0,014R}{\rho(R)} + \lambda \right]}{\partial \rho(R)}. \quad (13)$$

Поскольку значение θ отрицательное, то можно заключить, что при решении (12) показатель ε достигает максимума.

Таким образом, отсюда следует эвристический вывод о том, что в реальном режиме для эффективного функционирования трубопровода необходимо исключить влияние функциональной зависимости (12) между ρ и R .

Вывод

Удельное сопротивление почвы является важнейшим показателем, определяющим коррозионную способность почвы. Введен в рассмотрение новый комбинированный показатель, определяющий интегральную

коррозионность почвы в зоне прокладки трубопровода, представляющий собой перемножение длины трубопровода и удельного сопротивления почвы. Составлена и решена задача оптимизации вновь введенного показателя с учетом ограничительного условия, наложенного на функцию изменения удельного сопротивления почвы по трассе трубопровода. На основе полученного решения сформулирована рекомендация, согласно которой для достижения бездефектного функционирования трубопровода следует создать условия, исключая изменение удельного сопротивления почвы по длине трассы трубопровода.

Список используемых источников

1. Belmonte H., Mulheron M., Smith P., Ham A., Wescombe K., Whiter J. Weibull-Based Methodology for Condition Assessment of Cast Iron Water Mains and its Application // Fatigue and Fracture Engineering Materials and Structures. 2008. Vol. 31. Issue 5. P. 370-385. DOI: 10.1111/j.1460-2695.2008.01233.x.
2. Hou Y., Deqing L., Li S., Yang W., Li C.Q. Experimental Investigation on Corrosion Effect on Mechanical Properties of Buried Metal Pipes // International Journal of Corrosion. 2016. Vol. 2016. ID 5808372. DOI: 10.1155/2016/5808372.
3. Kizilo M., Kanbergs A. The Causes of the Parameters Changes of Soil Resistivity // Electrical, Control and Communication Engineering. 2009. Vol. 25: Issue 25. P. 43-46. DOI: 10.2478/v10144-009-0009-z.
4. Swileam G.S., Shahin R.R., Nasr H.M., Essa Kh.S. Assessment of Soil Variability Using Electrical Resistivity Technique for Normal Alluvial Soils, Egypt // Plant Archives. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 905-912.
5. Malanda S.C., Davidson I.E., Buraimoh E., Analysis of Soil Resistivity and Its Impact on Grounding Systems Design // Power Engineering Society, PowerAfrica: Materials of IEEE Conference and Exposition in Africa. Cape Town, South Africa. 2018. P. 324-329. DOI: 10.1109/PowerAfrica.2018.8520960.

6. Afa J.T., Anaele C.M. Seasonal Variation of Soil Resistivity and Soil Temperature in Bayelsa State // *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2010. Vol. 3. No. 4. P. 704-709. DOI: 10.3844/ajeassp.2010.704.709.

7. Lim K.S., Nordin Y., Siti R.O., Siti N.F., Norhazilan M.N. The Relationship between Soil Resistivity and Corrosion Growth in Tropical Region // *Journal of Corrosion Science and Engineering*. 2013. Vol. 16. P. 1-11.

8. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.

References

1. Belmonte H., Mulheron M., Smith P., Ham A., Wescombe K., Whiter J. Weibull-Based Methodology for Condition Assessment of Cast Iron Water Mains and its Application. *Fatigue and Fracture Engineering Materials and Structures*, 2008, Vol. 31, Issue 5, pp. 370-385. DOI: 10.1111/j.1460-2695.2008.01233.x.

2. Hou Y., Deqing L., Li S., Yang W., Li C.Q. Experimental Investigation on Corrosion Effect on Mechanical Properties of Buried Metal Pipes. *International Journal of Corrosion*, 2016, Vol. 2016, ID 5808372. DOI: 10.1155/2016/5808372.

3. Kjzlo M., Kanbergs A. The Causes of the Parameters Changes of Soil Resistivity. *Electrical, Control and Communication Engineering*, 2009, Vol. 25, Issue 25, pp. 43-46. DOI: 10.2478/v10144-009-0009-z.

4. Swileam G.S., Shahin R.R., Nasr H.M., Essa Kh.S. Assessment of Soil Variability Using Electrical Resistivity Technique for Normal Alluvial Soils, Egypt. *Plant Archives*, 2019, Vol. 19, No. 1, pp. 905-912.

5. Malanda S.C., Davidson I.E., Buraimoh E., Analysis of Soil Resistivity and Its Impact on Grounding Systems Design. *Materials of IEEE Conference and Exposition in Africa «Power Engineering Society, PowerAfrica»*. Cape Town, South Africa, 2018, pp. 324-329. DOI: 10.1109/PowerAfrica.2018.8520960.

6. Afa J.T., Anaele C.M. Seasonal Variation of Soil Resistivity and Soil Temperature in Bayelsa State. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2010, Vol. 3, No. 4, pp. 704-709. DOI: 10.3844/ajeassp.2010.704.709.

7. Lim K.S., Nordin Y., Siti R.O., Siti N.F., Norhazilan M.N. The Relationship between Soil Resistivity and Corrosion Growth in Tropical Region. *Journal of Corrosion Science and Engineering*, 2013, Vol. 16, pp. 1-11.

8. Elsgolts L.E. *Differentsial'nye uravneniya i variatsionnoe ischislenie* [Differential Equations and Calculus of Variations]. Moscow, Nauka Publ., 1974. 432 p. [in Russian].

Сведения об авторе

About the author

Насиров Хабиб Миргалиб оглы, старший специалист Управления экологии, Департамент биоразнообразия, Государственная нефтяная компания Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджанская Республика

Habib M. Nasirov, Senior Specialist of the Ecology Department, Biodiversity Department, State Oil Company of Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan Republic

e-mail: nasirovhabib@mail.ru