

Про поляризаційний потенціал магістрального трубопроводу

© В. В. Лукович¹, В. В. Лукович², 2010

¹Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Київ, Україна

²Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України, Київ, Україна

Поступила 28 октября 2009 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Одним из основных параметров катодной защиты магистральных трубопроводов является поляризационная разность потенциалов. Предложена методика расчета зависимости этой величины, а также поляризационной плотности тока от удельного сопротивления грунта и разности потенциалов трубопровод — поверхность грунта.

One of the principal parameters of cathodic protection of the main pipelines is polarization difference of potentials. A method of calculation for dependence of this difference value as well as of polarization density of current on specific resistance of soil and the difference of potentials pipeline-soil surface has been proposed in this paper.

У статті [Лукович, 2008] запропоновано математичну модель, яка імітує процес поляризації поверхні магістрального трубопроводу в системі катодного захисту. В ній замість перехідного опору протикорозійного покриття введено середню величину частки його пошкоджень, яку визначають за відношенням сумарної площі пошкоджень покриття заданого відрізка труби до всієї площі поверхні цього відрізка. В результаті такої заміни густина струму, який натікає на поверхню заданого відрізка труби, віднесена не до всієї поверхні, а лише до площі пошкоджень, тобто до тої частки поверхні труби, яка має безпосередній контакт з навколишнім середовищем. Отже, з уведенням частки пошкоджень отримано можливість розрахунку середньої на певному відрізку трубопроводу поляризаційної густини струму, за якою за допомогою поляризаційної кривої можна визначити поляризаційну різницю потенціалів. Однак цю різницю визначено у такий спосіб лише в місцях пошкодження. Поза пошкодженням вона швидко вирівнюється і буде іншою. Тому важливо дослідити, на якій відстані від пошкодження поляризаційна різниця потенціалів вирівнюється і наскільки відрізнятиметься від середньої в його околі.

У статті запропоновано модель розрахунку відношення поляризаційної різниці потенціалів до середньої величини її на

певному відрізку трубопроводу. Нехай пошкодження, у вигляді кружків діаметром 0,1 мм, рівномірно розміщені на поверхні трубопроводу. Геометрія пошкоджень дуже різна й може бути предметом окремого дослідження. Проведено обчислювальний експеримент залежності відношення поляризаційної різниці потенціалів у вибраних кружках до середньої її величини в околі цих кружків, в якому вона вирівнюється (буде сталою). Обведемо пошкодження колом, діаметр якого виберемо таким, щоб відношення квадрата діаметра кружка пошкодження й вибраного круга дорівнювало частці пошкодження. Побудуємо на великому крузі, як на основі, циліндр (рис. 1, а), вісь якого перпендикулярна до осі трубопроводу. Висоту циліндра виберемо такою, щоб величина потенціалу на протилежній основі (до основи

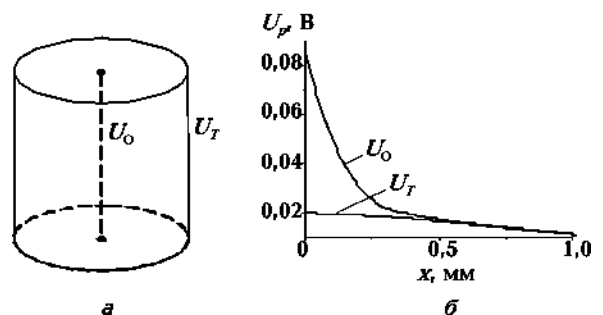


Рис. 1. Схема області моделі (а).
Зміна величин потенціалів U_0 і U_T (б).

циліндра, на якій розміщене пошкодження) була сталою (з віддаленням від місця пошкодження потенціал вирівнюється). Згідно з припущенням, на бічній поверхні похідна потенціалу по нормалі дорівнює нулю. Похідна потенціалу по нормалі на поверхні нижньої основи циліндра дорівнює нулю скрізь, за винятком кружка, який зображає пошкодження. В останньому виконується умова

$$\frac{dU}{dz} = -\rho J_p, \quad (1)$$

де ρ — величина питомого опору ґрунту; J_p — поляризаційна густина струму. Всередині циліндра потенціал U задовільняє рівнянню

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0, \quad (2)$$

а на бічній поверхні —

$$\frac{dU}{dr} = 0. \quad (3)$$

На протилежній основі циліндра (відносно основи, на якій знаходиться пошкодження) потенціал U дорівнює сталій величині U_s .

Позначимо потенціал трубопроводу в місці пошкодження через U_T , поляризаційний потенціал — через U_p . Тоді поляризаційна різниця потенціалів дорівнює $F_p = U_T - U_p$, середня різниця на цьому відрізку трубопроводу $F_s = U_T - U_s$. Задавши середню різницю F_s , за нею та поляризаційною кривою [Швець, 1993], визначаємо нульове наближення величини J_p .

У роботі [Швець, 1993] залежність між поляризаційною різницею потенціалів і поляризаційною густиною струму задано у вигляді таблиці їхніх відповідних числових значень через проміжок $F_{pi+1} - F_{pi} = 0,05$ В. За цими даними побудовано апроксимаційну криву для знаходження величини J_p за довільним значенням F_p . Із системи рівнянь (1)–(3) обчислюємо U , зокрема й U_p . За різницею $F_p = U_T - U_p$ та поляризаційною кривою (співвідношенням між $U_T - U_p$ та J_p , за цією кривою) визначаємо перше наближення величини J_p . Продовжуємо ітерації, доки попереднє й наступне наближення величини J_p не збіжуться із заданою точністю.

За даним алгоритмом розроблена комп'ютерна програма й проведені розрахунки

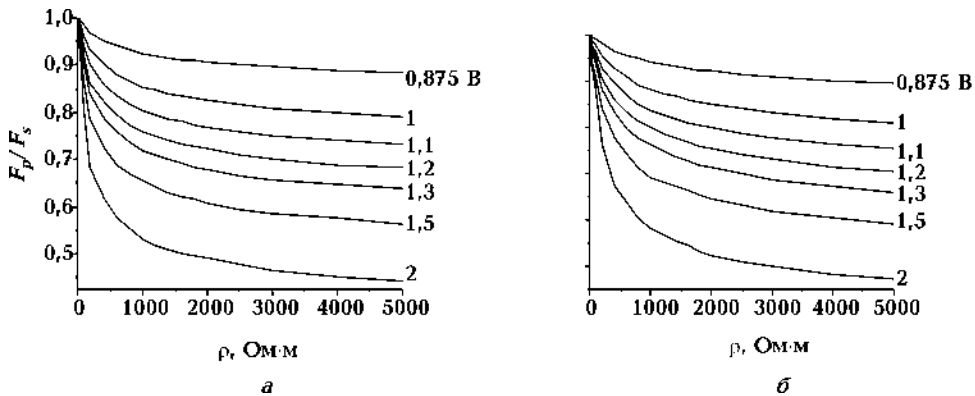


Рис. 2. Залежність величини F_p/F_s від опору ґрунту. Частка пошкоджень дорівнює 0,01 (а) і 0,0025 (б).

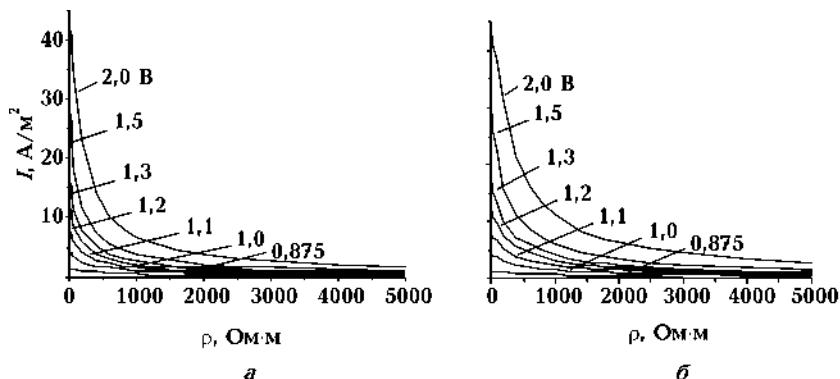


Рис. 3. Залежність поляризаційної густини струму від опору ґрунту. Частка пошкоджень дорівнює 0,01 (а) і 0,0025 (б).

для різних величин ro ($ro = \rho$) і F_s . На рис. 1, б зображено зміну величини U вздовж осі циліндра (U_0) і вздовж його твірної (U_t) (див. рис. 1, а). На рис. 1, б видно, що вже на глибині 0,7 мм потенціал U однаковий в усіх точках круга, який перетинає циліндр на цій глибині (графіки U_0 і U_t практично злились). На рис. 2, а видно, що коли $F_s = 0,875$ В, величина F_p близька до F_s , навіть при $ro = 5000$ Ом·м. Із збільшенням величини F_s відношення F_p/F_s залишається близьким до одиниці лише для малих величин ro ($ro < 60$ Ом·м). З ростом величини ro зменшується відношення F_p/F_s тим швидше, чим більша різниця F_s . Відповідні графіки на рис. 2, а, б мало розрізняються між собою. Отже, на швидкість зміни величини F_p/F_s найбільш впливає різниця F_s . За збільшення відношення F_p/F_s швидко зменшується при малих величинах ro , поступово вирівнюючись при великих ro .

На рис. 3 видно, що поляризаційна густина струму швидко зростає із збільшенням величини F_s , особливо за малих значень опору ґрунту (чим менший опір ґрунту, тим більша величина струму). За поляризаційною кривою саме в інтервалі 1,1—2,0 В поляризаційна густина струму швидко зростає (значенням величини F_p 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 В відповідають значення величини J_p 4,33; 12,46; 24,84; 33,56; 39,24; 43,0 А/м²).

За цими даними без використання складних математичних моделей можна знайти наближені значення поляризаційної різниці потенціалів, поляризаційної густини струму та поляризаційного опору. За різницею потенціалів трубопровід—поверхня ґрунту $F_n = U_T - U_n$, де U_n — величина U на поверхні ґрунту, питомим опором ґрунту ro (дані електрометричних вимірювань на трасі) і відношенням F_p/F_s (див. рис. 2) методом інтерполяції визначаємо наближене значення поляризаційної різниці потенціалів F_p . За допомогою поляризаційної кривої [Шведць, 1993] та знайденої поляризаційної різниці потенціалів обчислюємо наближені значення поляризаційної густини струму J_p . Поляризаційний опір R_p знаходимо за формулою [Лукович, 2008]

$$R_p = \frac{F_p - \varphi_{cm}}{J_p},$$

де φ_{cm} — стаціонарний потенціал металу.

На рис. 4 схематично зображено графік зміни питомого опору ґрунту на відрізку

газопроводу «Союз» 1494—1532 км. На відрізках 1494—1522,5, 1523,5—1524 і 1529—1532 км дані кривої ro збігаються з даними графіку, на відрізку 1522,5—1523,5 км величина ro зростає від 35 до 105 Ом·м, а потім спадає від цієї точки до 41,5 Ом·м, а на відрізку 1524—1529 км — відповідно зростає від 65 до 3100 Ом·м, спадає до 37,5 Ом·м. За питомим опором ґрунту ro (рис. 4) і різницею потенціалів трубопровід—поверхня ґрунту F_n методом інтерполяції розраховано наближену величину поляризаційної різниці потенціалів F_p (рис. 5). На рис. 5 видно, як істотно зменшується (за абсолютним значенням) величина F_p за зростання питомого опору ґрунту ro . Зауважимо, що розрахована таким методом наближена величина F_p мало відрізняється від середньої реальної її величини.

Для порівняння на рис. 6, а зображено змінення величини F_p з рис. 5 і розрахованої за точнішою математичною моделлю [Остапенко и др., 1988]. Графіки настільки мало розрізняються між собою, що практично злилися. Значення поляризаційної густини струму (рис. 6, б) й поляризаційного опору (рис. 6, в), розраховані за спрощеною та досконалішою методиками, також мало розрізняються.

Чому такі близькі між собою результати розрахунків за, здавалось би, непорівнюваними

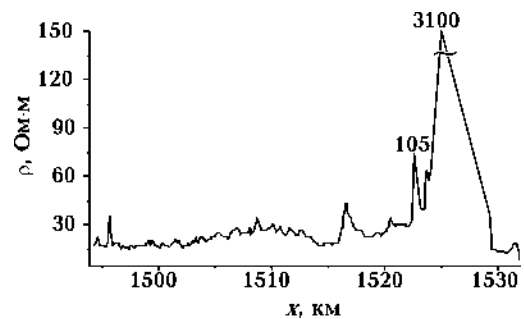


Рис. 4. Зміна величини опору ґрунту.

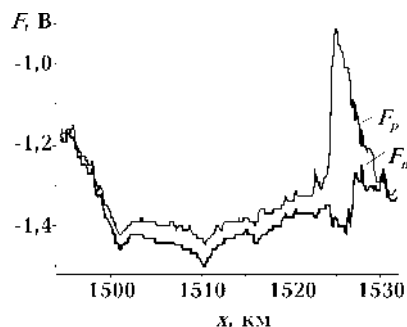


Рис. 5. Зміна величин F_n і F_p .

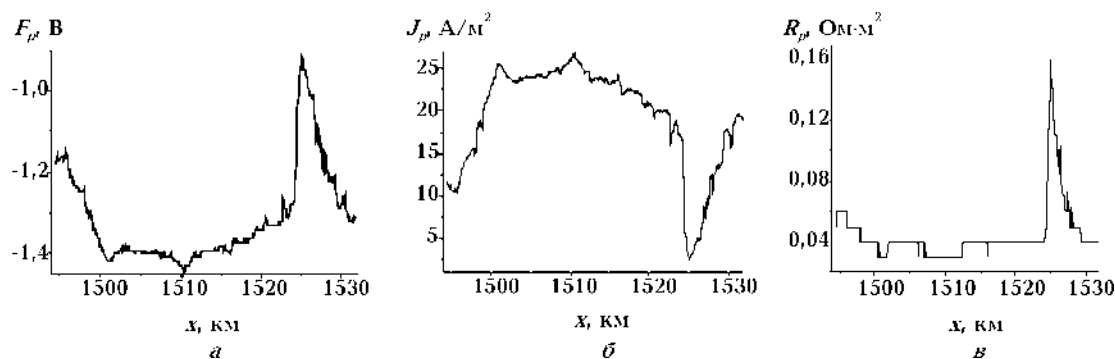


Рис. 6. Зміна поляризаційної різниці потенціалів (а), поляризаційної густини струму (б) й поляризаційного опору (в).

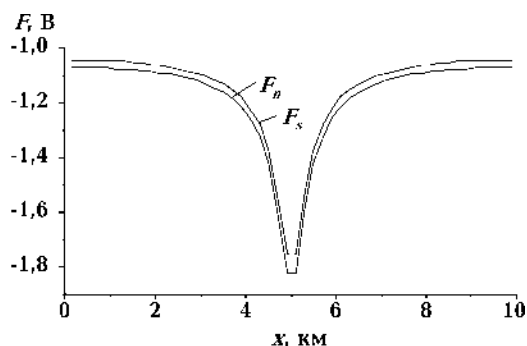


Рис. 7. Зміна величин потенціалів трубопровод—поверхня ґрунту F_n і різниці потенціалів трубопровод—зовнішня поверхня протикорозійного покриття F_s .

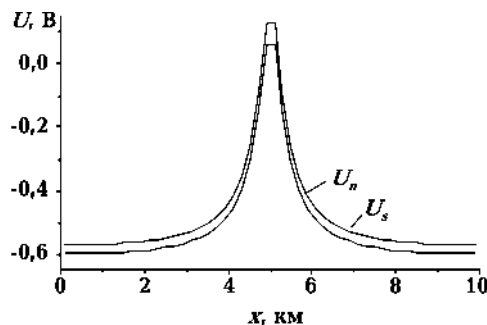


Рис. 8. Зміна величин потенціалів на поверхні ґрунту над трубопроводом U_n і на поверхні протикорозійного покриття U_s [Остапенко і др., 1988].

методиками їх отримання? Електропровідність трубопроводу на декілька порядків більша за електропровідність ґрунту. Підсилює цю відмінність протикорозійне покриття труби. В результаті поле труби досить повільно змінюється не тільки в напрямку вздовж її осі, а й перпендикулярно до неї [Положий, 1964]. Тому потенціал на поверхні ґрунту над трубою мало відрізняється від потенціалу на зовнішній поверхні протикорозійного покриття (рис. 7,

8). Питомий опір ґрунту, в якому знаходиться трубопровід, становить 400 Ом·м. Навіть за такого опору різниця між величинами U_n і U_s не більша за 4 %.

Отримані залежності поляризаційної різниці потенціалів і поляризаційної густини струму використані авторами для розрахунку параметрів катодного захисту магістральних трубопроводів за даними електрометричних вимірювань.

Список літератури

Лукович В. В. Математичне моделювання процесу поляризації трубопроводу // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. — 2008. — Вип. 44. — С. 10—12.

Швец В. А. Фізико-хімічні властивості протекторного сплаву АЦКМ та конструкційних сталей Х70, СтЗ: Автореф. дис. ... канд. хім. наук. — Київ, 1993. — 21 с.

Остапенко В. Н., Ягупольская Л. Н., Лукович В. В., Кохановский И. Н., Егоров Е. В., Кузьменко Ю. Н., Калькутин Ю. Г. Электрохимическая защита трубопроводов от коррозии. — Киев: Наук. думка, 1988. — 192 с.

Положий Г. Н. Уравнения математической физики. — Москва: Высш. шк., 1964. — 559 с.