

УДК 624.012:620.193.4

**ОСОБЛИВОСТІ КОРОЗІЇ АРМАТУРИ ПІДЗЕМНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРУБ ВЕЛИКИХ ДІАМЕТРІВ**

**ОСОБЕННОСТИ КОРРОЗИИ АРМАТУРЫ ПОДЗЕМНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ БОЛЬШИХ ДИАМЕТРОВ**

**FEATURES OF REINFORCEMENT CORROSION OF UNDERGROUND
REINFORCED CONCRETE PIPES OF LARGE DIAMETER**

**Бондар В.О., д. т. н., професор, Бондар Л.В., к. т. н., доцент, Сушко В.О.,
ст. викладач** (Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка, м. Полтава)

**Бондарь В.А., д. т. н., профессор, Бондарь Л.В., к. т. н., доцент, Сушко
В.А., ст. преподаватель** (Полтавский национальный технический
университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава)

**Bondar V.A., doctor of technical science, professor, Bondar L.V., candidate of
technical science, associate professor, Sushko V.A., senior lecturer** (Poltava
national technical Yuri Kondratyuk university, Poltava)

**Вирішена задача про розподіл ґрунтової корозії арматурного каркасу по
периметру перерізу залізобетонної труби при дії виникаючих
макрогальванічних елементів.**

**Решена задача о распределении ґрунтовой коррозии арматурного
каркаса по периметру сечения железобетонной трубы при действии
образующихся макрогальванических элементов.**

**The authors decided to a problem the distribution of soil corrosion. These
processes take place in the framework of reinforcing the perimeter section
reinforced concrete pipe. When this action occurs makrohalvanic cell.**

Ключові слова:

Залізобетонна труба, арматура, корозія.

Железобетонная труба, арматура, коррозия.

Reinforced concrete pipe, reinforcement, corrosion.

Вступ. При розробці підземних залізобетонних труб великих діаметрів
закладаються визначені конструктивні прийоми, направлені на те, щоб не
допустити в них корозію арматури. Розроблено багато різних пасивних

методів захисту. Однак, натурні спостереження показують, що підземні залізобетонні труби продовжують руйнуватись в результаті корозії арматури. Причому, корозійні враження арматури розподіляються нерівномірно по периметру їх перерізу. Це говорить про те, що прийняті захисні міри не охоплюють всіх умов, у які попадають дані конструкції в процесі експлуатації.

Фізико – хімічні властивості ґрунтів, у яких знаходяться залізобетонні труби, можуть змінюватись з глибиною. Змінюється вологість, засоленість та ін. Це призводить до різної кінетики електродних процесів на арматурі по периметру перерізу труб.

Бетон, як пористе середовище, має сорбційні властивості, що призводить до накопичування в захисному шарі ґрунтової вологи, агресивних розчинів. З іншого боку оточуюче пористе середовище (ґрунт, бетон) створює відповідний градієнт в розподіл поступаючого деполяризатора корозії арматури (кисню).

На кожній ділянці арматура набуває відповідного електрохімічного потенціалу. При цьому виникають вирівнюючі струми між окремими ділянками, які можливо трактувати як макрогальванічні елементи.

Значна роль макрогальванічних елементів в корозійних процесах на арматурі при вологості бетону 3 – 4 % підтверджена експериментами, проведеними в НДІЗБ [1].

Особлива загроза корозії арматури при роботі макрогальванічних елементів виникає у залізобетонних трубах якраз великих діаметрів. Розроблені розрахунки з розподілу корозії головним чином, на металевих підземних трубах. Для залізобетонних трубопроводів такі розрахунки відсутні.

Головною особливістю розглянутих моделей корозії металу підземного трубопроводу є те, що в якості внутрішнього короткозамкнутого ланцюга гальванічного елемента виступає ґрунт. Тобто тільки ґрунт контактує безпосередньо з металом трубопроводу.

В моделях корозії металевих труб не враховується вся гама існуючих відносин в залізобетонних трубах. Систему «ґрунт - метал» в металевих трубах необхідно замінити на систему «ґрунт – бетон – метал арматури».

Формування цілі статті. Розробити залежності для розрахунку розподілу ґрунтової корозії арматури по периметру перерізу залізобетонної труби при дії макрогальванічних елементів.

Аналіз основних досліджень. Існує ряд методів розрахунку корозії підземних металевих труб, які враховують зміну ґрунтових умов. В [2] розрахунок будується на умовному розчленуванні поверхні труби на окремі ділянки зі статичними параметрами, що визначають кінетику корозійних процесів.

Швидкість електрохімічної корозії металу труби на різних ділянках визначається за формулою:

$$i = i_{\text{пк}} + \frac{I_i}{S_i},$$

де: i - щільність струму корозії;

$i_{\text{пк}}$ - щільність струму загальної корозії;

I_i - струм макрогальванопари на i -ій ділянці;

S_i - площа поверхні труби на i -ій ділянці.

Значення струмів I_i знаходиться рішенням системи нелінійних алгебраїчних рівнянь відносно струму та потенціалу на окремих ділянках.

Розподіл корозії по периметру перерізу металевої труби, ділянки якої знаходяться в різних ґрунтах, розглядається в роботі [3]. Залежність швидкості корозії від електродного потенціалу описується рівнянням:

$$i = k \cdot \exp\left(\frac{2,3E}{b_a}\right),$$

де: i - швидкість корозії за щільністю струму;

E - електродний потенціал металу в даному ґрунті;

b_a - анодна поляризація металу на анодних ділянках;

k - константа швидкості корозії металу.

При припущенні, що швидкість загальної корозії контролюється відновленням кисню в режимі граничного дифузійного струму, що труба не має ізоляції, потенціал електрополя представлений диференціальним рівнянням Лапласа.

При цьому, для визначення розподілу електродного потенціалу (E) по периметру перерізу труби використаний метод квазілінеалізації нелінійних задач.

Аналогічно вирішувалось питання розподілу потенціалу і швидкості корозії металевої труби при поздовжньому перетині межі з двома різними за характеристиками ґрунтами [4].

В роботі [5] розглянуто вплив макрогальванічних елементів на швидкість корозії арматури залізобетонних конструкцій. Встановлено, що збільшення відстані між катодною і анодною зонами на арматурі інтенсифікує корозійні процеси.

Основна частина. Щільність вирівнювальних струмів на арматурі каркасу по периметру підземної залізобетонної труби може бути визначена за формулою:

$$\vec{i}_n = -\frac{1}{\rho_\sigma} \cdot \frac{\partial U_\sigma}{\partial N}, \quad (1)$$

де: U_σ - електрополе, утворене вирівнювальним струмом в бетоні;

ρ_σ - питомий електроопір бетону захисного шару;

N - напрямок нормалі до поверхні арматурного каркасу труби.



Рис. 1. Схема розміщення арматури в бетоні.

Електрополе вирівнювальних струмів у середині арматурного каркасу виражається диференціальним рівнянням для стаціонарного потенціалу електричного поля, яке задовольняє граничним умовам неперервності потенціалів і нормальної складової щільності струму на поверхні арматурного каркасу (рисунок 1), тобто

$$U_a(r, \Theta) - U_{\bar{o}}(r, \Theta) = b_a \cdot \ln \frac{i_{нк}}{k_2} - \frac{b_a}{i_{нк} \cdot \rho_{\bar{o}}} \left(\frac{\partial U_{\bar{o}}}{\partial \rho} \right)_{\rho=r}; \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho_a} \left(\frac{\partial U_a}{\partial \rho} \right)_{\rho=r} = \frac{1}{\rho_{\bar{o}}} \left(\frac{\partial U_{\bar{o}}}{\partial \rho} \right)_{\rho=r}, \quad (3)$$

де: U_a - електрополе, утворене вирівнювальним струмом на поверхні арматурного каркасу;

ρ_a - питомий електроопір металу арматурного каркасу;

b_a - анодна поляризація металу арматури;

k_2 - деяка стала у рівнянні електрохімічного потенціалу в області дифузійної кінетики;

$$\varphi = b_a \cdot \ln \frac{i_{нк}}{k_2} + b_a \cdot \ln \left(1 + \frac{i_u}{i_{нк}} \right); \quad (4)$$

$i_{нк}$ - щільність струму без врахування вирівнювальних струмів, яка визначається із рівняння [2].

$$i_{нк} = \frac{F \cdot D \cdot C_n (a^2 - 1)}{M_k \cdot r (1 + a^2 - 2a \cos \Theta) \ln a}; \quad (5)$$

$$a = \frac{h}{r} + \sqrt{1 + \left(\frac{h}{r} \right)^2};$$

де: C_n - початкова концентрація кисню в бетоні;

D - коефіцієнт дифузії кисню в бетоні;

F - стала Фарадея;

M_k - кількість грам – молекул кисню, що дифундує до поверхні арматури в одиницю часу;

r - радіус арматурного каркасу.

Зв'язавши потенціали електрополя в бетоні та в арматурному каркасі з законом Фіка для стаціонарного масопереносу деполяризатора (кисню), після розкладання функції в ряд Фур'є, отримано слідуєчу функціональну залежність для визначення щільності вирівнювальних струмів на поверхні арматурного каркасу залізобетонної труби:

$$i_n = -\frac{1}{\rho_\delta} \sum_{n=1}^{\infty} n A_n \cdot r^{-n-1} \cos n\Theta. \quad (6)$$

A_n - вираховується із граничних умов.

Витрата маси арматури K_m при її корозії може бути вражена через щільність струму:

$$K_m = \frac{i \cdot A}{n \cdot 26,8 \cdot 10^{-4}}. \quad (7)$$

де: n - валентність іона металу арматури;

A - атомна маса металу арматури;

26,8 – постійна Фарадея, А·г.

Глибинний показник корозії (K_r) розраховується за формулою:

$$K_r = \frac{K_m \cdot 8,76}{\rho_m}, \quad (8)$$

де ρ_m - щільність металу арматури.

Висновки. Із отриманої залежності витікає, що при Θ близьких до нуля щільність вирівнювальних струмів від'ємна, тобто тут розташований катод макрогальванічного елемента на арматурі, при Θ близьких до 180° значення вирівнюючого струму позитивне, тобто тут розташовано анод елемента.

Таким чином, корозійні процеси при дії вирівнювальних струмів виникають на ділянках арматурного каркасу, що найбільш віддалені від поверхні землі.

Як слідує із отриманої залежності суттєвий вплив на щільність вирівнювальних струмів має питомий опір бетону труби.

1. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры / В.М.Москвин и др. : Стройиздат, 1971, 143 с. 2. Дубровский В.Г., Волотковский С.А., Заблудовский В.Г. и др. Защита от коррозии подземных сооружений промышленных предприятий. – Киев.: Техника, 1979 – с.240. 3. Алексеева Н.В., Стрижевский Н.В. и др. Математическое моделирование распределения скорости коррозии по периметру поперечного сечения подземного трубопровода // Журнал «Защита металлов», №1, 1989. 4. Кузнецова Е.Г. и др. Распределение потенциала и скорости коррозии металла на участках трубопровода, контактирующего с двумя различными грунтами // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по электрохимии, 10-14 октября 1988г., т.П. – с.340. 5. The effect macrocells between active and passive areas of steel reinforcements / Andrade C., Maribona J.R. // Corrosion Science. – 1992, –39, №2.