

## ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.154.536

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ У ПРОСАДОЧНИХ ГРУНТАХ II ТИПУ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ II ТИПА**

**SIMULATION OF FRACTURE ANTIFRICTION COATINGS BORED PILES IN SOIL SUBSIDENCE TYPE II**

**Грецький Д.В., к.т.н.,** (Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси)

**Грецкий Д.В., к.т.н.,** (Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы)

**Gretskiy D.V., candidate of technical sciences** (Cherkasy State Technological University)

У статті аналітичними методами виконано моделювання процесів руйнування антифрикційних покриттів буронабивних палей в просадочних грунтах II типу з прошарком із гідрофобізованого ґрунту. Виконана кількісна оцінка впливу шару з гідрофобізованого ґрунту на залишковий ресурс антифрикційного покриття.

В статье аналитическими методами произведено моделирование процессов разрушения антифрикционных покрытий буронабивных свай в просадочных грунтах II типа с прослойкой из гидрофобизированного грунта. Произведена количественная оценка влияния слоя с гидрофобизированного грунта на остаточный ресурс антифрикционного покрытия.

The article deals with the modeling of antifriction coatings destruction (of bored piles in type II collapsible soils with the layer of hydrophobized soil) using analytical methods. The quantitative assessment of hydrophobized soil layer influence on the remaining life of antifriction coatings was carried out.

**Ключові слова:**

Гідрофобізований ґрунт, буронабивні палі, антифрикційне покриття.

Гидрофобизированный грунт, буронабивные сваи, антифрикционное покрытие.

Repellent soil, bored piles, antifriction coating.

**Вступ.** Проектування захисту будівельних конструкцій від корозії передбачено в [1]. Вторинний захист від корозії передбачає ізоляцію поверхонь споруд від контакту з агресивним зовнішнім середовищем шляхом організації різного роду хімічностійких і малопроникних антикорозійних покриттів (полімерної плівкової ізоляції, проникаючих розчинів тощо).

При використанні буронабивних паль, для зниження негативного тертя від просадки просадочного ґрунту та збільшення тим самим несучої здатності паль, необхідно застосовувати антифрикційні покриття, тобто покриття зі зменшеним показником тертя по ґрунту, ніж бетонна поверхня [2].

Одним з можливих та раціональних способів захисту від агресивної дії ґрунту тіла буронабивних паль та антифрикційного шару у плані вартості та технології виробництва є утворення навколо паль буферного прошарку з місцевого гідрофобізованого ґрунту.

**Аналіз останніх досліджень.** Способів оцінки ефективності вторинного захисту в лабораторних умовах по водонепроникності, по паропроникності, по здатності покриття до збереження конструкцією міцнісних і геометричних характеристик достатньо багато [3-6,7,8]. Проте серйозні вимоги дуже часто не забезпечують лабораторних показників на практиці, тому практична оцінка впливу вторинного захисту на збільшення довговічності залізобетонних конструкцій вимагає подальшого розвитку і опрацювання. СНиП [1] дозволяє лише вибрати засоби захисту залежно від ступеня агресивності.

В нормах [1, 3-5] та інших рекомендаціях щодо вторинного захисту залізобетонних та бетонних конструкцій плівковими ізоляційними матеріалами немає ніяких вимог щодо забезпечення довговічності на протязі часу, також немає кількісного та якісного моделювання стану ізоляційного матеріалу в реальних ґрунтових умовах.

**Мета та завдання досліджень.** 1. Здійснити оцінку впливу шару гідрофобізованого ґрунту навколо палі на строк служби антифрикційного покриття. 2. Порівняти одержану залежність процесів руйнування антифрикційного шару пального фундаменту з тими, що вживаються в даний час.

**Методика досліджень.** Для подальшого розгляду оцінки впливу прошарку з гідрофобізованого ґрунту на довговічність, якість та суцільність матеріалу антифрикційного покриття буронабивних паль скористаємось досвідом та специфікою норм [10], де за критерій старіння та руйнування антикорозійної ізоляції (на основі в'язучих – полімеру та бітуму) пропонується вважати зменшення показника перехідного опору ізоляційного матеріалу на межі «навколишній ґрунт-конструкція».

Захисні властивості ізоляційних покриттів найповніше характеризуються

перехідним опором, що є величиною інтегральною, який оцінює захисну здатність системи „конструкція – покриття – ґрунт” [9, 10, 11]. За допомогою цього показника з достатнім для практичних розрахунків ступенем точності можна оцінити переваги і недоліки ізоляційного матеріалу та вплив на нього зовнішніх факторів. Перехідний опір дозволяє оцінювати стан ізоляційних матеріалів в процесі експлуатації та моделювання їх довговічності без порушення і розриву навколишнього ґрунту.

**Результати досліджень.** Тому пропонується для розглядання оцінки довговічності матеріалу антифрикційного шару прийняти, що тіло буронабивної палі є матеріалом з властивостями електропровідності, та таким, що обгорнено шаром ізоляції. Таким чином, в процесі старіння ізоляції її діелектричні властивості зменшуються, внаслідок чого захисна зона установки електрохімічного захисту зменшується.

Поставимо завдання оцінити вплив прошарку з гідрофобізованого ґрунту на довговічність антифрикційного покриття буронабивних паль. При цьому приймемо, що повне вироблення ресурсу покриття досягається при зниженні перехідного опору  $R_n = 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$  до гранично допустимого значення  $10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$  по [10]. Природно припустити, що зниження  $R_n$  на два порядки неможливо пояснити зміною фізичних властивостей матеріалу. Отже, зниження ізолюючих властивостей є наслідком порушення герметичності покриття. Як відомо, погіршення захисних властивостей (старіння) антифрикційних покриттів відбувається під дією навколишнього середовища при взаємодії з повітрям (киснем, озоном тощо), водою і агресивними речовинами. Тому зменшення газопроникності, водонепроникності, водонасичення і корозійної активності ґрунтів (при наявності прошарку з гідрофобізованого ґрунту навколо буронабивних паль) приводить до стабільного показника перехідного опору антифрикційних покриттів у часі, а також до зменшення випотівання пластифікаторів і інших компонентів з тіла антифрикційних матеріалів.

Для оцінки руйнування антифрикційного покриття буронабивної палі введемо кількісну характеристику ступеня пошкодження  $x$ , як відношення площі пошкодженої поверхні до площі непошкодженої.

Еквівалентна електрична схема ділянки буронабивної палі (рис. 1) складається з рівних, паралельно сполучених опорів:  $R_{\text{ґрунту}} + R_{\text{шару}}$  та  $R_{\text{ґрунту}} + R_{\text{шару}} + R_{\text{ізол}}$ .

Загальний опір, відповідно до законів електричних ланцюгів і обліку ступеня пошкодження покриття  $x$ , буде рівний (при умові  $R_{\text{ґрунту}} + R_{\text{шару}} \ll R_{\text{ізол}}$ ):

$$R_n = \frac{\pi \cdot D_{\text{палі}} \cdot L \cdot (R_{\text{шару}} + R_{\text{ґрунту}}) \cdot R_{\text{ізол}}}{(R_{\text{шару}} + R_{\text{ґрунту}}) \cdot (1 - x) + R_{\text{ізол}} \cdot x} \quad (1)$$

При цьому розрахунок величини  $(R_{\text{ґрунту}} + R_{\text{шару}})$  ведемо таким чином:

Розрахуємо електричні характеристики палі довжиною  $L$ , діаметром  $D_{пали}$ , обмеженого шаром гідрофобізованого ґрунту.

Опір  $dR$  елементарного циліндричного шару ґрунту товщиною  $dr$  обчислюється як:

$$dR = \rho_{шару} \cdot \frac{dr}{2\pi \cdot r \cdot L}, \quad (2)$$

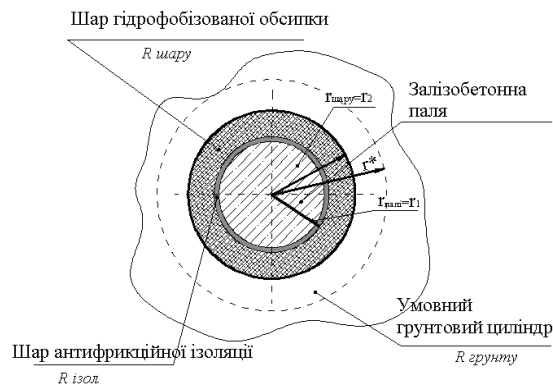


Рис. 1. Еквівалентна схема ділянки буронабивної палі для визначення перехідного опору антифрикційного покриття

де  $\rho_{шару}$  – питомий електроопір гідрофобізованого ґрунту, Ом·м;  
 $r$  – радіус шару гідрофобізованого ґрунту, м (див. рис. 1).

Опір шару кінцевої товщини  $\delta_{шару} = r_2 - r_1$  обчислюється за допомогою інтегрування по вказаних межах:

$$R_{шару} = \frac{\rho}{2\pi L} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{\rho_{шару}}{2\pi L} \ln \frac{r_{пали} + \delta_{шару}}{r_{пали}} = \frac{\rho_{шару}}{2\pi L} \ln \left( 1 + \frac{2\delta_{шару}}{D_{пали}} \right), \quad (3)$$

де  $D_{пали}$  – зовнішній діаметр буронабивної палі.

Переходячи від опору одного погонного метра палі до опору одиниці площі поверхні буронабивної палі діаметром  $D_{пали}$ , тобто до перехідного опору, одержимо:

$$R_{п.шару} = R_{шару} \cdot \pi \cdot L \cdot D_{пали} = \frac{\rho_{шару} \cdot D_{пали}}{2} \ln \left( 1 + \frac{2\delta_{шару}}{D_{пали}} \right). \quad (4)$$

Тобто зі збільшенням прошарку гідрофобізованого ґрунту перехідний опір антифрикційного покриття збільшується. У реальному випадку шар гідрофобізованого ґрунту оточений ґрунтом без в'язучого, питомий опір якого  $\rho_{ґрунту}$  нижче, ніж опір шару гідрофобізації. В цьому випадку, повторюючи міркування для двох шарів ґрунту і складаючи з опором ізоляції (покриття)  $R_{ізол}$  (послідовне з'єднання), одержимо:

$$R = R_{\text{шару}} + R_{\text{грунту}} + R_{\text{ізоляції}} = \frac{\rho_{\text{шару}}}{2\pi \cdot L} \ln\left(1 + \frac{2\delta_{\text{шару}}}{D_{\text{палі}}}\right) + \frac{\rho_{\text{грунту}}}{2\pi \cdot L} \ln\left(\frac{r^*}{r_{\text{палі}} + \delta_{\text{шару}}}\right) + \frac{R_{\text{н.ізоляції}}}{\pi \cdot D_{\text{палі}} \cdot L}, \quad (5)$$

де  $r^*$  – еквівалентний радіус циліндра, що визначається „розтіканням струму” за об’ємом ґрунту (рис. 1) і залежить від розташування анодного заземлення щодо палі.

Підставляючи в (1) вирази (4) та (5), одержимо формулу для розрахунку перехідного опору антифрикційного покриття буронабивної палі, залежно від початкового перехідного опору покриття  $R_{\text{н.ізоляції}}$ , ступеня пошкодження  $x$ , властивостей гідрофобізованого ґрунту, скелету ґрунту  $\rho_{\text{грунту}}$ , товщини шару  $d_{\text{шару}}$  і діаметру палі  $D_{\text{палі}}$ :

$$R_n = \frac{C \cdot R_{\text{н.ізоляції}}}{C \cdot (1-x) + \frac{R_{\text{н.ізоляції}}}{\pi \cdot D_{\text{палі}} \cdot L} \cdot x}, \quad (6)$$

де для скорочення запису введено позначення:

$$C = \frac{\rho_{\text{шару}}}{2\pi L} \ln\left(1 + \frac{2\delta_{\text{шару}}}{D_{\text{палі}}}\right) + \frac{\rho_{\text{грунту}}}{2\pi L} \ln\left(1 + \frac{r^*}{r_{\text{палі}} + \delta_{\text{шару}}}\right). \quad (7)$$

Розглянемо теоретичну залежність швидкості руйнування покриття від часу. Природно припустити, що швидкість руйнування поверхні покриття пропорційна вже зруйнованій, тобто:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = A \cdot x, \quad (8)$$

де  $x$  – ступінь руйнування ( $0 < x < 1$ );

$t$  – час;

$A$  – коефіцієнт пропорційності.

З урахуванням раніше отриманого результату [14, 15] реальні значення  $x$  не перевищують 0,1 %, тобто  $x_{\text{max}} < 0,001$ , що дає можливість прийняти запропоновану модель розвитку дефекту (8) при  $x \ll 1$ .

Інтегруючи (8) за початкової умови  $x(0) = 0$ , маємо:

$$x(t) = e^{At} - 1, \quad (9)$$

Таким чином, встановлений теоретичний вид функціональної залежності  $x(t)$ . Для експериментальної перевірки моделі підставимо одержаний вираз (9) в (1) і після перетворень з урахуванням співвідношень  $R_{\text{грунту}} + R_{\text{шару}} \ll R_{\text{ізоляції}}$  і  $x \ll 1$ , одержимо:

$$R_n = \frac{(R_{\text{шару}} + R_{\text{грунту}}) \cdot R_{\text{н.ізоляції}}}{(R_{\text{шару}} + R_{\text{грунту}}) + R_{\text{ізоляції}} \cdot x}. \quad (10)$$

Розкладаючи (10) в ряд Тейлора по малому параметру  $x$ , та обмежуючись двома першими доданками ряду, одержимо залежність для розрахунку перехідного опору:

$$R_n = R_{\text{н.грунту}} + R_{\text{н.шару}} + (R_{\text{н.ізоляції}} + R_{\text{н.шару}} - R_{\text{н.грунту}}) \cdot e^{-At}. \quad (11)$$

Таким чином, запропонований критерій оцінки стану антифрикційного покриття буронабивної палі – ступінь пошкодження  $x$  – безпосередньо пов'язаний з нормативним показником  $R_n$ , але має прозорий фізичний зміст і аналітичний зв'язок з властивостями мінерального ґрунту, шару гідрофобізованого ґрунту, типу покриття і діаметром палі.

При підстановці (9) в (6) знайдемо залежність  $R_n(t)$  в явному вигляді:

$$R_n = \frac{C \cdot R_{n.ізол}}{\frac{R_{n.ізол}}{\pi \cdot D_{палі} \cdot L} \cdot (e^{At} - 1) - C \cdot e^{At}}. \quad (12)$$

Тому при практичних розрахунках без істотної втрати точності оцінки перехідного опору покриттів за наявності шару з гідрофобізованого ґрунту можна користуватися формулою (12).

Термін служби антифрикційних покриттів визначається часом досягнення перехідного опору  $10^3 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$  [10]. Підставивши, значення  $10^3$  замість  $R_n$  у формулу (12), та провівши нескладні перетворення, одержимо залежність для визначення терміну служби покриття:

$$t = \frac{1}{A} \ln \left( \frac{R_{n.ізол} - R_{n.ґрунту} - R_{n.шару}}{10^3 - R_{n.ґрунту} - R_{n.шару}} \right). \quad (13)$$

Згідно вимог [10] опір ізоляції для всіх видів покриттів не повинен зменшуватися більш, ніж в 3 рази, через 10 років, та більш, ніж в 8 разів через 20 років експлуатації.

На рис. 2 приведено графік залежностей  $R_n(x)$  за відсутності прошарку з гідрофобізованого ґрунту та при його наявності. Початковий перехідний опір прийнято рівним  $1,2 \times 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$ . Крива побудована згідно розрахунку за формулою (12) з показником швидкості старіння  $A=0,105 \text{ рік}^{-1}$ .

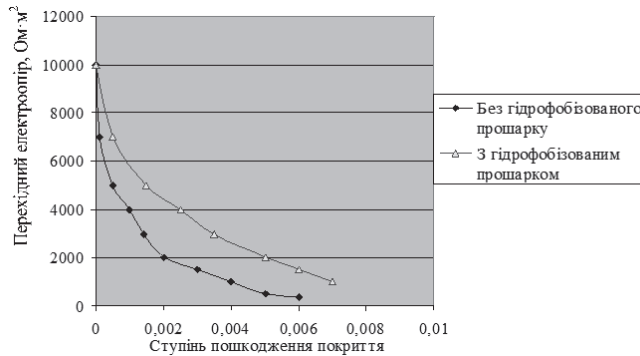


Рис. 2. Зміна перехідного опору при наявності навколо буронабивної палі гідрофобізованого ґрунту та без нього

Таким чином, розрахунки показують (рис. 2), що строк служби антифрикційного шару буронабивної палі при наявності навколо нього

прошарку з гідрофобізованого ґрунту збільшується на 50–60 % в порівнянні з варіантом без наявності прошарку.

**Висновки:** Згідно проведених аналітичних досліджень встановлено, що наявність навколо пальового фундаменту прошарку з гідрофобізованого ґрунту збільшує термін служби ізоляційних (антифрикційних) покриттів в середньому на 40%, забезпечуючи при цьому високу економічну ефективність.

1. Защита строительных конструкций от коррозии : СНиП 2.03.11-85. – [Действителен с 1986-01-01] – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.–46 с. 2. Крутов В.И. Проектирование свайных фундаментов на грунтах II типа по просадочности / В.И. Крутов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1984. – № 2. – С. 18–21. 3. Рекомендации по защите от коррозии бетонных и железобетонных конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений. – М.: НИИЖБ, 1986. – 41 с. 4. Рекомендации по защите железобетонных конструкций от действия нефтепродуктов. – М.: Стройиздат, 1983. – 33 с. 5. Рекомендации по проектированию антикоррозионной защиты строительных конструкций производственных предприятий текстильной промышленности. – М.: ОНТИ НИИЖБ, 1980. – 84 с. 6. Фиалковский Я.А. Антикоррозионная защита в промышленном строительстве / Я.А. Фиалковский. – М.: Стройиздат, 1981. – 161 с. 7. Зиневич А.М. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии / А.М. Зиневич, В.И. Глазков, В.Г. Котик – М.: Недра, 1975. – 288 с. 8. Зиневич А.М. Состояние и перспективы производства и применения изоляционных материалов и покрытий / А.М. Зиневич, Л.Т. Санжаровский, Б.В. Уразов // Защита трубопроводов от коррозии. – М.: ВНИИСТ, 1985. – С. 3–14. 9. Временная методика оценки качества изоляционного покрытия трубопроводов / Главтранснефть. – М.: Изд-во Главтранснефти, 1979.–18 с. 10. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии : ГОСТ Р 51164-98. – [Действителен от 01.07.1999]. – М.: Госстандарт России, 1999. – 35 с. 11. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии : ГОСТ 9.602-89. – [Действителен от 01.01.1991]. – М.: Госстандарт России, 1989. – 41 с. 12. Глазов Н.П. Методы контроля и измерений при защите подземных сооружений от коррозии // Н.П. Глазов, И.В. Стрижевский, А.М. Калашникова. – М.: Недра, 1978. – 215 с. 13. Грецький Д.В. Довговічність антифрикційного покриття пальового фундаменту у просадочних ґрунтах II типу / П.А. Донченко, В.М. Коновал, Д.В. Грецький // Будівельні конструкції. – К.: НДІБК, 2006. – Вип. 65. – С. 276–283. 14. Грецький Д.В. Підвищення довговічності конструкції пальового фундаменту у просадочних ґрунтах II типу / П.А. Донченко, Д.В. Грецький // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2006. – Вип. 37.–С. 33–39.