

ГРУНТ ЯК ПРОВІДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Єлізаров М.О.

Кременчуцький державний політехнічний університет

Вступ. Для захисту металевих конструкцій і споруд від хімічної, електрохімічної, біологічної корозії, корозії від блукаючих струмів, та контактної корозії широко застосовують катодний захист - електрохімічний захист металу, здійснюваний поляризацією від зовнішнього джерела струму або шляхом з'єднання з металом (протектором), потенціал якого негативніший за потенціал металу, який захищають [2,3]. Катодний захист є можливим, тільки якщо конструкція й анодне заземлення перебувають в електронному і електролітичному контакті: перше досягається за допомогою металевих провідників, а друге - завдяки наявності електролітичного провідного середовища. При катодному захисті підземних металевих конструкцій (трубопроводів та ін.) саме ґрунт, в якому перебуває конструкція, є тим електролітичним провідним середовищем, яке забезпечує електричний контакт конструкції й анодного заземлення. Тому дослідження електричних властивостей ґрунту, його провідності в залежності від складу ґрунту, складу та кількості електроліту (вологи), яким він просякнутий, є необхідними для правильного розуміння процесів, що відбуваються там. Це дасть змогу проектувати ефективніші системи катодного захисту, точніше прогнозувати корозійну поведінку вже існуючих систем тощо.

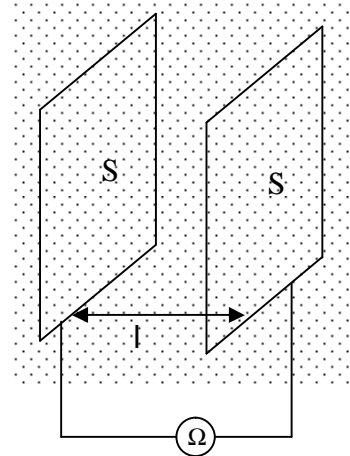
Мета роботи. На прикладі модельного ґрунту дослідити його провідність в залежності від об'ємної частки електроліту та встановити найбільш можливі механізми провідності.

Об'єкт і результати дослідження. Як модельний ґрунт для дослідів брався річковий пісок, попередньо спеціально оброблений наступним чином. Спочатку пісок просіювався кілька разів через сита з отворами різного діаметру для виділення фракції з майже однаковим діаметром піщинок, який складав біля 0,2мм. Потім кілька разів промивався звичайною водопровідною водою, а останні рази - дистильованою. Після цього пісок прожарювався для усунення органіки і знищення мікрофлори.

Вихололий до кімнатної температури після прожарювання пісок використовувався для приготування модельного вологого піску. В порцію піску додавалась порція дистильованої води, що становила певну частку від об'єму порції піску; далі суміш механічно перемішувалась до цілковитої однорідності.

Незмочуваний водою пісок одержувався додаванням у нього під час прожарювання шматочка воску. Внаслідок перемішування поверхня

кожної з піщинок вкривалася тоненькою плівочкою воску, що робило піщинки незмочуваними. Зволоження такого піску здійснювалося так само,



як описано вище.

Рисунок 1 – Схема визначення питомої провідності в об'ємі піску

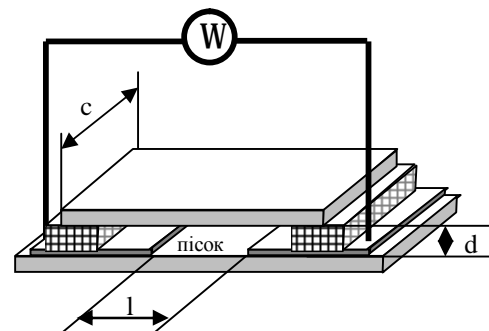


Рисунок 2 – Схема визначення питомої провідності тонкого шару піску

Питома провідність модельного зволоженого піску вимірювалась наступним чином. В об'єм піску занурювались дві однакові металеві пластини площею S , зафіксовані діелектричними деталями паралельно одна одній на відстані l (рисунок 1). Зовнішні поверхні пластин були заізольовані. Далі вся система - пісок із пластинами в ньому - утворювалась, доки пісок переставав осідати. Відтак опір піску вимірювався омметром, і питома провідність обчислювалась за формулою

$$r = \frac{l}{RS}$$

Аналогічно визначалась питома провідність тонкого шару піску. Між двома незмочуваними

(навощеними) діелектричними пластинами, віддаленими одна від одної за допомогою діелектричних прокладок на невелику відстань d , містився тонкий шар ущільненого піску. На одній з пластин мались прямокутні металеві плівки-електроди, відстань між якими була l . Електроди було замкнуто на омметр (рисунок 2). Питома провідність піску визначалась як

$$r = \frac{l}{Rcd}.$$

Результати вимірювань представлено на рисунках 3 і 4.

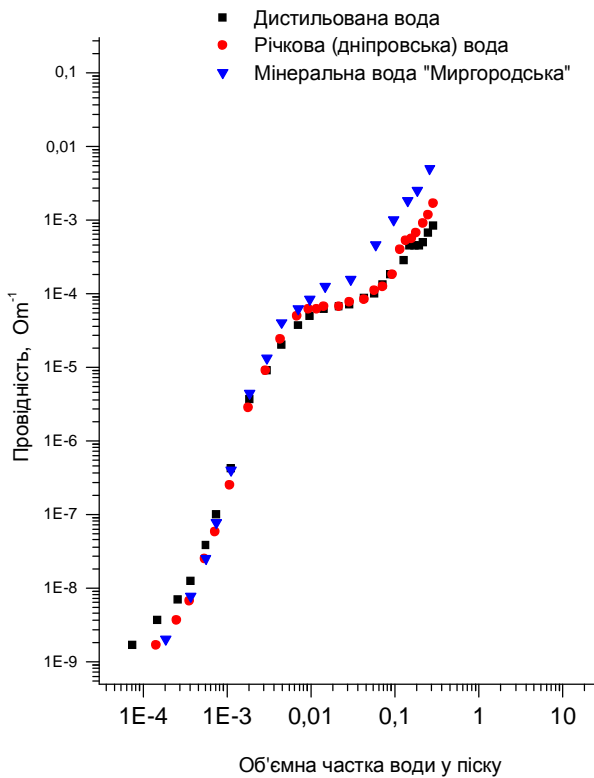


Рисунок 3 – Залежність провідності піску від об'ємної частки вологи (дистильована вода, річкова вода, мінеральна) в ньому

Вигляд залежностей провідності ґрунту від об'ємної частки електроліту в ньому (рисунок 3) свідчить про наявність двох механізмів провідності, які можна більш-менш задовільно пояснити за допомогою теорії протікання [1]. Ця теорія описує широке коло явищ, і чи не найрозробленішою натепер областю її застосувань є електричні властивості неупорядкованих систем, зокрема матеріалів, що є сумішшю двох різних речовин – діелектрика і металу. Так у нашому випадку систему – зволожений пісок – можна розглядати як суміш сухих (непровідних) і зволжених (провідних) піщинок. При додаванні вологи у ґрунт частина піщинок внаслідок змочування стає вологою. Дотикаючись одна до одної, вологі піщинки утворюють собою кластери провідності - фрактальні об'ємно-лінійні структури. Зі збільшенням кількості вологи ці кластери ростуть і, сполучаючись, утворюють провідний кластер (рисунок 5), по якому носії струму переносять заряд з електрода на електрод. При малій кількості доданої вологи у цьому провідному кластері існують лише поодинокі

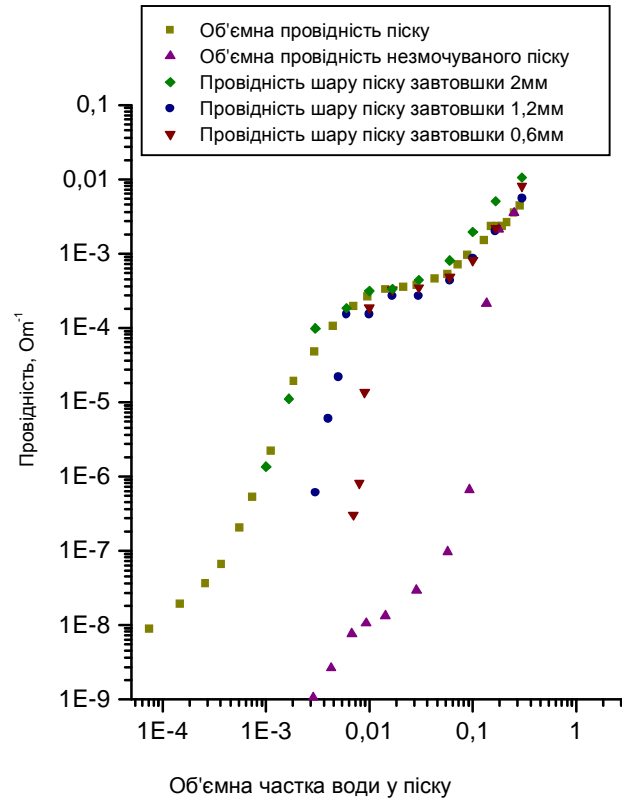


Рисунок 4 – Залежність провідності піску (пісок з незмочуваними піщинками, тонкі шари піску) від об'ємної частки вологи (дистильована вода) в ньому

доріжки, канали провідності. Додавання вологи збільшує кількість мокрих піщинок, провідний кластер росте, кількість каналів провідності збільшується, і провідність системи більшає.

Теорія протікання розглядає подібні системи у задачі твердих сфер. У цій задачі розглядається система, яка складається з добре перемішаних провід-

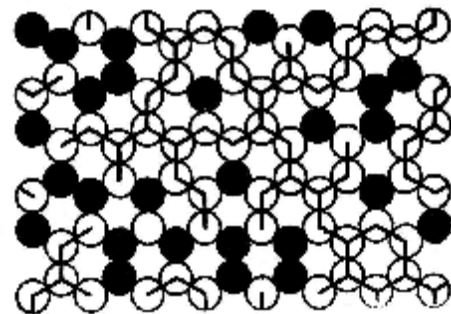


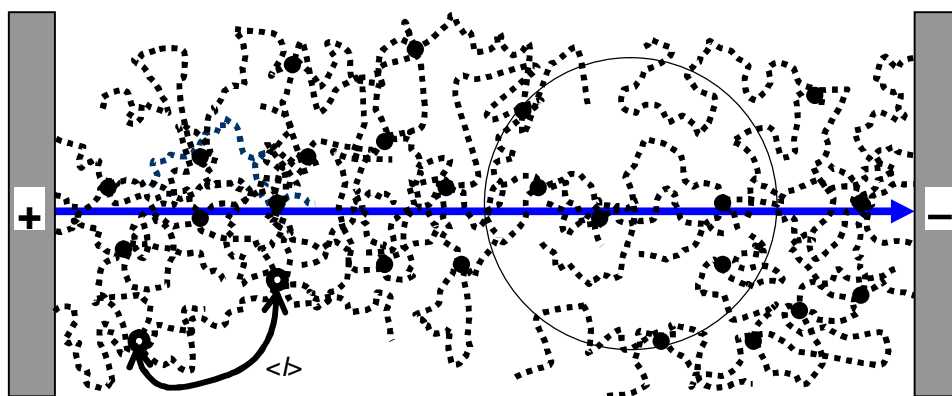
Рисунок 6 – Теорія протікання розглядає систему з добре перемішаних провідних (білі) і непровідних (чорні) кульок. Показано шляхи протікання струму через білі кульки

них і непровідних кульок (рисунок 6), і показано, що питома електропровідність таких систем прямує до нуля за законом

$$\sigma(x) = \sigma_0 (x-x_c)^t,$$

де x – відносна кількість провідних кульок, x_c – поріг протікання (таке значення x , при якому електропровідність зникає), множник σ_0 за порядком величини дорівнює питомій електропровідності системи, в якій непровідні кульки відсутні. Величину t називають критичним індексом електропровідності, і в теорії протікання встановлено, що для тривимірних систем $t = 1,6 \div 1,7$.

У нашому випадку грубо можемо вважати, що всі піщинки у ґрунті є однаковими, і кожна з них захоплює з доданої у систему води лише певну визначену її кількість – такий собі „квант” води. Тоді величина x у нашому випадку є пропорційною до об’ємної частки води в системі, а отже, провідність в залежності від неї за теорією має зростати з показником степеня, рівним 1,6-1,7. Але насправді величина провідності зростає трохи інтенсивніше. Це, певно, пов’язане з тим, що піщинки здатні захоплювати неоднакову кількість води, і величина „кванту” води не є сталою, а збільшується з додаванням води в систему.



$\langle l \rangle$ – середня довжина ланцюжка провідності між двома сусідніми вузлами кластера

Рисунок 5 – Провідний кластер – система з мокрих піщинок, яка виникає у малозволоженому піску, між двома плоскими електродами (схематичне представлення). Колом обведено вузьке місце в системі.

Жирними точками показано вузли-розгалуження кластера провідності

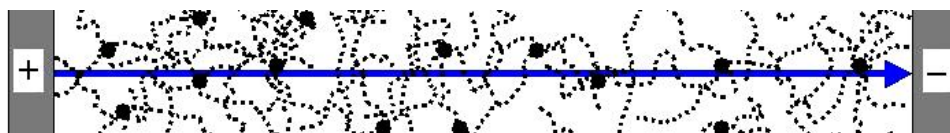


Рисунок 7 – Зменшення можливостей для самошунтування гілок кластера провідності у тонкому шарі піску

З графіку (рисунок 3) також видно, що у випадку малозволоженого ґрунту наявність домішок у воді (принаймні до величини мінералізації $\approx 3\text{г}/\text{дм}^3$) не впливає на величину провідності. Це можна пояснити тим, що у системі провідного кластера з мокрих піщинок, що електрично сполучає собою електроди, є вузькі місця, здатність яких пропускати струм є обмеженою. Справді, украй малою є ймовірність того, що мокрі провідні піщинки в піску шикуватимуться у безперервні провідні ланцюжки, що сполучали б електрично анод з катодом. Набагато ймовірнішим є існування в піску досить коротких ланцюжків провідності, хаотично розташованих в об’ємі. Ланцюжки ці перетинаються, утворюючи зв’язний кластер провідності. При цьому, зрозуміло, існують вузли-розгалуження – місця, де перетинаються два або й більше ланцюжків провідності. Отже, таку систему можна описати двома параметрами: кількістю

таких вузлів у одиниці об’єму та середньою довжиною ланцюжків провідності між двома найближчими вузлами. Чим більша зволоженість системи, тим більшою є перша величина і меншою друга, й навпаки. Логічно припустити, що при малій зволоженості піску гілки кластера провідності проходять в його об’ємі не скрізь так густо і вдало, щоб, шунтуючи одна одну, забезпечувати рівномірну провідність в напрямі анод-катод (див. рисунок 5). Крім того, в деяких місцях кластера провідності поганий електричний контакт можуть давати слабо зволожені піщинки, особливо, якщо такі піщинки є вузлами кластера.

Для перевірки слушності вище наведених припущень щодо механізму провідності у малозволоженому ґрунті було поставлено два досліди. Якщо провідність слабо вологого піску забезпечується через кластер зі зволжених піщинок, то:

1. Якщо всі піщинки зробити якимсь чином незмочуваними, провідність піску має значно зменшитись. Такий дослід було поставлено з воценим піском, методика приготування якого описано вище. Як видно з рисунку 4 при одних і тих же значеннях зволоженості звичайного і воценого піску величина провідності другого є на кілька порядків меншою, що підтверджує висловлені припущення. При сильній зволоженості величини провідності і звичайного, і воценого піску співпадають, оскільки у цій ситуації працює вже інший механізм провідності – капілярний (див. нижче).
2. Оскільки гілки кластера провідності шунтують одна одну, то у тонких шарах слабо вологого піску провідність теж має зменшуватись, бо сама геометрія системи відсікає більшість гілок кластера, що могли б забезпечувати провідність в обраному напрямі (див. рисунок 7). Справді, досліди, методику яких описано вище, засвідчили (рисунок 4), що питома провідність тонкого (<2мм) шару піску є для тих же величин зволоження значно меншою, ніж провідність грубших (від 2мм і більше) шарів, яка, своєю чергою, співпадає з величинами питомої провідності, одержаними в об'ємних вимірюваннях. Причому чим тонший шар піску, тим дужчий ефект, що також цілком логічно впливає з запропонованої моделі. Ми припускаємо, що товщина шару піску ≈ 2 мм, нижче якої спостерігається зменшення провідності, приблизно дорівнює середній довжині ланцюжка провідності між двома сусідніми вузлами кластера. Це також співмірно діаметру піщинок: 0,2мм, тож, якщо справедливе попереднє припущення, між вузлами кластера знаходиться приблизно 10 піщинок. Встановлений факт різкого зменшення провідності тонких шарів вологого піску свідчить про те, що корозія металевих поверхонь, що контактують з тоншими за 2мм шарами ґрунту (щільна корозія), відбувається зовсім інакше, ніж корозія поверхонь, що контактують з товстими пластами ґрунту. Через малу провідність цих шарів ґрунту, дієвість катодного захисту ділянок поверхонь металів, що контактують з такими шарами (щілини, тріщини в металі, в ізоляції тощо), є вельми сумнівною.

Коли більшість піщинок у системі стає зволоженою (об'ємна частка вологи в ґрунті сягає при цьому величини $\approx 0,3\%$), додавання вологи вже не впливає практично на збільшення провідності, бо не спричиняє появу нових провідних ланцюжків. Відповідно на графіку маємо поличку.

І нарешті, коли мокрими стають усі піщинки (об'ємна частка вологи в ґрунті при цьому становить $\approx 5\%$), провідність починає більшати за рахунок заповнення вологою простору між ними, внаслідок чого у ґрунті виникає розгалужена система провідних капілярів. На цій останній ділянці провідність збі-

льшується так, як і передбачає для таких випадків теорія протікання [1], а саме з показником степеня $1,6 \div 1,7$. Це можна легко пояснити, якщо уявно поділити товщу вологи, яка заповнює собою порожнини між піщинками, на окремі об'ємчики, завбільшки з піщинку, і звести таким чином задачу до задачі твердих сфер, розглядаючи самі піщинки як непровідні кульки, а уявні об'ємчики вологи – як провідні.

Висновки. На прикладі модельного ґрунту досліджено його провідність в залежності від об'ємної частки електроліту. Встановлено найбільш можливі механізми провідності, а також те, що провідність тонких шарів піску значно відрізняється від провідності суцільного його об'єму, що створює специфічні умови катодного захисту металу в ґрунті у випадку щільної корозії, щільних порушень ізоляції тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Эфрос А.Л. Физика и геометрия беспорядка. – М.: Наука, 1982.– 176с.
2. Стрижевский И.В., Зиневич А.М., Никольский К.К. и др. Защита металлических сооружений от подземной коррозии.- М.: Недра, 1981.– 293с.
3. Сборник руководящих материалов по защите городских подземных трубопроводов от коррозии.– Л.: Недра, 1987.– 406 с.

Стаття надійшла 25.04.2006 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Артамоновим В.В.