

В.В. Журав, О.І. Єлізаров

Особливості електропровідності вологого ґрунту залежно від механічного складу

*Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39614, Україна, E-mail: fizika@kdu.edu.ua*

В статті досліджено електропровідність дисперсного середовища ґрунту на прикладі модельного ґрунту, яким виступали пісок, глина або їх поєднання в залежності від його зволоженості та механічного складу. Проведено оцінку порогу протікання з застосуванням теорії перколяції.

Ключові слова: електропровідність дисперсного середовища, теорія перколяції, катодний захист.

Стаття постуила до редакції 10.09.2010; прийнята до друку 15.06.2011.

Вступ

Вологий ґрунт, який становить природне дисперсне середовище, відіграє дуже важливу роль в геологічних, біохімічних процесах. Зважаючи на широку варіаторику властивостей ґрунту, обумовлених розмірами частинок, які їх утворюють (від мікронів до міліметрів), відсотковим їх вмістом в загальній масі, рівнем зволоженості, силовими полями взаємодії, типовими серед яких в природних умовах є ван-дер-ваальсівські сили і гравітація ґрунт дуже складний для дослідження. Вода найбільше впливає на властивості ґрунту, незначної її кількості достатньо, щоб його частинки почали злипатися, за рахунок сил поверхневого натягу плівок води, що оточують ці частинки. Надлишок вологи надає йому великої текучості. Таким чином, ґрунт характеризується тим, що при певних параметрах його властивості різко змінюються, і саме для теорії перколяції (провідності) предметом дослідження є «критичні явища» [1]. Теорія перколяції адекватно описує більшість систем, в яких має місце геометричний фазовий перехід, наприклад перехід провідник-діелектрик в системах провідних і непровідних частинок. А саме вмістом вологи, і її розподілом визначається електропровідність ґрунту. Дослідження електропровідності ґрунту є дуже важливою задачею, з огляду на те, що саме він виступає електролітичним середовищем при катодному захисті металоконструкцій. Вся корозійна наука для підземних споруд [2] (навіть та, що розглядає локальні корозійні процеси) базується на тому, що вологий ґрунт вважається суцільним електролітом, що забезпечує електричний контакт між катодом і жертвними анодами. Однак

зрозуміло, що за умов зменшеної вологості це взагалі-то не так, оскільки дисперсна система ґрунту не являється суцільним електролітом.

В роботах [5, 6] експериментально встановлено залежність провідності піску від об'ємної частки води, і показано, що провідність відбувається за кластерним механізмом. І у зволоженому ґрунті реалізується два механізми провідності: по зволоженим піщинкам і капілярний. При малих концентраціях вологи вона не може знаходитись на кожній піщинці, інакше б це значно збільшило енергію поверхневого натягу. Мінімізація енергії поверхневого натягу є тією причиною, яка приводить при малих кількостях вологи до утворення бінарної системи “зволожені піщинки і сухі піщинки”. 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, по якому носії струму переносять заряд з електрода на електрод. При малій кількості доданої вологи у цьому провідному кластері існують лише поодинокі доріжки, канали провідності. Додавання вологи збільшує кількість мокрих піщинок, провідний кластер росте, кількість каналів провідності збільшується, і провідність системи більшає. Потім система виходить на етап певного насичення, коли додавання вологи суттєво не збільшує її провідність. Провідність зростає за рахунок збільшення пропускну здатності каналів провідності. Цікавим з нашої точки зору є дослідження провідності вологого ґрунту, залежно від механічного складу, оскільки природні ґрунти являють собою систему частинок різних розмірів.

Мета роботи. Дана робота присвячена дослідженню провідності дисперсної системи, якою

являється зволожений модельний ґрунт, в залежності від масової частки води і механічного складу ґрунту.

I. Матеріал і результати досліджень

В якості модельного ґрунту використовувалися річковий пісок, глина або поєднання глини з піском в певному відсотковому співвідношенні. Оскільки об'єм піску, а особливо глини сильно залежить від вмісту води і механічної ущільненості, то використовувалося поєднання по масі. Щоб зменшити вплив органічних частинок, які є в ґрунті, він декілька разів промивався водою, останні рази дистильованою, після цього прожарювався. Потім в порцію модельного ґрунту додавалась порція дистильованої води, яка становила певну масову частку. Далі суміш ретельно перемішувалася. Питома провідність визначалася за допомогою установки, схема якої показана на рис. 1. Зволожений ґрунт поміщався в діелектричну ємність циліндричної форми з внутрішнім діаметром $D = 24$ мм і висотою $h = 38$ мм, основами виступали сталеві електроди. Для визначення опору ґрунту між електродами був включений вимірвальний міст Р-333.

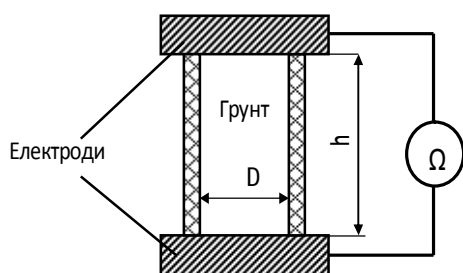


Рис. 1. Схема установки для дослідження провідності ґрунту.

Потім питома провідність вираховувалася за формулою:

$$\gamma = \frac{h}{RS} = \frac{4h}{\pi RD^2}$$

Експериментальні дані дослідження провідності показані на рис. 2.

При зволоженні піску вода розподіляється по піщинках і утворюється бінарна система зі звожених і сухих піщинок. Якщо кількість звожених піщинок менша деякого значення, що відповідає порогу протікання, то можна говорити про його електролітичну непровідність. За нашими підрахунками цей поріг становить 24%. Коли кількість звожених піщинок перевищує 24% система звожених піщинок утворює провідний кластер. Подальше збільшення води призводить до стрімкого зростання провідності за рахунок зростання каналів провідності. Це зростання відбувається до тих пір поки всі піщинки не стануть звоженими. Це відповідає переходу до пологої частини кривої для піску (рис. 2). Подальше зростання провідності відбувається повільніше за рахунок розширення каналів провідності, оскільки тепер збільшується лише товщина плівки води на

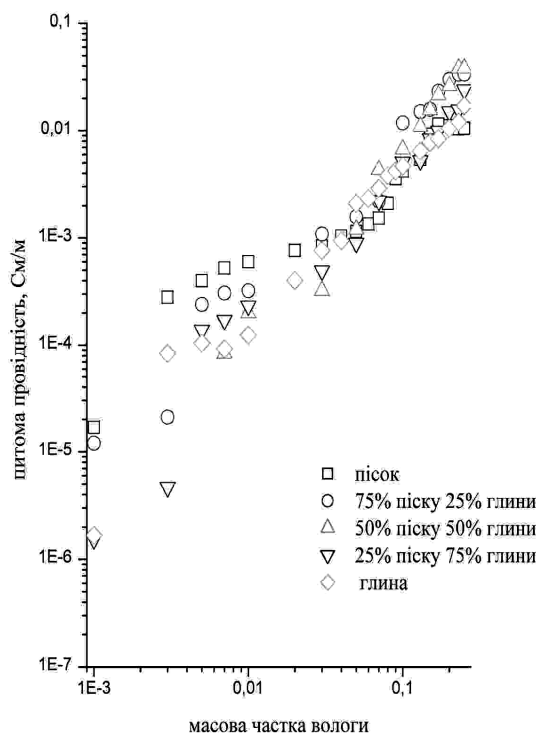


Рис. 2. Залежність провідності модельного ґрунту від масової частки води (дистильована вода) в ньому.

піщинках. Це відбувається до насичення піску до максимальної молекулярної вологоємності 1,6 - 2% по об'єму або 2,5 - 3,2 % по масі (табл. 2). по графіку це відповідає закінченню пологої частини кривої. Далі збільшення провідності піску відбувається за рахунок води, яка заповнює простір між піщинками.

Інша картина виникає коли дисперсним середовищем є глина. Дуже дрібні її частинки здатні прийняти велику кількість води. Це призводить до нерівномірного розподілу звожених і сухих частинок утворюючи "островки" звожених частинок оточені сухими. Таким чином, слабо звожена глина має погану провідність через відсутність електролітичного контакту з "островками" (рис. 2). при збільшенні води зростає кількість "островків" і зменшується відстань між ними, і відповідно провідність зростає. Можна зробити висновок, що глина порушує кластерний механізм провідності, забираючи на себе воду, і, як наслідок, порушується електропровідність ґрунту при слабкому зволоженні. При катодному захисті це може вплинути на погіршення електролітичного контакту між захищеною конструкцією і жертвними анодами. В роботі [7] хемографічним методом візуалізовано дію слабо звоженого ґрунту через вузьку щілину на поверхню твердого тіла. І показано, що окислення поверхні відбувається з перших годин цієї дії, навіть без безпосереднього контакту, лише завдяки парі води. Суміші глини і піску показують дещо більшу провідність. Це пояснюється більш щільною упаковкою даної системи – глина займає проміжки між піщинками.

Оскільки слабо зволожений ґрунт виступає як сукупність звожених і сухих частинок, то таку

систему можна розглянути з точки зору теорії перколяції. Серед існуючих задач теорії перколяції найбільш прийнятною для нашого випадку є задача твердих сфер [1]. Прийmemo, що наш ґрунт складається з частинок однакового розміру. Нехай x - відношення числа провідних піщинок до загального числа. Коефіцієнт заповнення $f = 67\%$ - частина об'єму ґрунту, який займають піщинки візьmemo з таблиці 1 [3]. Поріг протікання для задачі твердих сфер становить 0,16. Тоді доля об'єму, зайнята провідними (зволоженими) піщинками буде рівна $f \cdot x$. Якщо на порозі протікання ця доля об'єму рівна 0,16, то критичне значення x_c можна знайти з умови $f \cdot x_c = 0,16$.

Звідси

$$x_c = \frac{0,16}{f} = 0,24$$

Таким чином доля провідних піщинок повинна складати 24 % від загального числа.

Таблиця 1

Пісок	Діаметр зерен, мм	Пористість ущільненого піску, %
Великий	2 - 1	33,4
Середній	1 - 0,5	33,63
Дрібний	0,5 - 0,25	33,42
Пил	0,25 - 0,05	39,6

Оцінимо кількість води на порозі протікання. З розрахунку 1 м^3 піску об'єм піщинок становить $0,67 \text{ м}^3$. При діаметрі піщинки $0,4 \text{ мм}$ їхня кількість становитиме $N = \frac{6 \cdot 0,67}{\pi d^3} = 2,0 \cdot 10^{10}$ штук.

Товщина плівки води на поверхні піщинки може складати від кількох десятків нанометрів [4] до кількох тисяч, якщо рахувати по максимальній молекулярній вологості. При товщині водної плівки $h = 150$ нанометрів, об'єм води на піщинці становитиме

$$V_0 = \pi \cdot d^2 \cdot h = \pi (0,4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 150 \cdot 10^{-9} = 7,5 \cdot 10^{-14}$$

м^3 , а враховуючи їх кількість, об'єм води для покриття всіх піщинок становитиме $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. В перерахунку на масову частку води, її доля необхідна для покриття піщинок становитиме $2,4 \cdot 10^{-3}$, що

Таблиця 2

Матеріал	Фракція, мм	Максимальна молекулярна вологості, %
<u>Пісок:</u>		
великий	1 - 0,5	1,57
середній	0,5 - 0,25	1,6
дрібний	0,25 - 0,1	2,73
дуже дрібний	0,1 - 0,05	4,75
пил	0,05 - 0,005	10,18
<u>Глина</u>	0,005 - 0	44,85

узгоджується з експериментальними даними (перехід до пологої частини кривої (рис. 2) для піску).

Враховавши поріг протікання 24 %, частина води складе $3,7 \cdot 10^{-4}$ по об'єму, що в масовій частці буде становити $5,9 \cdot 10^{-4}$.

Отже можна говорити про непогане співпадання експериментальних даних з розрахунками і можливість застосування теорії перколяції до таких систем.

Щодо глини, ми таку оцінку провести не можемо, оскільки волога в такій системі розподіляється не рівномірно.

Висновки

На прикладі модельного ґрунту досліджено його провідність в залежності від масової частки електроліту і механічного складу. Показано, що провідність вологого ґрунту значною мірою залежить як від вмісту води, так і при малих її концентраціях від механічного складу, що потрібно враховувати при прокладанні підземних комунікацій і трубопроводів. Проведено оцінку порогу протікання з застосуванням теорії перколяції.

Журав В.В. – асистент кафедри фізики;
Єлізаров О.І. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедрою фізики.

- [1] А.Л. Ефрос. *Фізика і геометрія беспорядка*. Наука, М. 176 с. (1982).
- [2] Я.А. Середницький, В.В. Супрун, В.С. Бодак і др. Микробиологическая коррозия стальных трубопроводов и изоляционных покрытий // *Физико-химическая механика материалов*, 4, сс. 97-101 (1988).
- [3] В.А. Воробьев. *Строительные материалы*. М. (1979).
- [4] А. Шишлова. *Песок сухой, влажный и звучащий* // Наука и жизнь, (6), (1999).
- [5] М.А. Yelizarov. Visualization of early stages of corrosion processes by a chemography method // *Surface and Interface Analysis*, 38, pp. 263-266 (2006).
- [6] О.І. Єлізаров, М.О. Єлізаров, В.В. Журав, О.П. Руденко. Особливості електропровідності дисперсної системи вологого ґрунту. // *Вісник кийського університету. Серія: фізико-математичні науки. Випуск (2)*, сс. 371-378 (2007).

- [7] О.І. Єлізаров, В.В. Журав Про деякі аспекти щільової корозії // *Фізика і хімія твердого тіла*, **9** (3), сс. 635-638 (2008).

V.V. Zhurav, O.I. Elizarov

The Particularities to Conduction Humid Soil Depending on Mechanical Composition

*Kremenchuk Mykhaylo Ostrogradskiy State University, 20 Pershotravneva Str., Kremenchuk, 39614, Ukraine,
E-mail: fizika@kdu.edu.ua*

In article explored conduction dispersion ambience of the soil on example of the model soil, which emerged sand, clay or their association depending on his moisture and mechanical composition. The Organized estimation threshold percolation with using the theories percolation.

Key words: conduction dispersion ambiances, theory percolation, cathode protection.