

2. Gusev B.V., Kondrashchenko V.I., Diuzhenko M.G., Nosalskiy S.A. Throwing device for laying and compacting of concrete and other construction mixtures // Russian Patent 2217302. Bulletin # 33, 2003, p. 24 (in Russian).
3. Kondrashchenko V.I., Kondrashchenko E.V., Guzenko S.V., Grebennikov D.A., Kovrevskiy A.P., Tran Thi Thu Ha. Device for rotary laying of mortar and concrete mixtures // Utility Patent RU 84294 of 04.03.2009 (in Russian).
4. Industrial measurements. Reference book: In 3 vols.: Translated from German. Moscow: Metallurgiya, 1990. – Vol.1: Theoretical foundations. – 492 pp. (in Russian).
5. Denisyuk, Yuri N. On the reflection of optical properties of an object in a wave field of light scattered by it. Doklady Akademii Nauk SSSR 144 (6): 1275–1278, 1962.
6. Charles M. Vest. Holographic interferometry. – Moscow, Mir, 1982. – 504 pp. (in Russian).
7. Berg O.Y., Shcherbakov E.N., Pisanko G.N. High strength concrete / Edited by O.Y.Berg – Moscow: Gosstroyizdat, 1971. – 208 pp. (in Russian)
8. Kondrashchenko V.I., Polonskiy Y.V., Khristich V.V., Babushkin V.I. A study in cement rock and concrete deformation under mechanical and thermal stress by holographic interferometry method // Mekhanika kompozitsionnykh materialov. 1996. Vol. 32. № 2. Pp. 202-208.

УДК 624.131

Трикоз Л.В., Савчук В.Ю.*Український державний університет залізничного транспорту*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗМІНИ ПИТОМОГО ОПОРУ ҐРУНТУ ВІД КІЛЬКОСТІ АКТИВНОГО МУЛУ СТАНЦІЙ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ

Вступ. Умови експлуатації залізобетонних конструкцій, розташованих поблизу електрифікованих об'єктів (міський електротранспорт, залізниці, метрополітен), мають одну особливість, а саме вірогідність дії додаткового чинника – електричного струму. При проходженні струму рейками частина його відгалужується в землю (струми витоку, блукаючі струми), використовуючи її як паралельний їм провідник. Розрахунковий питомий опір ґрунту – це параметр, що визначає особливий рівень «електропровідності» землі як провідника, тобто як швидко буде розтікатися в такому середовищі електричний струм. Дія електричного струму призводить до корозії арматури і бетону, що в кінцевому рахунку викликає руйнування конструкцій. Від показника питомого опору ґрунту залежить надійність та довговічність споруд.

Ґрунти поділяють на електронні провідники, або провідники першого роду, в яких заряди переносяться вільними елект-

ронами, і на іонні провідники, або провідники другого роду, в яких електричні заряди переносяться іонами у розчинах, що заповнюють пори і тріщини ґрунту. До першої групи ґрунтів відносяться невелика кількість порід – таких, як саморідні метали, сульфідні, графіт, антрацит. До другої всі інші породи, з якими зазвичай доводиться працювати при інженерно-геологічних вишукуваннях, у тому числі і при передпроектних вишукуваннях. У природних умовах завжди є обидва роду провідності, але залежно від того, яка з них домінує, ґрунти відносяться до тієї чи іншої групи. Провідність ґрунтів другої групи буде залежати від багатьох факторів: виду ґрунтів, ґрунтоутворюючих і геологічних порід, коливань рівнів ґрунтових вод, кількості опадів, температури і вологості повітря, концентрації в них розчинних хімічних речовин (солей, кислотних і лужних залишків), характеру рослинності, господарської діяльності людини та ін. При негативних температурах ґрунт різко підви-

щує свій питомий опір, що пов'язано з переходом води в інший агрегатний стан, через що майже припиняються процеси переносу заряду іонами солей і кислотними/лужними залишками. Навпаки, з підвищенням температури на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ питомий опір ґрунтів зменшується приблизно на 2 %. Аналіз факторів впливу на електропровідність ґрунтів було виконано у [1]. Встановлено, що електропровідність також залежить від структури та розмірів частинок в ґрунті. Зазначена залежність, має фундаментальну основу, яка ґрунтується на рівняннях та ідеях Максвелла. Залежність між структурою та розмірами частинок в основному обчислюють за допомогою урахування об'єму основного середовища і домішкової фази, а також форми частинок, які бувають сферичні, циліндричні, у формі витягнутих еліпсоїдів та тонких витягнутих пластин. Електропровідність різних типів ґрунтів коливається у широких межах. Так, питомий опір шлаків та засолених ґрунтів може становити від 0,6 до 7,0 Ом·м, глини та суглинків від 0,34 до 16,0 Ом·м, гравію та піску від 59,0 до 458 Ом·м. Як бачимо, електропровідність суттєво залежить від структури ґрунту.

Електропровідність значною мірою залежить від температури. З підвищенням температури питомий електричний опір ґрунтів зменшується, і як наслідок – електропровідність підвищується. Наприклад, як показано у [1], електричний опір порід при збільшенні температури на $40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ зменшується більше ніж у 2 рази. З пониженням температури ґрунту й утворенням льоду в його порах електричний опір різко збільшується, що дає в результаті низьку електропровідність ґрунту. Добре провідні ґрунти втрачають свої властивості при відсутності вологи. Для більшості ґрунтів 30% вмісту вологи достатньо для забезпечення малого опору. Наприклад, для суглинків об'ємний опір при вологості 5 % складає $165\ 000\ \text{Ом/см}^3$, а при вологості 30% – $6\ 400\ \text{Ом/см}^3$.

Дослідження електропровідності ґрунту є дуже важливою задачею з огляду на те, що саме він виступає електролітичним середовищем при катодному захисті

металоконструкцій. Про негативну дію струмів витоку згадувалося в роботі [2], де описано випадок виникнення пожежі внаслідок витоку газу з трубопроводів. Коли розкрили труби, вони виявилися пробитими низкою круглих правильних отворів. Це були наслідки електрокорозії. Дослідження фахівців показали, що на трасах залізничних колій, якими рухається електропотяг, а також на ділянках трамвайних рейок виникають блукаючі струми. У місцях входу електроструму в трубопроводі, укладені в ґрунтах, утворюється так звана катодна зона, а на ділянках виходу – анодна. На останніх і розвивається інтенсивний корозійний процес, який породжує своєрідні форми руйнування металевих труб. Виявилося, що корозійність ґрунтів залежить від їх електричного опору: чим вищий опір, тим менша корозійність. Досить виміряти питомий електроопір ґрунтів, і тоді можна легко назвати ступінь корозійної небезпеки. Якщо його величина менше 5 Ом·м, то ґрунт оцінюється як високоагресивний по відношенню до металів, а при значеннях більше 100 Ом·м корозійність незначна. Вся корозійна наука для підземних споруд (навіть та, що розглядає локальні корозійні процеси) базується на тому, що вологий ґрунт вважається суцільним електролітом, що забезпечує електричний контакт між катодом і анодом. Однак, за умов зменшеної вологості це не відповідає дійсності, оскільки дисперсна система ґрунту не є суцільною, а є матеріалом, в якому багато складових з різними фізичними властивостями поєднано випадковим чином [3]. Тому, в роботі [4] слабо зволожений ґрунт розглядається як сукупність звожених і сухих частинок, і електропровідність такої системи досліджується з точки зору теорії перколяції. Встановлено, що суміші глини і піску показують дещо більшу провідність у порівнянні з чистим піском. Автори [4] пояснюють це більш щільною упаковкою даної системи – глина займає проміжки між піщинками.

В експериментальних дослідженнях [5] виявлена залежність діелектричної проникності зв'язаної води від товщини плівки на поверхні ґрунтових частинок – зі

збільшенням товщини плівки діелектрична проникність зростає. Найвиразніше ця залежність проявляється в ґрунтах з високим вмістом гумусу, де значна частина води (до половини її можливої кількості) знаходиться в зв'язаному стані. Збільшення часу релаксації автори [5] пов'язують зі збільшенням вільної енергії поверхні води через структурної перебудови гідрофобних компонентів і зменшення ентропії в поверхневому шарі, що в підсумку призводить до збільшення енергії активації молекул зв'язаної води в порівнянні з молекулами об'ємної. Збільшення вільної енергії поверхні зв'язаної води автори [5] пояснюють збільшенням кількості водневих зв'язків, які призводять до збільшення коефіцієнта поверхневого натягу зв'язаної води. Наявність додаткових водневих зв'язків в поверхневому шарі води призводить до орієнтації диполів нормально до поверхні (близько 30% диполів орієнтоване нормально до поверхні) і до зменшення ентропії поверхневого шару.

Наявність заряду на частинках глини і реальність електрокінетичних явищ в глинистих ґрунтах підтверджується даними з [6], де виконані дослідження електрокінетичного впливу на шлікер, який є глинистою суспензією. Результати показали, що електричне поле призводить до електроосмотичного зневоднення, електрофоретичних явищ переносу заряджених частинок в електричному полі, а також активації глинистих мінералів у процесі складних фізико-хімічних перетворень в структурі. Всі ці процеси знаходяться в прямій залежності від мінерального складу сировини, а також природи і кількісних характеристик накладеного електричного поля. Порівнюючи зразки ґрунту після дії електричного поля з катодної та анодної зон, автори встановили перерозподіл монтморилоніту та утворення різних за щільністю структур. Отже, дія електричного струму може привести до розпушення ґрунту на окремих ділянках та втрати їми стійкості.

В останні роки спостерігається тенденція щодо збільшення утилізації деяких видів промислових відходів шляхом їх

включення в матриці, із яких вони не будуть вимиватися в оточуюче середовище. Одним із основних споживачів промислових відходів є будівельні виробництва. Наприклад, дуже широкого розповсюдження набуває використання шлаків металургійних підприємств. Шлаки використовуються для влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом або бітумом [7, 8]. Також для влаштування та ремонтів шарів дорожнього одягу і для укріплення узбіч на автомобільних дорогах використовують щебінь та щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних (доменні, сталеплавильні та шлаки кольорової металургії) [9]. Для запобігання розповсюдженню струмів витоку, особливо при влаштуванні основ земляного полотна залізниць, вказані суміші теж повинні мати достатній електроопір. Однак, результати вимірювань електропровідності ґрунтових композицій із шлаком не є однозначними. Для кислого шлаку зі збільшенням його кількості величина питомої провідності ґрунту зростає, для основного – знижується [10].

У роботі [11] показано можливість використання осадів від очищення води станцій для питних і стічних вод у складі будівельних розчинів. Активний мул – це продукт очищення стічних вод і є складним органо-мінеральним комплексом, органічна частина якого є біомасою з частково розкладеними окисленими органічними речовинами стічних вод, а також азот- і фосфорвмісними сполуками. На відміну від хімічних реагентів до складу активного мулу входять до 80 % органічних і близько 20% мінеральних домішок (мінеральний азот, фосфор P_2O_5 , калій K_2O , залізо Fe_2O_3 та інші). Білки, які входять до складу активного мулу, містять функціональні групи $-COOH$, $-NH_2$, $-OH$ і можуть відігравати роль поверхнево-активних речовин. Такі речовини названо в роботі [12] біосуперпластифікаторами.

Головною метою будівництва на електрифікованих ділянках є захист споруд від впливу електричного струму. Існує два основних способи захисту конструкцій – активний та пасивний. Однак жоден

з них не передбачає шляхи підвищення електричного опору ґрунтів основ споруд для зниження величини струмів витоку. Проаналізувавши попередні публікації стосовно дослідження питомого опору ґрунту в залежності від складових композиційного ґрунтового матеріалу, можна зробити висновки, що існуючі сучасні публікації повною мірою не розглядають вплив органічних і неорганічних домішок на питомий опір ґрунту. Враховуючи вищевикладене, для підвищення питомого опору ґрунту та вирішення проблеми негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини, запропоновано використання активного мулу.

Метою досліджень було визначення оптимальної кількості активного мулу, при додаванні у ґрунт якої спостерігається збільшення питомого опору з урахуванням кореляційних зв'язків між електричними та іншими властивостями (щільністю, пористістю). Крім того, застосування активного мулу вирішує проблему його утилізації.

Основний матеріал експериментальних досліджень. Принцип збільшення питомого опору ґрунту за рахунок додавання до нього активного мулу полягає в зменшенні рухливості катіонів при іонному механізмі електропровідності. Вказані процеси та реакції безумовно впливають на показник питомого опору ґрунту, внаслідок чого виникає ґрунтовий матеріал з новими фізичними та хімічними властивостями.

Для досягнення мети було досліджено залежність показника питомого опору ґрунтових матеріалів від вмісту в них активного мулу, який змінювався від 5 до 50 %. Для порівняння з традиційними методами закріплення ґрунтів було здійснено вимірювання опору зразків з такою ж кількістю вапна. Із суміші глини, води й активного мулу або вапна були виготовлені зразки, які, після витримання в нормальних умовах протягом 7 діб, поміщали у вимірювальну комірку. Електричний опір вимірювався при нормальній вологості, яка досягалася шляхом зрошення поверхні ґрунту потрібною кількістю дистильованої води, одержаної розрахунком,

виходячи із маси ґрунту в ємності. Вимірювання проводились цифровим мультиметром DT9208A декілька разів з інтервалом в 1 годину до стабілізації результату. За результатами вимірювань побудовано графіки залежності питомого електричного опору ґрунту від кількості активного мулу та вапна (рис. 1).

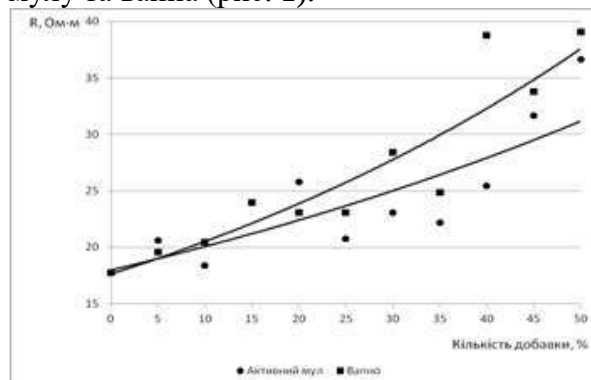


Рис. 1. Змінення питомого опору від кількості добавок

Як свідчать дані, наведені на рисунку, збільшення кількості активного мулу та вапна призводить до збільшення питомого електроопору зразків. Активний мул біологічних очисних споруд містить три складові: біологічну (мікроорганізми, найпростіші, водорості, гриби); органічну (нуклеїнові та амінокислоти, білки, полісахариди, гумусові кислоти і ін.); неорганічну (гідроксиди, фосфати, карбонати, силікати і т. д.). Білки містять функціональні групи $-COOH$, $-NH_2$, $-OH$, які взаємодіють з гідроксильними групами, розташованими на поверхні частинок ґрунту і утворюють просторові структури. У нормальному стані частинки ґрунту утримуються електричними силами взаємодії, які утворюють шари негативно заряджених іонів на поверхні частинок. Ці шари визначають ступінь змочуваності частинок. Після того, як аніони OH^- замінюються на поверхні частинок ґрунту на молекули активного мулу, шар стабілізованого ґрунту отримує підвищену щільність і додаткову міцність. Високу спорідненість до твердої поверхні мають гуміноподібні речовини. Взаємодія гумусових кислот з силікатами й алюмосилікатами можлива за рахунок зв'язування гумінових речовин з OH^- .

групами адсорбенту або шляхом утворення мінеральних містків. Додаток активного мулу в ґрунт знижує висоту капілярного підняття і силу капілярного тиску води за рахунок підвищення щільності, зменшення діаметра пір ґрунту і наявності поверхнево-активних речовин, що послаблюють сили поверхневого натягу. Ці речовини утворюють з частинками ґрунту гідрофобізовані міцели, які асоціюються один з одним за рахунок поверхневої взаємодії й утворення іонних зв'язків. Це призводить до зменшення рухливості катіонів у поровому розчині ґрунтових матеріалів, а, отже, до зменшення електропровідності композиції.

Уведення вапна призводить до дещо більшого підвищення електроопору за рахунок утворення продуктів гідратації та більшого зневоднення зразків. Але виробництво вапна є енерговитратним виробництвом, тому вартість закріплення ґрунтів у цьому випадку буде дуже великою. Навпаки, активний мул є безкоштовним відходом, а його утилізація вирішує важливу екологічну проблему звільнення мулових полів навколо великих міст та повернення земель до повноцінного використання.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено, що величина питомого опору ґрунтових матеріалів змінюється від 17 до 37 Ом·м із збільшенням кількості активного мулу та інших добавок. Підвищення опору пояснюється збільшенням у ґрунті дрібнодисперсної фракції активного мулу, який за рахунок взаємодії функціональних груп з іонами порового розчину зменшує їх рухливість, що призводить до зменшення іонної провідності матеріалу в цілому. Застосування активного мулу також поліпшує екологічну ситуацію навколо міст.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мадюдя, І.А. Аналіз впливу електропровідності ґрунту на його хіміко-мінералогічні властивості [Текст] / І.А. Мадюдя, О.М. Штундер // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 4. – С. 51-55.

2. Ларионов, А.К. Занимательное грунтоведение [Текст] / А.К. Ларионов. – М.: Недра, 1974. – 280 с.
3. Трикоз, Л.В. Огрунтовавання вибору моделі зміни діелектричних властивостей несучильних систем [Текст] / Л.В. Трикоз, І.В. Багіянц // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. А.В. Лазаряна, 2016. – № 3 (63). – С.120-129. – Access Mode: DOI: 10.15802/stp2016/74734.
4. Журав, В.В. Особливості електропровідності вологого ґрунту залежно від механічного складу [Текст] / В.В. Журав, О.І. Єлізаров // Фізика і хімія твердого тіла, 2011. – Т. 12. – № 3. – С. 791-794.
5. Беляева, Т.А. Зависимость диэлектрической проницаемости связанной воды в почвах от ее количества [Электронный ресурс] / Т.А. Беляева, П.П. Бобров, О.А. Ивченко, В.Н. Мандрыгина. – Режим доступа: <http://www.iki.rssi.ru/earth/articles/06/vol2-281-286.pdf>. Загл. с экрана. (Дата обращения 25.06.2012).
6. Корнилов, А.В. Физико-химические процессы, протекающие в глинистом сырье при электрокинетическом воздействии [Электронный ресурс] / А.В. Корнилов, Т.З. Лыгина, Н.И. Наумкина и др. // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов: сб. науч. статей по матер. российского семинара по технологической минералогии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – С. 118-121. Режим доступа: <http://ig.krc.karelia.ru/publ.php?plang=r&id=7559>. (Дата обращения 05.03.2013).
7. ГБН В.2.3-37641918-554:2013. Автомобильные дороги. Шари дорожного одеяла из каменных материалов, отходов промышленности и грунтов, укрепленных цементом. Проектирования та строительства. – К.: Укравтодор, 2013. – 43 с.
8. ВБН В.2.3-218-537:2008. Споруди транспорту. Влаштування шарів дорожного одеяла методом ресайклінгу з використанням гранульованих доменних шлаків. – К.: Укравтодор, 2008. – 13 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-149:2008. Будівельні матеріали. Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови. –К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 15 с.

10. Trykoz, L.V. Investigation into Electrical Conductivity of the Multicomponent System of Trackbed [Text] / L.V. Trykoz, I.V. Bagiyanc, V.Yu. Savchuk, O.M. Pustovoitova, S.M. Kamchatnaya, O.S. Saiapin // International Journal of Engineering Research in Africa, 2016. – Vol. 25. – Pp. 52-57. – Access Mode: DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.25.52.
11. Yanev, I. Possibilities for the use of Sludge from Water Treatment Plants in the Civil Engineering Practice [Text] / I. Yanev, M. Radenkova-Yaneva // Proc. 16. Internationale Baustofftagung, 20-23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. – Band 1. – P. 1019-1024.
12. Crépy, L. First step towards Bio-superplasticizers [Text] / L. Crépy, J.Y. Petit, N. Joly, E. Wirquin, P. Martin // Proceeding of the 13th International Congress on the Chemistry of Cement. – Madrid, Spain. – 3-8 July, 2011. – P. 114.

УДК 624.152.61

Болотских Н.С.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ЗАБОЙНОЕ ВАКУУМНОЕ ВОДОПОНИЖЕНИЕ ПРИ СООРУЖЕНИИ НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК В ОБВОДНЕННЫХ И СЛАБОУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ

Введение. Строительство наклонных выработок различного назначения (стволы угольных и горнорудных предприятий, экскалаторные тоннели метрополитенов, наклонные подземные переходы и др.) нередко приходится вести в сложных гидрогеологических условиях. В таких условиях наиболее часто используется вакуумное водопонижение, при котором с помощью различных технических средств и технологий осуществляется снижение уровня грунтовых вод до требуемой отметки и в «осушенных» грунтах ведутся строительные работы (выемка грунта, крепление стенок и забоя выработок и др.).

При сооружении наклонных выработок в Украине в последние десятилетия находит применение забойное вакуумное водопонижение с помощью установок забойного водопонижения УЗВ, УЗВ-3, УЗВМ-3у и УВВ-2 [1,2]. Краткому обобщению наиболее эффективных достижений ХНУСА в этой области и дальнейшему расширению их применения в Украине посвящается настоящая статья.

Целью настоящего исследования является совершенствование технологии и технических средств забойного вакуумного водопонижения при строительстве

наклонных выработок различного назначения в сложных гидрогеологических условиях.

Результаты исследования. В Украине впервые по предложению ХНУСА (бывшего Харьковского инженерно-строительного института) и ВНИИОМШСа [3, 4] забойное вакуумное водопонижение было применено при строительстве наклонного ствола бурого угольной шахты №4 в Александрийском районе Кировоградской области (рис. 1).

Этот ствол сечением 14,6 м² (в свету) сооружался в основном в обводненных мелкозернистых и пылеватых песках с низкой водоотдачей и в углистых глинах.

Коэффициент фильтрации песков в месте производства работ составлял 0,4÷1,65 м/сутки. Для снижения общего уровня грунтовых вод на участке строительства ствола были пробурены две скважины, которые оборудовались насосами типа АТН [1]. Однако, этого снижения уровня грунтовых вод было недостаточно для того, чтобы в забое ствола можно было вести горно-проходческие работы. Обводненность мелкозернистых песков не позволяла производить их выемку и крепление стенок и забоя сооружаемого ствола.