

13. Шульце, К. Для больших дальностей [Текст] / К. Шульце // Журн. Калашников – 2013. – М. 2, № 5. – С. 82–87.
14. Enemyforces [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.enemyforces.net/firearms/psg1.htm>
15. Конев, К. Автомат как оружие снайпера [Электронный ресурс] / К. Конев // Братишка. – 2002. – № 3. – Режим доступа: <http://www.hpbt.org/articles/samo.htm>
16. Plaster, J. The Ultimate Sniper [Text] / J. Plaster. – Boulder: Paladin Press, 2007. – 617 p.
17. Кухлинг, Х. Справочник по физике [Текст] / Х. Кухлинг; пер. с немецкого – Х. : – М. : Мир, 1982. – 520 с.

У статті наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень явища поляризації в ґрунтовому масиві, що за своїми електричними властивостями є діелектриком. Показано, що внутрішнє поле поляризації прямо пропорційно напруженості зовнішнього електричного поля. Описані теоретичні уявлення про діелектричну поляризацію ґрунтів і отримані експериментальні дані може бути покладено в основу запобігання таких небезпечних процесів як зсуви, зрушення та інші несприятливі процеси

Ключові слова: ґрунтовий масив, діелектрична поляризація, подвійний електричний шар, напруженість електричного поля

В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований явления поляризации в ґрунтовом массиве, являющемся по своим электрическим свойствам диелектриком. Показано, что внутреннее поле поляризации прямо пропорционально напряженности внешнего электрического поля. Описанные теоретические представления о диелектрической поляризации ґрунтов и полученные экспериментальные данные могут быть положены в основу предотвращения таких опасных процессов как оползни, сдвиги и другие неблагоприятные процессы

Ключевые слова: ґрунтовый массив, диелектрическая поляризация, двойной электрический слой, напряженность электрического поля

УДК 624.131:544.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ

Л. В. Трикоз

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: lvtrikoz@ukr.net

О. С. Герасименко

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: gerasimenko.78@mail.ru

*Кафедра строительных материалов,
конструкций и сооруженийУкраинская государственная академия
железнодорожного транспорта

пл. Феербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61050

1. Введение

Опыт эксплуатации земляных сооружений (насыпей, выемок, дамб) показывает, что во многих случаях, вопреки расчетам, потеря устойчивости откосов и склонов происходит без видимых причин, в относительно сухих условиях и без дополнительного нагружения. Это дает основание предположить, что кроме действия сил от собственного веса ґрунта и отличий свойств ґрунта в природных условиях, по сравнению с определяемыми в лабораториях, действуют другие силы, сопоставимые с силами от веса ґрунта и даже превышающие их.

По мнению авторов, такими силами могут быть связанные с известными в коллоидной химии и физико-химической механике дисперсных систем и материальных силы, проявляющиеся в макромасштабах [1].

Отличия в протекании одних и тех же явлений на микроуровне и в макромасштабах наблюдали и авторы [2]. По их мнению, возможность перехода от наноскопических представлений к макроскопическим

является вызовом для ученых и инженеров. Большая величина поверхностной энергии сильно влияет на макроскопические свойства, например усадку, проницаемость и долговечность материалов. Взаимодействия на близких расстояниях между частицами являются решающими вблизи поверхности, однако проблемы усадки, ползучести, прочности и особенно долговечности не могут быть решены без учета поверхностного взаимодействия.

2. Анализ литературных данных

Все глиносодержащие материалы, к которым относятся и ґрунты, имеют электроповерхностные свойства, обусловленные наличием двойного электрического слоя ионной и скачка потенциала на границе раздела фаз. Электрокинетические явления развиты тем сильнее, чем больше подвижный заряд диффузного слоя и электрокинетический ζ -потенциал границы скольжения. Наличие заряда на частицах и реальность

электрокинетических явлений в грунтах подтверждается данными работ [4–6] по определению величины электрокинетического потенциала. Исследования в указанных работах показали, что поверхность частиц имеет отрицательный заряд, что является характерным для минералов. Величины ζ -потенциалов составляют, например, для глин от минус 44,0 мВ до минус 28,0 мВ, а для известняков от минус 6,6 мВ до минус 17,8 мВ. Грунтовые массивы по их электрическим свойствам относят к группе диэлектриков. По [7] при помещении диэлектрика в электрическое поле в нем наблюдаются две основные группы явлений. Первая из них характерна только для диэлектриков. Она связана с тем, что внутри диэлектрика, находящегося в электрическом поле, всегда существует отличное от нуля внутреннее электрическое поле. Поэтому разноименные электрические заряды, из которых в конечном итоге построено любое вещество, будут смещены друг относительно друга. Положительные заряды смещены по направлению поля, а отрицательные в противоположном направлении. Смещение может происходить как на микроскопические, так и на макроскопические расстояния в пределах образца. Если же диэлектрик содержит полярные молекулы, то они будут повернуты электрическим полем против его направления. Всю эту группу явлений обычно называют диэлектрической поляризацией.

При смещении зарядов диэлектрика (или повороте молекул-диполей) в электрическом поле каждый элемент объема диэлектрика, в пределах которого произошло смещение, приобретает дипольный момент, направленный вдоль внешнего поля. Размеры этих областей-диполей зависят от того расстояния, на которое сместились заряды. Они могут быть весьма различны: от молекулярных размеров (что встречается чаще всего) до макроскопических (в пределе, равном размеру образца) [7]. В связи с этим диэлектрик в электрическом поле представляется составленным из отдельных элементарных областей-диполей, ориентированных в одном направлении. На поверхности раздела неоднородного диэлектрика в электрическом поле могут накапливаться объемные заряды и вызывать поляризацию. Поляризация диэлектрика вызывается только полем посторонних зарядов, расположенных либо вне диэлектрика, либо внесенных извне в объем диэлектрика. Другими словами, диэлектрик не имеет постоянной поляризации, существующей в отсутствие внешнего поля.

Изменение параметров электрического поля при изменении характеристик исследуемых веществ лежит в основе изучения свойств различных материалов. Так, в [8] предложено использовать электрическое сопротивление как дополнительный инструмент для контролирования прочности бетона в раннем возрасте. Для изучения влияния на прочность раствора на основе портландцемента при его частичной замене золой-унос использовались в [9] определения импеданса, проводимости и диэлектрической проницаемости. Авторы установили, что в водных гетерогенных немагнитных материалах, таких как цементные пасты, растворы или бетоны, основные механизмы, ответственные за электрическое поведение, тесно связаны с физическими и химическими свойствами отдельных компонентов материала, и с тем, каким образом они

вместе взаимодействуют. Эта корреляция проявляется в частотной области и характеризуется частотами релаксации, выше которых диэлектрическая проницаемость падает, а проводимость возрастает. По [10] при рассмотрении электростатического поля, в случае наличия в нем диэлектриков, нужно различать два рода электрических зарядов: свободные, которые под влиянием электрического поля могут перемещаться на макроскопические расстояния, и связанные, входящие в состав молекул диэлектрика или закрепленные вблизи определенных положений равновесия. Наблюдаемые авторами [9] закономерности соответствуют поляризации связанных зарядов и перемещению свободных зарядов внутри материала, что и даёт возможность определить эти внутренние электрические параметры.

3. Постановка проблемы и ее связь с важными научными и практическими задачами

Для разработки эффективных мероприятий по предупреждению оползневых явлений необходимо исследовать движущие силы и усовершенствовать модели нарушений местной устойчивости откосов и склонов для случаев, когда сдвигающие силы обусловлены собственным весом массива, а также возможными макроэлектрокинетическими явлениями в грунтах. В работе [3] описаны подробные исследования по обеспечению устойчивости сползающих массивов грунта. Автор [3] обнаружил в тех случаях, когда оползень проходит по контакту между двумя слоями, что разность в содержании влаги в этих слоях указывает и на наличие разности в электрическом потенциале. Под влиянием этого фактора возникает градиент, вследствие которого вода начинает двигаться в грунте в сторону участка с наименьшим потенциалом. Автор [3] установил, что заделка в грунт металлических проводников для образования короткозамкнутых электродов препятствует движению грунта с водой. Созданная таким образом короткозамкнутая система эффективно действует в обратном от обычного электроосмоса направлении, требующем для миграции воды постоянного электрического тока. Автор [3] описывает случаи успешного применения этого процесса для стабилизации оползней. Однако, эти работы не получили своего теоретического и практического развития и на сегодняшний день работы этого ученого по данному вопросу отсутствуют.

4. Цель и задачи исследования

В приведенных выше исследованиях поляризационные и электрокинетические явления описаны для небольших объемов материалов, поэтому целью данного исследования было изучение явлений поляризации в конструкциях, представляющих собой грунтовый массив.

Среди задач, способствующих достижению цели, были выделены:

- создание модели грунтового массива,
- разработка схемы и проведение экспериментальных исследований зависимости возникающей поляризации грунта при различных значениях напряженности внешнего электрического поля.

5. Теоретические закономерности процессов поляризации

В результате поляризации происходит нарушение симметричного строения двойного электрического слоя (ДЭС) частицы при действии внешнего электрического поля [11]. Так, если вне электрического поля ДЭС имеет симметричное строение, то во внешнем поле у противоположных полюсов поляризованной частицы накапливаются поляризационные заряды противоположного знака – мицелла приобретает свойства диполя. Согласно представлениям авторов, основанным на законах коллоидной химии, все дисперсные системы при наложении постоянного тока подвергаются поляризации как за счет активной, так и реактивной (емкостной) составляющей электрической проводимости. В последнем случае это обусловлено поляризацией двойного электрического слоя частиц грунтов. Поляризация протекает в зависимости от размеров и электроповерхностных свойств дисперсной фазы и развивается в течение определенного времени – от долей до нескольких (и даже десятков) минут. В результате поляризации напряженность приложенного к электродам электрического поля значительно снижается, что уменьшает движущую силу электрического поля и вызывает остановку процессов переноса. Однако после снятия электрического поля происходит установление равновесного состояния дисперсной системы, закрепление полученного смещения, и она снова становится готовой для восприятия действия электрического поля.

Обозначим через $E_{пол}$ напряженность электростатического поля грунтового массива при его поляризации. Оно направлено всегда против внешнего поля напряженностью E_0 . Следовательно, напряженность результирующего электростатического поля внутри диэлектрика E будет равно

$$E = E_0 - E_{пол} \quad (1)$$

Основной характеристикой диэлектрических особенностей грунтов является их диэлектрическая проницаемость. При изучении грунтов обычно пользуются безразмерной относительной диэлектрической проницаемостью (ϵ), которая показывает, во сколько раз электрическая сила, действующая на любой заряд в данной среде, меньше, чем в вакууме. Эта характеристика обусловлена свойством молекул, атомов и ионов, слагающих компоненты грунтов, поляризоваться в электрическом поле. Диэлектрическая проницаемость основных породообразующих минералов колеблется от 3 до 12 [12] и может быть определена как отношение напряженности внешнего электрического поля E_0 к результирующему электростатическому полю внутри диэлектрика E

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}, \text{ или } E = \frac{E_0}{\epsilon} \quad (2)$$

Выполним подстановку (2) в (1) и соответствующие преобразования.

$$\frac{E_0}{\epsilon} = E_0 - E_{пол} \quad (3)$$

$$E_{пол} = E_0 - \frac{E_0}{\epsilon} = E_0 \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right) = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} E_0 \quad (4)$$

Для средней величины диэлектрической проницаемости грунтов $\epsilon = 7$ формула (4) преобразуется

$$E_{пол} = 0,86 \cdot E_0 \quad (5)$$

Данная формула устанавливает зависимость между напряженностью внешнего электрического поля и возникающей напряженностью поля поляризации. Для подтверждения правильности теоретических представлений были проведены экспериментальные исследования, приведенные ниже.

6. Экспериментальные данные измерений разности потенциалов в грунтовом массиве и их обработка

Измерения величин результирующей напряженности электрического поля производили на созданной лабораторной модели, представляющей собой модель склона длиной 100 см, шириной 90 см и высотой 30 см (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид лабораторной модели грунтового массива

По склону грунтового массива были размещены питающие электроды для создания внешнего электрического поля источником постоянного тока и измерительные электроды, соединенные с вольтметром. Разность потенциалов между измерительными электродами измерялась при различных величинах напряженности электрического поля в течение 100 мин. Результаты измерений представлены на рис. 2.

Как следует из данных рис. 2, при наложении внешнего электрического поля в грунтовом массиве создавалось внутреннее поле поляризации. Величины измеряемых разностей потенциалов при этом отличались на три порядка от величин потенциалов без наложения внешнего электрического поля. После отключения источника тока измеряемая разность потенциалов мгновенно уменьшалась в 10 раз, а затем постепенно спадала до исходных величин. На основании экспериментальных данных были определены средние величины напряженности электрического

поля $E_{пол}$, создаваемые поляризацией грунтового массива, при различных значениях напряженности внешнего электрического поля E_0 (табл. 1).

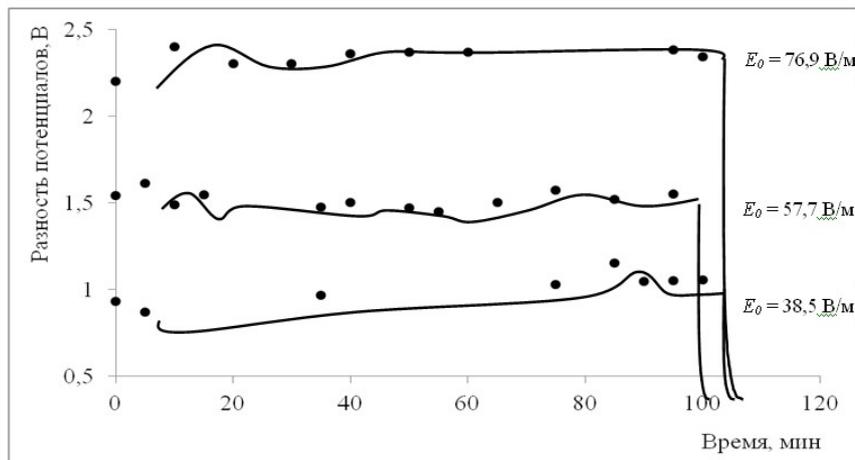


Рис. 2. Зависимость изменения разности потенциалов от напряженности внешнего электрического поля E_0 с течением времени

Таблица 1

Экспериментальные данные измерений напряженности электрического поля

Напряженность внешнего электрического поля E_0 , В/м	Средние величины напряженности электрического поля поляризации $E_{пол}$, В/м	Коэффициент пропорциональности $E_{пол} / E_0$
76,9	66,30	0,88
57,7	50,79	0,88
38,5	33,86	0,86

По данным табл. 1 построена экспериментальная зависимость, приведенная на рис. 3, с уравнением регрессии

$$E_{пол} = 0,87 \cdot E_0 \quad (6)$$

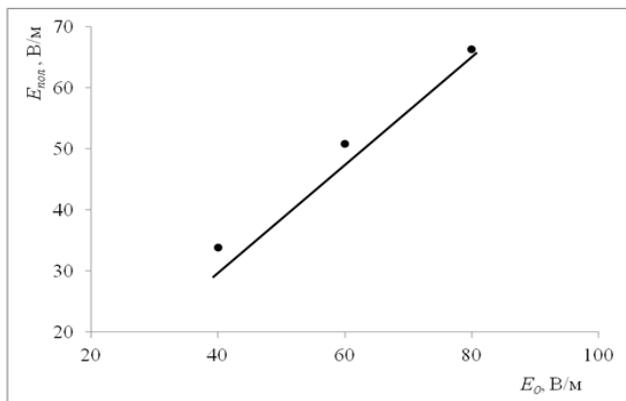


Рис. 3. Зависимость поляризационной напряженности $E_{пол}$ грунта от напряженности внешнего электрического поля E_0

Полученная экспериментальная зависимость (6) совпала в достаточной степени с теоретическими расчетами (5), что свидетельствует о правильности теоретических представлений о явлениях поляризации

грунтовых массивов. Предыдущими исследованиями авторов показано [13], что разность потенциалов в грунтах может быть вызвана не только внешним электрическим полем, но и фильтрацией

дождевой или грунтовой воды по склонам – аналог известного в коллоидной химии потенциала течения. Вода, под действием градиента давления просачивающаяся сквозь грунт, увлекает за собой катионы из диффузной части ДЭС и выносит их к нижней точке склона. С учетом этого, накопление зарядов на откосе насыпи (и склонах) из таких грунтов обусловлено в основном переносом противоионов в прослойках воды в межпакетном пространстве, а электрическое поле – поляризацией двойных электрических слоев частиц, возникновением на них макродиполей, их суммированием и образованием за счет этого гигантского макродиполя или конденсатора.

Возникшая разность потенциалов может привести к появлению известного электрокинетического явления – электрофоретического перемещения отрицательно заряженных частиц грунта в сторону избыточного положительного заряда (потенциала), т. е. вниз, а в верхней части откоса накапливается избыточный отрицательный потенциал. В обоих случаях при этом возникают отталкивающие силы, вызывающие разрыхление грунта. Однако во втором случае (в зоне отрицательных потенциала и заряда) эти силы обусловлены отталкиванием между частицами грунта, а в первом случае (в зоне положительных потенциала и заряда) – отталкиванием между противоионами ДЭС этих частиц. В обоих случаях уменьшаются вязкость и удельное сцепление глинистой составляющей грунта, т.е. силы, препятствующие смещению откоса. Для предотвращения такого накопления зарядов и, соответственно, сползания грунтовых массивов на склонах, может быть предложено создание внешнего электрического поля, напряженность которого может быть рассчитана по формуле (4) в зависимости от конкретного вида грунта, что учитывается значением его диэлектрической проницаемости.

7. Выводы

При пропускании электрического тока разной силы при напряжении 20, 40 и 60 В через лабораторную модель склона в грунтовой массиве возникало противоположно внутренней поляризации, величина которого измерялась при помощи установленных в экспериментальном стенде электродов. Разность потенциалов при максимальном напряжении 60 В достигала 6,8 В, что соответствовало результирующей величине напряженности 10 В/м. Экспериментальные данные позволили установить прямопропорциональную зависимость между напряженностью внешнего электрического поля и напряженностью поля самого грунтового массива, возникающей в ре-

зультате его поляризации. Коэффициент пропорциональности, равный 0,87, при этом зависит от диэлектрической проницаемости исследуемого материала. Направленное противоположно внешнему электрическому полю поле возникающей поляризации снижает величину разности потенциалов, в том числе и разность потенциалов течения при фильтрации воды по склону. Это тормозит электрофоретическое пере-

мещение заряженных частиц грунта вниз по склону и снижает вероятность развития деформаций в грунтовых массивах.

Таким образом, изложенные теоретические представления о диэлектрической поляризации грунтов могут быть положены в основу предотвращения таких опасных процессов как оползни, сдвиги и другие неблагоприятные явления.

Литература

1. Pluguin, Arkadiy Hurricane Sandy and tornados in America and the largest earthquakes on the earth. Reasons of origin [Electronic resource] / Arkadiy Pluguin, Andrii Pluguin, Liudmyla Trykoz, Aleksey Pluguin // International Scientific Journal "GEOCHANGE: Problems of global changes of the geological environment". – 2013. – Vol. 2. – P. 70–78. – Available at: <http://www.geochangemag.org>.
2. Setzer, Max J. From nanoscopic surface science to macroscopic performance of concrete – a challenge for scientists and engineers [Text] : proc. 17. intern. Baustofftagung / Max J. Setzer // Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. – Band 1. – P. 0001–0012.
3. Veder, C. Phenomena of the Contact of Soil Mechanics [Text] : proc. of the 1st intern. symposium / C. Veder // Landslide Control. – Kyoto and Tokyo, Japan Society of Landslide, 1972. – P. 143–162.
4. Везенцев, А. И. Сорбционные свойства нативной, обогащенной и активированной глины месторождения Маслова Пристань Белгородской области по отношению к ионам хрома (III) [Электронный ресурс] / А. И. Везенцев, С. В. Королькова, Н. А. Воловичева, С. В. Худякова // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2009. – Т. 9, Вып. 6. – С. 830–834. – Режим доступа: <http://www.chem.vsu.ru/sorbcr/images/2009/6.pdf>.
5. Yang, K.-L. Electrical Double-Layer Formation [Electronic resource] / K.-L. Yang, S. Yiacoumi, C. Tsouris // Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology. – 2004. – P. 1001–1014. – Available at: http://guruz.hu/~dezo/Citations/Papers_that_cite_me/Yang_MSNT.pdf. – Title in screen. (Last access: 09.06.2014).
6. Salbach, U. Bestimmung des Zetapotentials disperser Baustoffe Methodik & Bewertung [Text] : proc. 18. Intern. Baustofftagung / U. Salbach, A. Dimmig-Osburg // Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar. – 2009. – Band 1. – P. 0727–0734.
7. Губкин, А. Н. Физика диэлектриков [Текст] / А. Н. Губкин. – М.: Высшая школа, 1971. – 272 с.
8. Andrade, C. Use of electrical resistivity as complementary tool for controlling the concrete production [Text] : proc. of the 13th intern. congress / C. Andrade // The Chemistry of Cement. – Madrid, Spain, 2011. – P. 479.
9. Starrs, G. Characterisation of PFA using impedance techniques [Text] : proc. of the 11th intern. congress / G. Starrs, W.J. McCarter, T. M. Chrisp // The Chemistry of Cement. – Durban, South Africa, 2003. – P. 370–379.
10. Тамм, И. Е. Основы теории электричества [Текст]: учеб. пособ. для студ. физ. фак. ун-тов / И. Е. Тамм. – Изд. 9-е, испр. – М.: Наука, 1976. – 616 с.
11. Шрамко, О. А. Нелинейная поляризация двойного слоя произвольной толщины и кинетические свойства суспензий [Электронный ресурс]: дис... канд. физ.-мат. наук: 01.04.24 // О. А. Шрамко. – НАН Украины, 1997. – 119 с. – Режим доступа: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/12064.html>.
12. Диэлектрическая проницаемость грунтов [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://zilant.kpfu.ru/kek/gidrogeo/electro_2.php. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 25.05.2014).
13. Трикоз, Л. В. Исследования электрокинетического потенциала глиносодержащих грунтовых систем [Текст] / Л. В. Трикоз, О. С. Герасименко, И. А. Козеняшев // Зб. наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ, 2012. – Вып. 129. – С.162-169.