

УДК 541.18

*Кандидаты техн. наук Л.В. Трикоз,
О.А. Герасименко,
инж. И.А. Козеняшев*

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГЛИНОСОДЕРЖАЩИХ ГРУНТОВЫХ СИСТЕМ

Представил д-р техн. наук, профессор А.А. Плугин

Введение. Все глиносодержащие материалы, к которым относятся и грунты, имеют электроповерхностные свойства, обусловленные наличием двойного электрического слоя ионами и скачка потенциала на границе раздела фаз. Обычно влажный грунт насыпи, являющийся чаще всего суглинком, является дисперсной системой из глинистых и песчаных частиц, имеющих отрицательный поверхностный заряд. Потенциалопределяющие ионы этих частиц – *ОН*⁻ и ионы металлов вместе с катионами ближних к ним слоев воды образуют двойной электрический слой. Во время

воздействия на грунты различных сред проявляются практически все электроповерхностные явления, которые определяют почти все процессы разрушения грунтовых массивов или, наоборот, их устойчивость против разрушающих воздействий. Электрокинетические явления развиты тем сильнее, чем больше подвижный заряд диффузного слоя и электрокинетический ζ -потенциал границы скольжения. Отсюда ясно, что ζ -потенциал – мера интенсивности электрокинетических явлений.

Анализ предыдущих публикаций и исследований. Наличие на частицах глины и реальность электрокинетических явлений в глинистых грунтах подтверждается данными работы [1], где выполнены исследования электрокинетического воздействия на шликер, представляющий собой глинистую суспензию. Результаты показали, что электрическое поле приводит к электроосмотическому обезвоживанию, электрофоретическим явлениям переноса заряженных частиц в электрическом поле, а также к активации глинистых минералов в процессе сложных физико-химических превращений в структуре. Исследования, изложенные в работе [2], по определению величины электрокинетического потенциала для исходных и активированных глин показали, что поверхность частиц имеет отрицательный заряд, что является характерным для глинистых минералов. Анализ проведенных измерений показал, что в процессе активации глины происходит уменьшение ζ -потенциала по абсолютной величине от -44,0 мВ до -28,0 мВ, что является следствием увеличения содержания катионов Na^+ – компенсаторов отрицательного заряда. Все эти процессы находятся в прямой зависимости от минерального состава сырья, а также природы и количественных характеристик налагаемого электрического поля.

Для разработки математических моделей, описывающих прочность, устойчивость и долговечность материалов, необходим количественный критерий, позволяющий учесть многообразие минералогического состава различного вида глинистых материалов. Таким критерием является электроповерхностный

потенциал ψ_0 , зависящий от химического состава вещества и определяющий интенсивность процессов формирования, устойчивости и разрушения всех без исключения материалов [3-5]. Существующими методами измерений в коллоидной химии измерить поверхностный потенциал частиц не представляется возможным, только определить расчетно-экспериментальным способом, изложенным в работе [6].

Цель статьи. Для подтверждения корректности указанного расчетного метода в данной работе было измерено значение ζ -потенциала различных глинистых образцов для установления соответствия между их химическим составом, электроповерхностным потенциалом ψ_0 и величиной ζ -потенциала.

Новые результаты исследований электрокинетического потенциала. Абсолютный ψ^0 и равновесный ψ^0_p электроповерхностные потенциалы глинистых образцов определим по методике, изложенной в [6], и содержанию основных химических элементов, слагающих их. Для сложного вещества $X_xY_yZ_z$, где x , y и z – стехиометрические коэффициенты, ψ^0 определяется, исходя из ψ^0 составляющих его простых веществ X , Y и Z – ψ^0_x , ψ^0_y и ψ^0_z по формуле

$$\psi^0_{XYZ} = -\frac{x\psi^0_x + y\psi^0_y + z\psi^0_z}{x+y+z} \quad (1)$$

Равновесные электроповерхностные потенциалы ψ^0_p для реальных жидких дисперсионных сред определяются следующим образом:

$$\psi^0_p = \psi^0 + \frac{RT}{zF} \ln[H^+] = \psi^0 + 2,3 \frac{RT}{zF} \lg[H^+] = \psi^0 - 0,059 pH \quad (2)$$

где $T = 298,16$ К; z – валентность иона водорода, 1; $[H^+]$ – концентрация иона водорода в объеме жидкой фазы, моль/л.

Например, для глинистого образца №1 (табл.1), имеющего химический состав SiO₂ – 76,3%, Al₂O₃ – 8,6%, Fe₂O₃ – 2,3%,

CaO – 0,7%, расчеты по формулам (1)-(2) дадут следующие результаты:

$$\psi_{SiO_2}^0 = -\frac{-1,23 + 1,44 \cdot 2}{3} = -0,55 \text{ В},$$

$$\psi_{Al_2O_3}^0 = -\frac{-2,99 \cdot 2 + 1,44 \cdot 3}{5} = +0,312 \text{ В},$$

$$\psi_{Fe_2O_3}^0 = -\frac{-1,77 \cdot 2 + 1,44 \cdot 3}{5} = -0,156 \text{ В},$$

$$\psi_{CaO}^0 = -\frac{-4,2 + 1,44}{2} = 1,38 \text{ В},$$

$$\psi_{Na_2O}^0 = -\frac{-2 \cdot 4 + 1,44}{3} = +2,19 \text{ В},$$

$$\psi_{K_2O}^0 = -\frac{-2 \cdot 4,3 + 1,44}{3} = +2,39 \text{ В},$$

$$\psi_{MgO}^0 = -\frac{-3,69 + 1,44}{2} = +1,125 \text{ В}.$$

Результирующий потенциал составит величину

$$\begin{aligned} \psi^0 &= -\frac{-0,55 \cdot 0,763 + 0,33 \cdot 0,086 - 0,156 \cdot 0,023 + 1,38 \cdot 0,007 + 2,39 \cdot 0,014 + 1,125 \cdot 0,008 + 2,19 \cdot 0,006}{0,763 + 0,086 + 0,023 + 0,007 + 0,014 + 0,008 + 0,006} = \\ &= -0,36 \text{ В}. \end{aligned}$$

Равновесный (при pH=7) электроповерхностный потенциал будет равен

$$\psi^P = -0,36 - 0,059 \cdot pH = -0,36 - 0,41 = -0,77 \text{ В}.$$

Таким же образом определяли величины потенциалов для других образцов, представленных в табл. 1.

Величины электрокинетических потенциалов определяли методом

потенциала протекания по методике [7] при разных давлениях продавливания раствора электролита через ячейку, заполненную исследуемыми образцами. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Будівельні матеріали та конструкції

Таблица 1

Абсолютный ψ^0 , равновесный ψ^0_p и электрокинетический (ζ) потенциалы образцов

Образец	Химический состав, %							ψ^0 , мВ	ψ^0_p , мВ, при pH=7	ζ , мВ
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO			
Песок	≈ 100%							-0,55	-0,96	-79,7
Глина № 1	76,3	8,6	2,3	0,7	0,6	1,4	0,8	-0,36	-0,77	-48
Глина № 2	60,5	18,4	6,1	15,0				-0,07	-0,49	-18,5
Глина № 3	76,6	7,8	5,0	2,0	0,5	1,8	1,4	-0,32	-0,73	-46

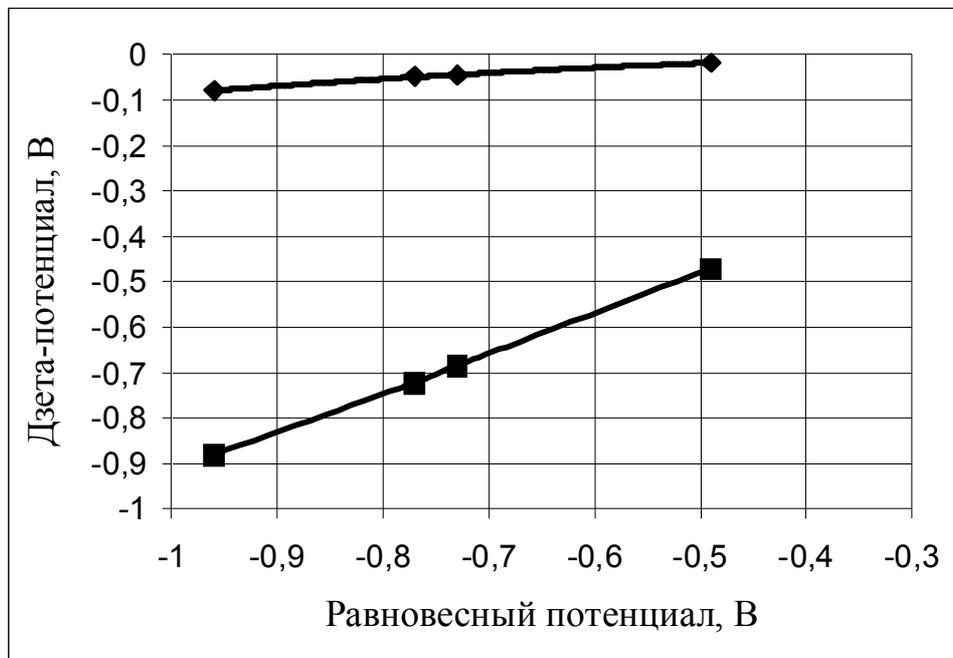
Таблица 2

Результаты измерения дзета-потенциала методом потенциала протекания

Образец	Давление P, МПа	Потенциал течения E, мВ	E/P	ζ , мВ	$\zeta_{ср}$, мВ	Потенциал плотной части ДЭС ψ_1 , В
Песок	0,02	9	450	-81		
	0,03	13,6	453,3	-81,6		
	0,04	17	425	-76,5	-79,7	-0,88
	0,05	22,1	442	-79,6		
	0,06	26,6	443,3	-79,8		
Глина № 1	0,02	5,3	265	-47,7		
	0,03	8,1	270	-48,6		
	0,04	10,6	265	-47,7	-48	-0,72
	0,05	13,3	266	-47,9		
	0,06	16	266,7	-48		
Глина № 2	0,02	1,9	95	-17,1		
	0,03	3,2	106,7	-19,2		
	0,04	4,1	102,5	-18,4	-18,5	-0,47
	0,05	5,2	104	-18,7		
	0,06	6,3	105	-18,9		
Глина № 3	0,02	5	250	-45		
	0,03	7,8	260	-46,8		
	0,04	10	250	-45	-46	-0,68
	0,05	12,9	258	-46,4		
	0,06	15,6	260	-46,8		

По результатам табл. 1 и 2 построены графические зависимости изменения электрокинетического ζ -потенциала и потенциала плотной части ДЭС ψ_1 от величин абсолютного ψ^0 и равновесного ψ^0_p потенциалов образцов (рис. 1 и 2). Как

следует из рис.1 и 2 экспериментальные данные и расчетные величины очень хорошо коррелируют между собой, что подтверждает корректность и правильность представлений о величинах и методике расчета электроповерхностных потенциалов.



—◆— — ζ -потенциал, В; —■— — потенциал плотной части ДЭС ψ_1 , В

Рис. 1. Зависимость между равновесным электроповерхностным потенциалом $\psi_{ЭП}^P$, ζ -потенциалом и потенциалом плотной части ДЭС ψ_1 (типа Гельмгольца) для образцов различного химического состава

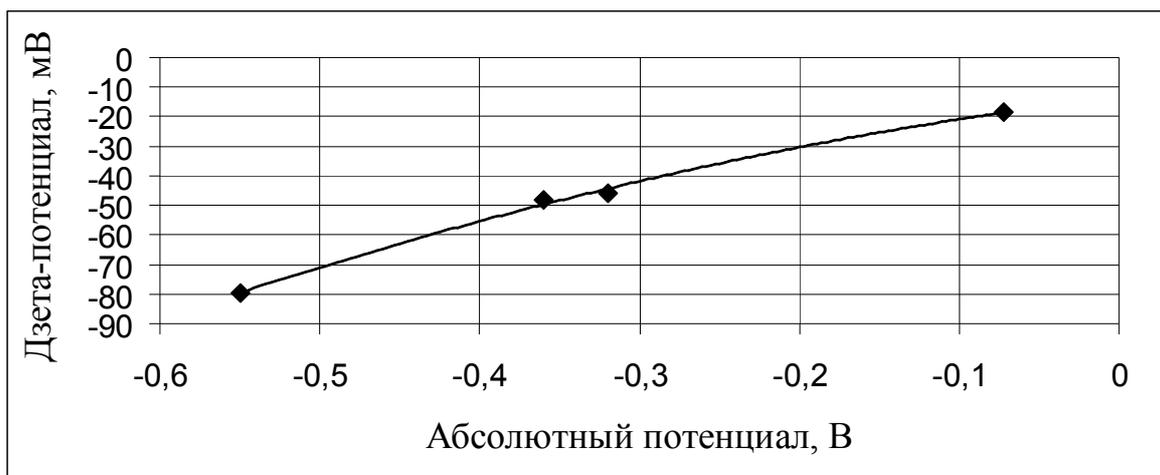


Рис. 2. Зависимость между абсолютным электроповерхностным потенциалом $\psi_{ЭП}^0$ и ζ -потенциалом частиц различного химического состава

На основе вышеизложенного можно предложить следующее описание физико-химических процессов, происходящих при фильтрации воды по склонам, откосам насыпей или выемок. 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 (рис. 3).

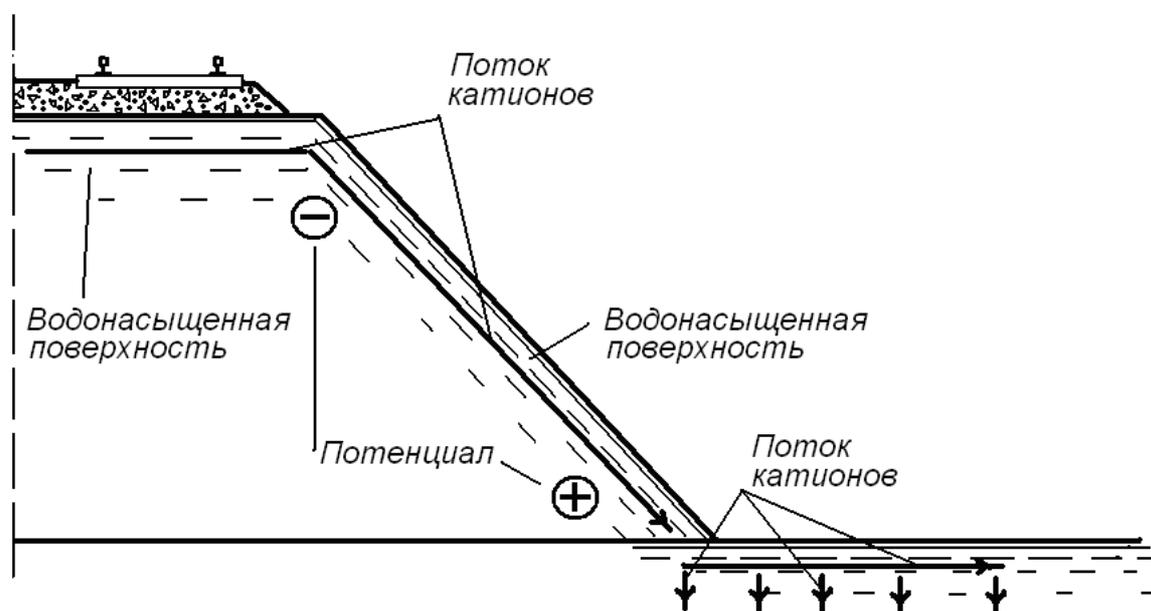


Рис. 3. Схема возникновения потенциала на откосе насыпи

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, препятствующей смещению откоса. Обе составляющие проявляются, естественно, при водонасыщении грунта. Это аналогично суперпластифицированию цементно-водной смеси с добавкой суперпластификатора типа С-3, которая приводит к перезарядке положительно заряженных участков на поверхности цементных частиц и установлению на всей их поверхности одного знака заряда – отрицательного.

Выводы и перспективы использования. Практическое значение потенциалов и токов протекания велико. Потенциал протекания применяется для выяснения путей утечки воды через грунты и выявления фильтрационных механизмов разрушения грунтовых массивов. Потенциал и ток течения проявляются в процессах нагнетания закрепляющих и уплотняющих растворов в грунты, вызывая

сопротивление их проникновению. Также потенциал течения, как было показано выше, приводит к накоплению избыточного отрицательного заряда в зоне выноса катионов, а с ним – к появлению растягивающих напряжений и разрушению, таким образом, грунтовых массивов. Знание этих явлений, механизма процессов разрушения является основой разработки и осуществления защитных мероприятий.

Список литературы

1. Физико-химические процессы, протекающие в глинистом сырье при электрокинетическом воздействии [Электронный ресурс] / А.В. Корнилов, Т.З. Лыгина, Н.И. Наумкина, Е.Н. Пермяков, Е.Н. Хайдаров // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов: сб. науч. статей по материалам российского семинара по технологической минералогии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – С. 118-121. – Режим доступа: <http://www.krc.karelia.ru/publ.php?id=7559&plang=r>.
2. Сорбционные свойства нативной, обогащенной и активированной глины месторождения Маслово 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>.
3. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз, А.С. Кагановский, Ал.А. Плугин – К.: Наук. думка, 2011. – Том 1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов. – 333 с.
4. Плугин, А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих [Текст]: дис. ... д-ра хим. наук / А.Н. Плугин. – К., 1989. – 282 с.
5. Плугин, А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: коллоидно-химические основы [Текст]: дис. ... д-ра хим. наук / А.А. Плугин. – Харьков, 2005. – 420 с.
6. О механизме возникновения электроповерхностного потенциала различных веществ в водных растворах [Текст] / Арк.Н. Плугин, Н.В. Вдовенко, А.И. Бирюков, Ф.Д. Овчаренко // Доклады Академии наук СССР. Физическая химия. – 1988. – Т.298. – № 3. – С. 656- 661.
7. Руководство к практическим работам по коллоидной химии [Текст] / О.Н. Григоров, И.Ф. Карпова, З.П. Козьмина и др. Л.: Ленинградское отд. изд-ва «Химия», 1964. – 332 с.

Ключевые слова: электрокинетический потенциал, электроповерхностный потенциал, потенциал течения

Аннотации

У статті наведені результати вимірювань електрокінетичного ζ -потенціалу частинок у дисперсних системах, до яких належать грунти. Показано, що значення ζ -потенціалу різних глинистих зразків і розрахункові величини дуже добре корелюють між собою, що підтверджує коректність і правильність уявлень про величини та методику розрахунку

електроповерхневих потенціалів. Запропоновано опис фізико-хімічних процесів, що відбуваються при фільтрації води схилами, укосам насипів або виїмок, які призводять до появи розтягувальних напружень і руйнування, таким чином, ґрунтових масивів. Знання цих явищ, механізму процесів руйнування є основою розроблення та здійснення захисних заходів, що дозволить в подальшому запропонувати механізм руху частинок у дисперсних системах та розробити ефективні заходи щодо попередження сповзання ґрунтових масивів.

В статті приведені результати измерений електрокинетического ζ -потенциала частиц в дисперсних системах, к которым относятся ґрунты. Показано, что значение ζ -потенциала различных глинистых образцов и расчетные величины очень хорошо коррелируют между собой, что подтверждает корректность и правильность представлений о величинах и методике расчета электроповерхностных потенциалов. Предложено описание физико-химических процессов, происходящих при фильтрации воды по склонам, откосам насыпей или выемок, приводящих к появлению растягивающих напряжений и разрушению, таким образом, ґрунтовых массивов. Знание этих явлений, механизма процессов разрушения является основой разработки и осуществления защитных мероприятий, что позволит в дальнейшем предложить механизм движения частиц в дисперсних системах и разработать эффективные мероприятия по предупреждению сползания ґрунтовых массивов.

The results of measurements of the ζ -electrokinetic potential particles in disperse systems are given. It is shown that the value ζ -potential of different clay samples and the calculated values correlate very well with each other. It confirms the correctness and accuracy of the magnitude and the method of calculation electrosurface potentials. A description of the physicochemical processes occurring during the filtration of water on the slopes or slopes of embankments or recesses are given. It is leading to the appearance of tensile stresses and destruction ground arrays. Knowledge of these phenomena, the mechanism of fracture processes are the basis for the development and implementation of protective measures. In further a mechanism of motion of particles in disperse systems will be propose and develop effective measures to prevent sliding soil masses.