

method allows to efficiently develop the creative imagination of the students because of the ease digestion and using only algebraic manipulations initial formulas of different methods of measurement.

**Keywords:** modeling, piezometric, the float. radioisotope, the transmitter, the method, the density sensitivity.

УДК 541.18

*Л.В. ТРИКОЗ*, канд. техн. наук, доц., УкрГАЖТ, Харьков

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИНОСОДЕРЖАЩИХ ГРУНТОВЫХ СИСТЕМ

В статье приведены результаты измерений электрокинетического  $\zeta$ -потенциала частиц в дисперсных системах, к которым относятся грунты. Показано, что значение  $\zeta$ -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, грунтовых массивов.

**Ключевые слова:** электрокинетический потенциал, электроповерхностный потенциал, потенциал течения.

**Введение.** Электроповерхностные свойства глиносодержащих материалов обусловлены наличием двойного электрического слоя ионів и скачка потенциала на границе раздела фаз. Обычно грунтовые массивы являются дисперсными системами из глинистых и песчаных частиц, имеющих отрицательный поверхностный заряд. Потенциалоопределяющие ионы этих частиц –  $\text{OH}^-$  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  $\zeta$ -потенциал границы скольжения. Отсюда ясно, что  $\zeta$ -потенциал – мера интенсивности электрокинетических явлений.

© Л.В.Трикоз, 2013

**Анализ предыдущих исследований и литературы.** Изучение свойств глин является достаточно распространенным объектом исследований. В работах авторов [1 – 4] рассмотрены вопросы формирования свойств глинистых пород, описаны главные факторы, влияющие на свойства глин, – минеральный состав и структура. Показано, что для изучения прочностного поведения глинистых пород можно успешно применять подход, разработанный в физико-химической механике дисперсных пористых структур. Наличие на частицах глины и реальность электрокинетических явлений в глинистых грунтах подтверждается данными работы, 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 [4], 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  $\zeta$ -потенциала по абсолютной величине от -44,0 мВ до -28,0 мВ, что является следствием увеличения содержания катионов  $\text{Na}^+$  – компенсаторов отрицательного заряда. Все эти процессы находятся в прямой зависимости от минерального состава сырья, а также природы и количественных характеристик налагаемого электрического поля.

**Цель исследований, постановка задачи.** Для разработки математических моделей, описывающих прочность, устойчивость и долговечность материалов, необходим количественный критерий, позволяющий учесть многообразие минералогического состава различного вида глинистых материалов. Таким критерием, по нашему мнению, является электроповерхностный потенциал  $\psi_0$ , зависящий от химического состава вещества и определяющий интенсивность процессов формирования, устойчивости и разрушения всех без исключения материалов [5 – 7]. Существующими методами измерений в коллоидной химии измерить поверхностный потенциал частиц не представляется возможным, только определить расчетно-экспериментальным способом, изложенным в работе [8]. Для подтверждения корректности указанного расчетного метода в данной работе было измерено значение  $\zeta$ -потенциала

различных глинистых образцов для установления соответствия между их химическим составом, электроповерхностным потенциалом  $\psi_0$  и величиной  $\zeta$ -потенциала.

**Материалы исследований.** Абсолютный  $\psi^0$  и равновесный  $\psi_p^0$  электроповерхностные потенциалы глинистых образцов определим по методике, изложенной в [8], и содержанию основных химических элементов, входящих в них. Для сложного вещества  $X_xY_yZ_z$ , где  $x$ ,  $y$  и  $z$  – стехиометрические коэффициенты,  $\psi^0$  определяется, исходя из  $\psi^0$  составляющих его простых веществ  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  –  $\psi_X^0$ ,  $\psi_Y^0$  и  $\psi_Z^0$  по формуле

$$\psi_{XYZ}^0 = -\frac{x\psi_X^0 + y\psi_Y^0 + z\psi_Z^0}{x+y+z}. \quad (1)$$

Равновесные электроповерхностные потенциалы  $\psi_p^0$  для реальных жидких дисперсионных сред определяются следующим образом:

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

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

Например, для глинистого образца №1 (табл.1), имеющего химический состав  $\text{SiO}_2$  – 76,3 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 8,6 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2,3 %,  $\text{CaO}$  – 0,7 %, расчеты по формулам 1, 2 дадут следующие результаты:

$$\psi_{\text{SiO}_2}^0 = -\frac{-1,23 + 1,44 \cdot 2}{3} = -0,55 \text{ В},$$

$$\psi_{\text{Al}_2\text{O}_3}^0 = -\frac{-2,99 \cdot 2 + 1,44 \cdot 3}{5} = +0,312 \text{ В},$$

$$\psi_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^0 = -\frac{-1,77 \cdot 2 + 1,44 \cdot 3}{5} = -0,156 \text{ В},$$

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

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

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

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

**Результирующий потенциал составит величину**

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

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.

В работе [1] приведены значения межфазного потенциала поверхности частиц различных форм глуховецкого каолина, также составляющие порядка 1 В, что подтверждает правильность и корректность наших расчетов.

Таблица 1 – Абсолютный  $\psi^0$ , равновесный  $\psi^0_p$  потенциалы образцов

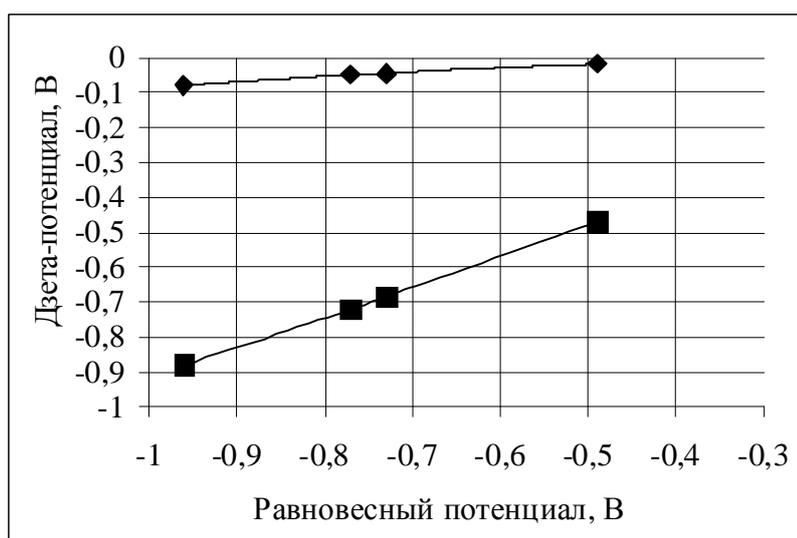
Образец	Химический состав, %							$\psi^0$ , мВ	$\psi^0_p$ , мВ, при pH = 7
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO		
Песок	≈ 100							-0,55	-0,96
Глина № 1	76,3	8,6	2,3	0,7	0,6	1,4	0,8	-0,36	-0,77
Глина № 2	55,7	15,8	7,7	12,8	0,8	3,0	3,7	-0,07	-0,49
Глина № 3	76,6	7,8	5,0	2,0	0,5	1,8	1,4	-0,32	-0,73

**Результаты исследований.** Величины электрокинетических потенциалов определяли методом потенциала протекания по методике [9] при разных давлениях продавливания раствора электролита через ячейку, заполненную исследуемыми образцами. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты измерения дзета-потенциала

Образец	$\zeta_{\text{ср}}$ , мВ	Потенциал плотной части ДЭС $\psi_1$ , В
Песок	-79,7	-0,88
Глина № 1	-48	-0,72
Глина № 2	-18,5	-0,47
Глина № 3	-46	-0,68

По результатам табл. 1 и 2 построены графические зависимости изменения электрокинетического  $\zeta$ -потенциала и потенциала плотной части ДЭС  $\psi_1$  от величин абсолютного  $\psi^0$  и равновесного  $\psi^0_p$  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.



—◆— —  $\zeta$ -потенциал, В; —■— — потенциал плотной части ДЭС  $\psi_1$ , В

Рис. 1 – Зависимость между равновесным электроповерхностным потенциалом  $\psi^0_{эл}$ ,  $\zeta$ -потенциалом и потенциалом плотной части ДЭС  $\psi_1$  (типа Гельмгольца) для образцов 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.

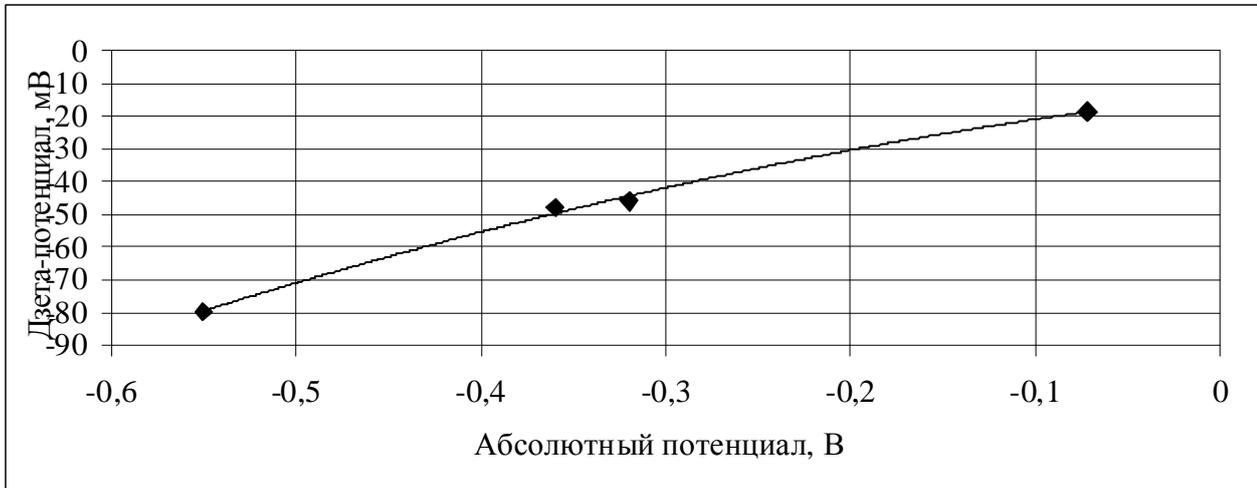


Рис. 2 – Зависимость между абсолютным электроповерхностным потенциалом  $\psi_{\text{эл}}^0$  и  $\zeta$ -потенциалом частиц различного химического состава

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 суперпластификатором 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. Каолины Украины: справочник / Под. ред. *Ф.Д. Овчаренко*. – К.: Наук. думка, 1982. – 367 с. 2. *Тарасевич Ю.И.* Адсорбция на глинистых минералах / *Ю.И. Тарасевич, Ф.Д. Овчаренко*. – Л.: Химия, 1964. – 332 с. 3. *Соколов В.Н.* Глинистые породы и их свойства [Электронный ресурс] / В.Н. Соколов // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т.6, № 9. – С. 59 – 65. – Режим доступа к журналу: [http://window.edu.ru/resource/276/21276/files/0009\\_059.pdf](http://window.edu.ru/resource/276/21276/files/0009_059.pdf). 4. *Везенцев А.И.* 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>. 5. *Плугин А.Н.* Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: монография в 3 т. / *А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Л.В. Трикоз и др.* – К.: Наук. думка, 2012. – Том 1: Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов. – 2011. – 333 с. 6. *Плугин А.Н.* Электрогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: дисс. ... доктора хим. наук : спец. 02.00.11 / *Аркадай Николаевич Плугин*. – К., 1989. – 282 с. 7. *Плугин А.А.* Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: коллоидно-химические основы: дисс. ... доктора техн. наук : спец. 05.23.05 / *Андрей Аркадиевич Плугин*. – Х., 2005. – 420 с. 8. *Плугин А.Н.* О механизме возникновения электроповерхностного потенциала различных веществ в водных растворах / [А.Н. Плугин, Н.В. Вдовенко, А.И. Бирюков, Ф.Д. Овчаренко] // Доклады Академии наук СССР. Физическая химия. – 1988. – Т. 298, № 3. – С. 656 – 661. 9. *Григорьев О.Н.* Руководство к практическим работам по коллоидной химии / [О.Н. Григорьев, И.Ф. Карпова, З.П. Козьмина и др.]. – М.: Химия, 1964. – 332 с.

*Надійшла до редколегії 15.05.13*

УДК 541.18

**Исследования электроповерхностных свойств глиносодержащих грунтовых систем / Л.В. Трикоз // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 47 (1020). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 146 – 153. – Бібліогр.: 9 назв.**

У статті наведено результати вимірювань електрокінетичного  $\zeta$ -потенціалу частинок у дисперсних системах, до яких відносяться ґрунти. Показано, що значення  $\zeta$ -потенціалу різних глинистих зразків і розрахункові величини дуже добре корелюють між собою, що підтверджує коректність і правильність уявлень про величини та методика 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.

**Ключові слова:** електрокінетичний потенціал, електроповерхневий потенціал, потенціал течії.

The results of measurements of the  $\zeta$ -electrokinetic potential particles in disperse systems are given. It is shown that the value  $\zeta$ -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.

**Keywords:** zeta potential, surface electrical potential, the potential of the current.

УДК 621.357.12

**Б.І. БАЙРАЧНИЙ**, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПІ",

**А.Г. ТУЛЬСЬКА**, асп., НТУ "ХПІ",

**А.А. МИХНО**, магістрант, НТУ "ХПІ", **О.М. БОРСУК**, асп., НТУ "ХПІ"

## **ПЕРЕНАПРУГА ВИДІЛЕННЯ КИСНЮ З ЛУЖНИХ РОЗЧИНІВ ПРИ ВИСОКИХ ГУСТИНАХ СТРУМУ**

Досліджено кінетику виділення кисню при водно-лужному електролізі, вивчено вплив матеріалу анода, концентрації електроліту і температури на вольтамперні характеристики. Суттєвий вплив на кінетику виділення кисню з лужних розчинів має зміна складу оксиду поверхневого шару металу аноду, яка відбувається під дією поляризації аноду. Найбільш перспективними для застосування у якості матеріалу аноду для роботи при високих густинах струму є нікель, кобальт та хромонікелева сталь.

**Ключові слова:** електроліз води, анод, кисень, густина струму, перенапряга

Анодний процес виділення кисню з лужних розчинів в області високих густин струму досліджено недостатньо. Тільки в окремих роботах [1 – 4] розглянута кінетика виділення кисню на нікелевих анодах при густині струму до  $10 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ .

© Б.І. Байрачний, А.Г. Тульська, А.А. Михно, О.М. Борсук, 2013