

24. Бурчак О.В. Парамагнітні властивості кам'яного вугілля як показники стану речовини / О.В. Бурчак // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб.нук. праць Ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.– Дн-ск, 2010.– Вип. 88.– С.40 – 45.

25. Кіяшко Ю.І. Зміна структури вугілля при моделюванні динамічного руйнування / Ю.І. Кіяшко, Р.А. Дякун, О.В. Бурчак.– Геотехнічна механіка: Між від. збір. наук. праць, Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 81. – С. 74–80.

26. Балалаев А.К. Тенденции развития молекулярной структуры органического вещества каменных углей / А.К. Балалаев, А.В. Бурчак.– Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Вип. 9 Ч.ІІ – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2011.– С.68–76.

27. Бурчак А.В. Эффект изменения параметров ИК-спектров углей в ряду метаморфизма при механическом давлении / А.В. Бурчак, А.К. Балалаев // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць Ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України Дніпропетровськ, 2010. – Вип.87.– С.190–198.

28. Бурчак А.В. Исследования процессов перестройки молекулярной структуры мацералов угля при температурной динамике / А.В. Бурчак, А.К. Балалаев, Ю.А. Сериков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць Ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України Дніпропетровськ, 2012. – Вип.102.– С.58–66.

УДК 622.794.2:532.13.001.57

Д-р техн. наук Б.А. Блюсс
(ИГТМ НАН Украины),
канд. техн. наук Н.А. Никифорова
(НМетАУ),
д-р техн. наук О.В. Витушко
(ООО "Шахтстроймонтаж")

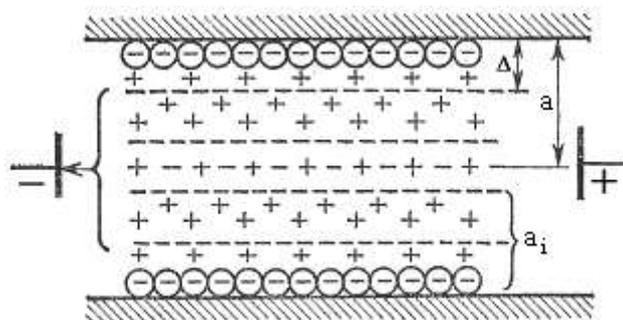
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЯЗКОСТНОГО ЭФФЕКТА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Розглянуто ефект електров'язкісного гальмування при фільтрації рідини в гірських породах за рахунок виникнення потенціалу течії та вплив на цей ефект електрокінетичного потенціалу та розмірів пор гірських порід.

SIMULATION OF ELECTROVISCIOUS EFFECT DURING FLUID WEEPAGE IN ROCKS

The effect of electroviscous retardation during fluid weepage in rocks due to streaming potential initiation and influence of rock electrokinetic potential and pores size on this effect are considered.

Естественная фильтрация подземных вод через горные породы оказывает существенное влияние на прочность и устойчивость горных массивов. Поскольку фильтрация происходит через поры горной породы, то горную породу можно рассматривать как сеть тонких капилляров. При контакте стенок таких капилляров, образованных минералами или горными породами, с природной водой, содержащей растворенные электролиты и обладающей электропроводностью, на границе раздела твердой и жидкой фаз возникает двойной электрический слой, состоящий из заряженной твердой поверхности и прилегающего к ней тонкого слоя противоположно заряженного электролита (рис. 1).



a – радиус капилляра; a_i – толщина двойного электрического слоя;
 Δ – толщина плотной части двойного электрического слоя

Рис. 1 – Двойной электрический слой при течении раствора электролита через капилляр.

Заряд на стенке поры возникает либо в результате ионизации поверхностных молекул твердого вещества, либо в результате избирательной адсорбции на твердой поверхности ионов с одинаковым знаком заряда [1 – 7]. В жидкой среде вблизи межфазной поверхности концентрируются противоположно заряженные ионы (противоионы) в количестве, необходимом для компенсации заряда твердой поверхности. Раствор электролита в центральной части капилляра является электрически нейтральным. Двойной электрический слой состоит из плотной и диффузной частей, причем диффузная часть двойного слоя способна смещаться относительно плотной по плоскости скольжения, находящейся на расстоянии Δ (рис. 1) от заряженной поверхности. Возможность смещения части двойного электрического слоя является причиной электрокинетических явлений, возникающих при течении электропроводных жидкостей через тонкие капилляры. Потенциал на плоскости скольжения называется ζ -потенциалом (дзета-потенциалом), или электрокинетическим потенциалом и является основной физической величиной для всех электрокинетических явлений.

Фильтрация жидкости через пористую горную породу возникает под действием градиента давления, вызывающего смещение ионов диффузного слоя в направлении потока жидкости. В результате движения зарядов вдоль плоскости скольжения возникает разность потенциалов на концах капилляров (пор) породы (рис. 1). Эта разность потенциалов, которую при установившемся ламинарном течении называют потенциалом течения, приводит к появлению тока проводимости в обратном направлении. Объемная скорость течения раствора через капилляр с учетом возникновения потенциала течения определяется по формуле [4]

$$V = \frac{\pi a^4 \Delta P}{8\mu} - \frac{\varepsilon^2 \zeta^2 a^2 (1-G) F \Delta P}{16\pi \lambda \mu^2}, \quad (1)$$

где a – радиус капилляра, м; ΔP – градиент давления в поре, Па; μ – вязкость жидкости, Па·с; ε – диэлектрическая константа жидкости; ζ – электрокинетический потенциал, В; $\lambda = 2me_0n_0$ – удельная электропроводность нейтрального электролита, Ом⁻¹м⁻¹; m – подвижность ионов электролита; e_0 – заряд протона,

Кл; n_0 – концентрация соответственно катионов или анионов в нейтральном электролите;

$$G = \frac{2}{\zeta a^2} \int_0^a r \psi(r) dr;$$

r – расстояние, измеренное радиально от оси, м; $\psi(r)$ – потенциал на расстоянии r от оси, вызванный наличием двойного электрического слоя в отсутствие электрического поля;

$$F = F(\kappa a, \Psi_s, \beta^*) = \frac{\frac{1}{2}(\kappa a)^2(1-G)}{\int_0^{\kappa a} R \cosh \Psi(R) dR + \beta^* \int_0^{\kappa a} R \left(\frac{d\Psi(R)}{dR}\right)^2 dR};$$

$$\kappa = \left(\frac{8\pi n_0 e_0^2}{\varepsilon k T}\right)^{\frac{1}{2}}; \quad \Psi_s = \Psi(\kappa a) = \frac{e_0 \zeta}{k T}; \quad \beta^* = \frac{\varepsilon^2 k^2 T^2 \kappa^2}{16\pi^2 \mu \lambda e_0^2}; \quad R = \kappa r;$$

κa – электрокинетический радиус; k – константа Больцмана, Дж/К; T – абсолютная температура, К.

При этом β^* представляет собой безразмерный параметр, зависящий только от свойств электролита, а Ψ_s – безразмерный дзета-потенциал.

Из формулы (1) видно, что возникновение потенциала течения приводит к уменьшению скорости фильтрации, которое может быть весьма значительным, вплоть до прекращения фильтрации. Этот эффект проявляется как появление кажущейся вязкости раствора μ_0 , большей, чем μ , то есть, возникает электровязкостное торможение течения. Отношение кажущейся вязкости раствора электролита к истинной определяется по формуле

$$\frac{\mu_0}{\mu} = \left(1 - \frac{8\beta^* \Psi_s^2 (1-G) F}{(\kappa a)^2}\right)^{-1}.$$

На рис. 2 и 3 приведены графики зависимости (μ_0 / μ) от κa и Ψ_s соответственно при $\beta^* = 0.25$ [4].

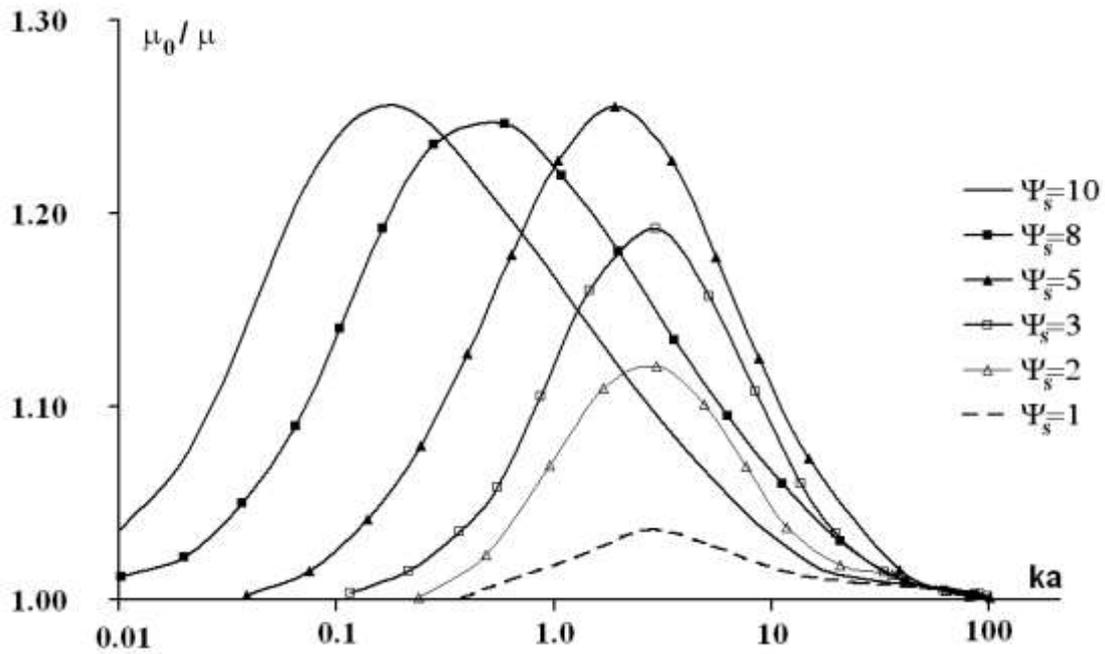


Рис. 2 – Зависимость (μ_0/μ) от ka для различных значений Ψ_s при $\beta^* = 0.25$

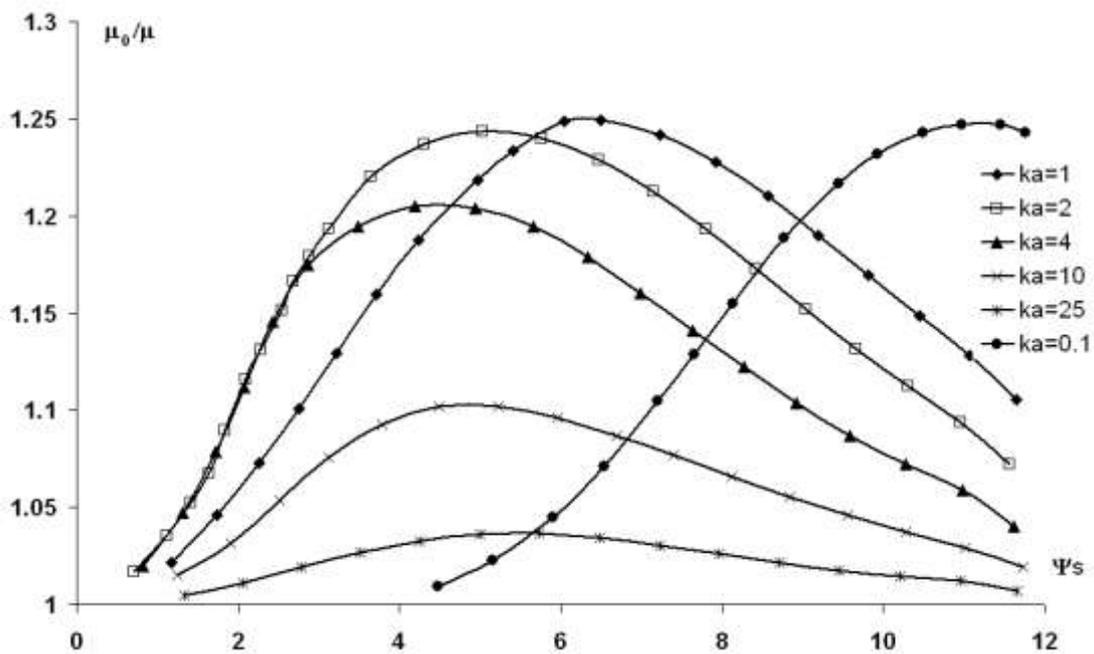


Рис. 3 – Зависимость (μ_0/μ) от Ψ_s для различных значений ka при $\beta^* = 0.25$

На рис. 2 видно, что зависимость отношения кажущейся вязкости электролита к истинной от электрокинетического радиуса капилляра проходит через максимум при любых значениях Ψ_s (безразмерного дзета-потенциала), причем, чем больше абсолютная величина ζ - потенциала, тем при меньших значениях радиуса поры наблюдается максимум, и тем больше его высота. Зависимость μ_0/μ от Ψ_s (рис. 3) также проходит через максимум при любых значениях электрокинетического радиуса капилляра, причем высота максимума тем больше, чем меньше радиус капилляра. Это можно объяснить следующим образом. Как уже говорилось, к заряженным стенкам капилляра (поры) прилегает

тонкий слой противоположно заряженного электролита, а в центральной части капилляра течет нейтральный раствор электролита (рис. 1). Рассмотрим сначала правые ветви графиков на рис. 2 и левые ветви кривых на рис. 3. Чем больше радиус капилляра, тем больше площадь сечения, занятая нейтральным электролитом, и тем в меньшей степени обратное течение, вызванное индуцированным потенциалом течения, сказывается на результирующей скорости фильтрации. Величина ζ - потенциала тем больше, чем больше толщина диффузной части двойного электрического слоя, увлекаемой потоком электролита, возникшим за счет градиента давления. Поэтому при одинаковом радиусе поры при большей абсолютной величине ζ - потенциала потенциал течения, а значит, и вызванный им ток проводимости имеет большую величину и обуславливает больший напор обратного потока, большее торможение, большую величину кажущейся вязкости. Что касается левых ветвей графиков на рис. 2 и правых ветвей графиков на рис. 3, то и увеличение абсолютной величины ζ - потенциала (а значит, толщины диффузного слоя) при одинаковых радиусах пор, и уменьшение радиуса пор при одинаковой абсолютной величине ζ - потенциала приводит к уменьшению прослойки нейтрального раствора электролита между диффузными частями двойных электрических слоев, прилегающих к стенкам капилляра. Чем меньше радиус пор, тем в большей степени будут действовать силы трения и молекулярного сцепления, и тем большим будет влияние движущего давления на фильтрацию жидкости.

На величину ζ - потенциала оказывают влияние многие факторы [1 – 5]. Прежде всего, в случае оксидных минералов это рН раствора, так как для них потенциалопределяющими являются ионы H^+ и OH^- , обладающие высокой адсорбционной способностью. Особенно велика роль рН среды в тех случаях, когда в контакте с водным раствором находится амфотерный оксид (например, оксид алюминия), и при изменении кислотности среды возможна перезарядка фаз. Дзета-потенциал уменьшается по абсолютной величине с увеличением концентрации электролита, даже не взаимодействующего с поверхностью, и с увеличением абсолютной величины заряда его ионов. В наибольшей степени уменьшают ζ - потенциал наименее гидратированные ионы.

Выводы. Скорость фильтрации подземных вод через горные породы определяется минеральным составом этих пород, составом подземных вод и размерами пор в породе. Эффект электровязкостного торможения фильтрации за счет возникновения потенциала течения в наименьшей степени проявляется при высокой засоленности подземных вод и преобладании в горной породе микропор или пор большого диаметра. При низкой концентрации растворенных солей и преобладании в горной породе пор с радиусом, соответствующим максимуму электровязкостного торможения, уменьшение скорости фильтрации является существенным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злочевская Р.И., Королев В.А. Электроповерхностные явления в глинистых породах/ Р.И. Злочевская, В.А. Королев. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 177 с.
2. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии/ С.С. Воюцкий.- Изд. 2-е, перераб. и доп.– М., «Химия», 1976.– 512 с.
3. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы): учебн. [для студ.

хим.-техн. спец. вузов] / Ю.Г. Фролов – М.: Химия, 1982. – 400 с.

4. Levine S. Theory of electrokinetic flow in fine cylindrical capillaries at high zeta-potentials/ S. Levine, J.R. Marriott, G. Neale, N. Epstein / Journal of Colloid and Interface Science. – Vol. 52, No. 1, 1975. – P. 136 – 149.

5. Семененко Е.В. Влияние электрокинетических явлений на фильтрацию жидкости в горных породах / Е.В. Семененко, Н.А. Никифорова, О.В. Витушко, Л.Ю. Колодяжная // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наукових праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 92. – С. 78 – 84.

6. Титов К.В. О влиянии поверхностной проводимости на электропроводность горных пород / К.В. Титов // «Электронный научный журнал "Исследовано в России". – 2003. – С.1013-1026.

7. Титов К.В., Коносавский П.К., Ильин Ю.Т. Становление потенциала течения в пористой среде: численные эксперименты / К.В. Титов, П.К. Коносавский, Ю.Т. Ильин / Электронный научный журнал "Исследовано в России", 2007. – С. 139–149.

УДК 622.647.7+622.648.004.3:622.023.65

Канд. техн. наук С.Н. Пономаренко
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ НА СМЕШИВАНИЕ ПОТОКОВ ВОЗДУХА В ТРАНСПОРТНОМ ТРУБОПРОВОДЕ ВИБРОПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Приведені результати теоретичних і експериментальних досліджень впливу на відносні втрати кінетичної енергії кута взаємодії потоків повітря при їх змішуванні в транспортному трубопроводі вібропневмотранспортних машин з кільцевим ежектором. Встановлені закономірності зміни втрат енергії від довжини транспортного трубопроводу та співвідношення площ транспортного трубопроводу та зрізу кільцевої щілини ежектора.

DETERMINATION OF LOSSES OF ENERGY ON MIXING OF BLASTS IN A TRANSPORT PIPELINE OF VIBRO-PNEUMONIC-TRANSPORT MACHINES

Results over of theoretical and experimental researches of influence on the relative losses of kinetic energy of corner of co-operation of blasts are brought at their mixing in a transport pipeline of vibro-pneumonic-transport machines with circular ejector. Conformities to law of change of losses of energy are set from length of transport pipeline and correlation of areas of a transport pipeline and cut of circular crack of ejector.

Кольцевое эжекторное устройство вибропневмотранспортных машин (ВПМ) представляет собой аппарат, в котором высоконапорный (эжектирующий) поток воздуха, вытекающий из эжектора в смесительную камеру в виде несвободной турбулентной струи, создает в ней зону разрежения, в которую под действием разности давлений устремляется низконапорный (эжектируемый) поток воздуха. При этом, происходит передача энергии одного потока другому путем их турбулентного смешения, которое происходит из-за наличия поперечных составляющих пульсационных компонентов скорости потоков. В результате этого процесса полное давление эжектируемого потока воздуха под действием эжектирующего потока воздуха увеличивается, а профили скоростей выравниваются. Однако выравнивание этих профилей происходит с потерями кинетической энергии, обусловленными смешиванием эжектирующего и эжектируемого потоков воздуха [1, 2].

Как было показано в работах [3, 4], на величину относительных потерь кинетической энергии на смешивание эжектирующего и эжектируемого потоков