

УДК 622.831:622.537.87

<https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.003>

ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА СТАТИЧЕСКУЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ УГЛЕЙ

Л.И. Стефанович^{1*}, Э.П. Фельдман¹, О.В. Чеснокова¹

¹Институт физики горных процессов Национальной академии наук
Украины, г. Днепр, Украина

*Ответственный автор: e-mail: listef2591@ukr.net

INFLUENCE OF FRACTURING ON STATIC COAL ELECTRIC CONDUCTIVITY

L.I. Stefanovich^{1*}, E.P. Feldman¹, O.V. Chesnokova¹

¹Institute for Physics of Mining Processes the National Academy Sciences of
Ukraine, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: e-mail: listef2591@ukr.net

ABSTRACT

Purpose. To analyze how coal fracturing affects its direct current conductivity at various crack concentrations and at different ratios between crack sizes and sample ones.

Methods. The work is based on using the analogy between electric current and fluid motion in potential flow around solids. To find analytical dependencies, asymptotic research methods are used. To check the analytical laws, a numerical analysis of the obtained integral expressions is performed.

Findings. It was found that when an electric current passes through a cracked coal sample in the form of a plate, additional resistance to direct current arises. It is due to the fact that the presence of cracks not only reduces the area of the conductive channels, but also lengthens the path of current flow due to an increase in the tortuosity of the conductive channels. The functional dependences of the emerging additional resistance of coal on its cracking coefficient are obtained. As a result of numerical analysis, the curves of the dependence of the additional resistance on the fracture coefficient are obtained. For small sample sizes, they are essentially nonlinear. For large sample sizes, the dependence of the additional resistance on the fracture coefficient is linear.

Originality. Using the analogy between electric current and fluid motion during potential flow around solids, new functional dependences of the additional resistance of coal caused by cracks are obtained, depending on the fracturing coefficient for various ratios of the sizes of the coal sample and the sizes of cracks.

Practical implications. The analytical dependences of the electrical resistance on the fracture coefficient obtained in this work can be used in an experimental study of coal cracking by impedance spectroscopy. A preliminary study of the nature of

fracturing of fossil coal by methods of measuring its electrical conductivity allows us to predict how quickly the outburst will develop during mining of a coal seam.

Keywords: electrical conductivity of coals, system of cracks, fracturing coefficient, hydrodynamic analogy, relative additional resistance

1. ВВЕДЕНИЕ

Как известно, появление в материале трещин существенно влияет на его механические, электрические и другие свойства. Используя этот эффект и проводя измерения параметров распространения упругих волн, а также прохождения электрического тока, можно по ним судить об ориентации трещин в материале и интенсивности его растрескивания. Что касается углей, то ориентация трещин в пласте и его трещиноватость является одним из основных показателей его выбороопасности [1]. Настоящая работа посвящена теоретическому изучению влияния трещин на электросопротивление такого проводящего материала, как ископаемый уголь. Актуальность этого исследования определяется тем, что наличие трещин будет изменять структуру материала и вызывать дополнительное сопротивление электрическому току. Это особенно важно для горных пород, содержащих угольные пласты, так как уголь является электропроводящим материалом. Поскольку электрическая проводимость углей сравнительно невелика, то измерить её экспериментальными методами довольно затруднительно. В связи с этим возникает настоятельная необходимость предварительного теоретического расчета или хотя бы оценки влияния системы трещин на электросопротивление угля. Следует сказать, что наличие в углях различного рода пустот исследовалось и ранее. Так в работе [2] было изучено теоретически влияние пор на электрическую проводимость углей. Однако пористость угольного вещества, чаще всего, оказывается меньше, чем его трещиноватость, что вызывает потребность оценки вклада трещин в электросопротивление угля. Уже в монографии Ржевского 1978 г. [3] было высказано соображение, что основную роль в изменении удельного сопротивления пород, однотипных по составу, играет трещиноватость. При этом резкое увеличение удельного сопротивления связано с тем, что не только уменьшается площадь токопроводящих каналов, но и удлиняется путь прохождения тока за счет роста извилистости токопроводящих каналов. Дальнейшее развитие теории о влиянии трещин на электропроводность твердых тел получила в работах Салганика [1, 4], где исследовались процессы переноса в твердых телах. Однако в этих работах не было проанализировано, как влияет соотношение размеров угольного образца и размеров трещин на электропроводность рассматриваемого материала. Во-вторых, в этих работах рассматривалось приближение малой концентрации трещин, когда среднее расстояние между трещинами достаточно велико. Следует сказать, что некоторые предварительные результаты по влиянию трещин на электросопротивление проводящего материала были получены одним из авторов в [5]. Однако они требуют уточнения и дальнейшего развития.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Особенностью трещин является то, что они могут существенно влиять на эффективные характеристики среды, ввиду существенного различия в свойствах среды внутри и вне их, что перекрывает малость занимаемого ими объема. Поэтому к трещинам не применимы любые подходы, оперирующие объемной долей включений.

Рассмотрим для определенности образец угля в виде плоскопараллельной пластины толщиной d (рис.1).

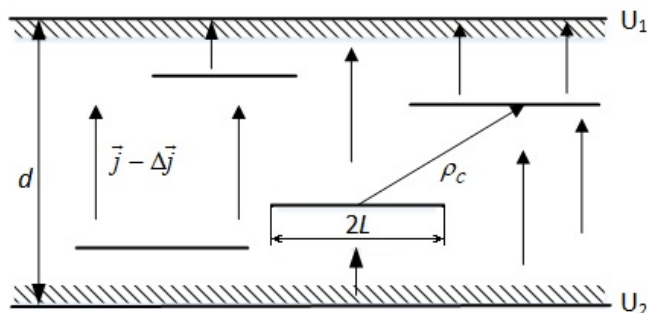


Рисунок 1. Схема распределения тока в угольной пластине, содержащей трещины

К её противоположным сторонам прикладывается некоторая разность потенциалов $U_2 - U_1$. В пластине имеется система параллельных друг к другу трещин случайным образом распределенных в образце. Расчет мы будем проводить для трещин, которые параллельны поверхности пластины. Если рассматривать наклонные трещины, то полученный результат следует умножить на $\cos^2 \alpha$, где α – угол между нормалью к внешней поверхности пластины и нормалью к плоскости трещины.

Для простоты будем полагать, что все трещины имеют примерно одинаковую длину $2L$. Система трещин естественно будет приводить к некоторому дополнительному сопротивлению материала (в данном случае угля). Измеряемой величиной в такой схеме является сила тока во внешней цепи – I . Из закона Ома для участка цепи непосредственно следует, что электросопротивление образца с трещинами равно $R = (U_2 - U_1)/I$. Вводим усредненную по объему угольного образца плотность тока j в отсутствии трещин. Влияние трещин на электрическое сопротивление образца будет проявляться в уменьшении плотности тока, обусловленном наличием в нем трещин. Измененную плотность тока обозначим $j - \Delta j$, где Δj – изменение плотности тока, обусловленное трещинами. Тогда относительное изменение сопротивления, обусловленное трещинами, оказывается равным

$$\frac{R_{cr} - R}{R} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta j}{j - \Delta j} \approx \frac{\langle \Delta j \rangle}{j}, \quad (1)$$

где $R = (U_2 - U_1) / jS$ – электросопротивление образца угля, не содержащего трещин; $R_{cr} - R = (U_2 - U_1) / (j - \Delta j)S$ – электросопротивление образца с трещинами; $\langle \Delta j \rangle$ – усредненная нормальная добавка к плотности тока. Следует отметить, что при получении окончательного результата в (1) было сделано важное предположение, что возмущение плотности тока, обусловленное влиянием трещин, мало по сравнению с величиной плотности тока в образце, не содержащем трещин, т.е. $\Delta j / j \ll 1$.

Чтобы найти влияние всей системы трещин на электросопротивление угольного образца, прежде всего, следует рассмотреть изменение плотности тока под воздействием одной трещины, а затем произвести усреднение полученного результата.

3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения подобной задачи с уединенной трещиной в работе [5] была использована гидродинамическая аналогия между электрическим током и движением жидкости при потенциальном обтекании твердых тел [6].

Для плоского течения жидкости вводится комплексная скорость $\Phi(z)$, которая является аналитической функцией комплексного переменного $z = x + iy$:

$$\Phi(z) = \Delta j_x(x, y) + i\Delta j_y(x, y), \quad (2)$$

где i – мнимая единица.

С помощью аппарата интегралов типа Коши была найдена тангенциальная компонента плотности тока на границах трещины:

$$\Delta j_x(x, y) = \mp \frac{jx}{\sqrt{L^2 - x^2}}. \quad (3)$$

Здесь L – половина длины трещины. И, что самое важное, была найдена величина $\Delta j_y(x, y)$ (т.е. выражение для вертикальной составляющей добавки к плотности тока в интегральном виде):

$$\Delta j_y(x, y) = \frac{j}{\pi} \int_{-L}^L \frac{\xi - x}{(\xi - x)^2 + y^2} \frac{\xi d\xi}{\sqrt{L^2 - \xi^2}}. \quad (4)$$

Тем самым было найдено изменение скорости жидкости, а, следовательно, согласно аналогии, изменение плотности тока, обусловленное одной трещиной. Нам же необходимо найти воздействие на электрический ток всей системы трещин. Для этого необходимо ввести понятие плотности числа трещин в единице объема угольного вещества, которая в плоском (двумерном)

случае оказывается равной $1/\rho_c^2$, где ρ_c – среднее расстояние между центрами трещин.

Среднее изменение плотности тока тогда можно вычислить по формуле

$$\langle \Delta j_y \rangle = \frac{1}{\rho_c^2} \int_{-\rho_c}^{\rho_c} dx \int_0^d dy \Delta j_y(x, y). \quad (5)$$

Здесь интегрирование по x от $-\infty$ до ∞ удастся заменить на интегрирование по среднему расстоянию между трещинами, что существенно упрощает задачу. Ввиду статистической однородности распределения трещин по угольному пласту, $\langle \Delta j_y \rangle$ не зависит от координат x и y . Вычисление соответствующего интеграла по x и y приводит к соотношению для относительного увеличения электросопротивления угля, обусловленного трещинами

$$\frac{\Delta R}{R} \equiv \frac{\langle \Delta j_y \rangle}{j} = \frac{2L^2}{\pi \rho_c^2} \int_0^1 F(\xi, \rho_c/L, d/L) \frac{\xi d\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}, \quad (6)$$

где под интегралом введена следующая функция:

$$F(\xi, \rho_c/L, d/L) = \frac{d}{2L} \ln \frac{(\xi + \rho_c/L)^2 + (d/L)^2}{(\xi - \rho_c/L)^2 + (d/L)^2} + \left(\xi + \frac{\rho_c}{L} \right) \operatorname{arctg} \frac{d/L}{\xi + \rho_c/L} - \left(\xi - \frac{\rho_c}{L} \right) \operatorname{arctg} \frac{d/L}{\xi - \rho_c/L}. \quad (7)$$

Если ввести безразмерный коэффициент трещиноватости угля

$$\gamma = 2hL/\rho_c^2, \quad (8)$$

где h – ширина трещины, то выражение (6) примет следующий вид:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{L}{\pi h} \gamma \int_0^1 F(\xi, \alpha, \delta, \gamma) \frac{\xi d\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}. \quad (9)$$

Преобразуем теперь (9), вводя безразмерные параметры $\alpha = h/L$ и $\delta = d/L$. Тогда получим

$$F(\xi, \alpha, \delta, \gamma) = \frac{\delta}{2} \ln \frac{(\xi + \sqrt{2\alpha/\gamma})^2 + \delta^2}{(\xi - \sqrt{2\alpha/\gamma})^2 + \delta^2} + (\xi + \sqrt{2\alpha/\gamma}) \operatorname{arctg} \frac{\delta}{\xi + \sqrt{2\alpha/\gamma}} - (\xi - \sqrt{2\alpha/\gamma}) \operatorname{arctg} \frac{\delta}{\xi - \sqrt{2\alpha/\gamma}}. \quad (10)$$

Соответственно изменится и выражение (9)

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{L}{\pi h} \gamma \int_0^1 F(\xi, \alpha, \delta, \gamma) \frac{\xi d\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}. \quad (11)$$

4. АСИМПТОТИЧЕСКИЙ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для получения применяемых на практике оценок влияния трещин на электросопротивление угля проведем рассмотрение различных частных случаев, представляющих практический интерес. Используем при этом выражения (6) и (7). Имеем

1. Рассмотрим, прежде всего, случай малой трещиноватости, когда $\rho_c/L \gg 1$, а $d/L \sim 1$. Это отвечает случаю, когда длина трещины порядка толщины пластины, но много меньше среднего расстояния между центрами трещин. Тогда, согласно (6) и (7), относительное добавочное сопротивление, обусловленное трещинами, с учетом соотношения (8) принимает вид

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{2(d/L)}{(\rho_c/L)^3} = \frac{d}{h} \sqrt{\frac{L}{2h}} \gamma^{3/2}. \quad (12)$$

2. Рассмотрим теперь случай большой трещиноватости, когда $\rho_c/L \ll 1$, а $d/L \sim 1$. Это отвечает случаю, когда длина трещины порядка толщины пластины, но много больше среднего расстояния между центрами трещин. Тогда, согласно (6) и (7), относительное добавочное сопротивление, обусловленное трещинами, с учетом соотношения (8) принимает вид

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{4}{\pi(\rho_c/L)} f(d/L) \sim \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{2L}{h}} \gamma^{1/2}, \quad (13)$$

где функция $f(d/L)$ определяется выражением

$$f(d/L) = \int_0^1 \frac{\xi \operatorname{arctg}(d/L)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi \quad (14)$$

и может быть найдена численно для конкретных значений отношения d/L .

3. Рассмотрим теперь случай малой толщины пластины, когда $d/L \ll 1$, $\rho_c/L \sim 1$. Это отвечает случаю, когда длина трещины порядка среднего расстояния между центрами трещин и значительно превышает толщину пластины. Тогда, согласно (6) и (7), относительное добавочное сопротивление, обусловленное трещинами, с учетом соотношения (8) принимает вид

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{\delta}{\pi(\rho_c/L)^2} \psi(\rho_c/L) - \frac{d}{2\pi h} \gamma, \quad (15)$$

где функция $\psi(\rho_c/L)$ определяется выражением

$$\psi(\rho_c/L) = \int_0^1 \ln \frac{(\xi + (\rho_c/L))^2}{(\xi - (\rho_c/L))^2} \cdot \frac{\xi d\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}. \quad (16)$$

и может быть найдена численно для конкретных значений отношения ρ_c/L .

4. И, наконец, рассмотрим теперь случай большой толщины пластины, когда $d/L \gg 1$, $\rho_c/L \sim 1$. Это отвечает случаю, когда длина трещины порядка среднего расстояния между центрами трещин и значительно меньше толщины пластины. Тогда, согласно (6) и (7), относительное добавочное сопротивление, обусловленное трещинами, с учетом соотношения (8) принимает вид

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{\pi}{2(\rho_c/L)^2} \sim \frac{\pi L}{4h} \gamma \quad (17)$$

и, как видим, вовсе не зависит от толщины угольного образца.

Для нахождения зависимости относительного добавочного электросопротивления угля, обусловленного трещинами в зависимости от коэффициента трещиноватости для всех возможных значений коэффициентов трещиноватости удобно воспользоваться выражениями (9), (10), записанными через безразмерные параметры α , γ , δ и провести численное интегрирование в выражении (9). Если рассмотреть случай малых толщин угольной пластины через которую пропускают ток и положить $\delta \sim 0.01$, а $\alpha \sim 0.1$, то зависимость изменения относительного электросопротивления угля от трещиноватости приобретает существенно нелинейный вид (рис. 2). Полученная зависимость наглядно подтверждает найденные ранее асимптотики (12) и (13).

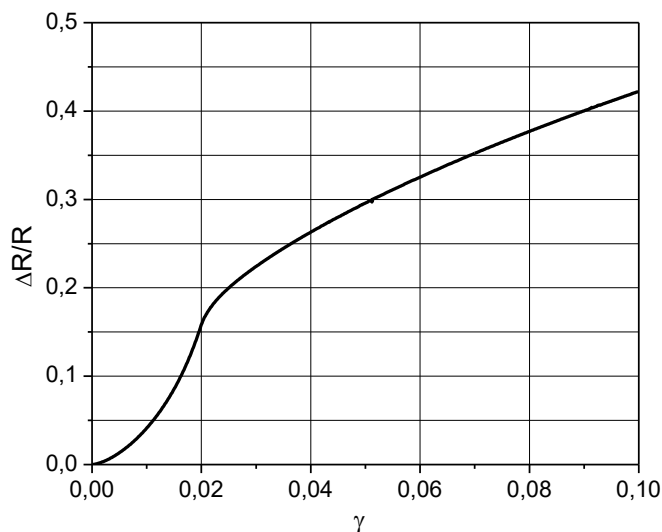


Рисунок 2. Изменение дополнительного относительного электросопротивления угля в зависимости от коэффициента трещиноватости в случае малых толщин угольного образца

Если же рассмотреть случай больших толщин угольного образца и положить в (9) $\delta \sim 10$, а $\alpha \sim 0.01$, то, после численного расчета указанного интеграла, мы получаем функциональную зависимость изменения относительного электросопротивления угля от коэффициента трещиноватости, которая практически всюду имеет линейный характер (рис. 3). Что подтверждает найденные ранее асимптотики (15) и (17).

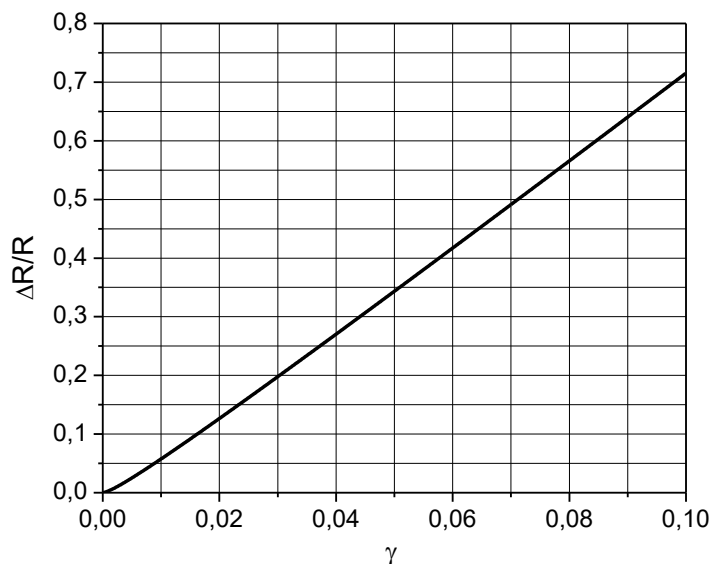


Рисунок 3. Изменение дополнительного относительного электросопротивления угля в зависимости от коэффициента трещиноватости в случае больших толщин угольного образца

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из проведенных асимптотических исследований и численных расчетов (рис. 2) следует, что при больших длинах трещин и малых толщинах угольной пластины наблюдается нелинейная зависимость относительного добавочного сопротивления, обусловленного трещинами, от коэффициента трещиноватости γ , а именно, при малых γ нарастает сравнительно быстро, по закону $\Delta R/R \sim \gamma^{3/2}$, а затем рост относительного добавочного сопротивления замедляется и следует корневому закону $\Delta R/R \sim \gamma^{1/2}$.

В противоположном же предельном случае, т.е. при малых длинах трещин и большой толщине угольной пластины, как следует из асимптотических исследований и численных расчетов (рис 3), зависимость относительного добавочного сопротивления, обусловленного трещинами, от коэффициента трещиноватости γ , за исключением самой малой окрестности γ вблизи нуля, подчиняется линейному закону и не зависит от толщины пластины (17).

6. ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании проведенных исследований мы можем сказать, что относительное добавочное сопротивление угля, обусловленное трещинами, не всегда ведет себя линейным образом в зависимости от коэффициента трещиноватости, а именно:

а) при малых толщинах образца электросопротивление вначале быстро возрастает по закону $\Delta R/R \sim \gamma^{3/2}$, а затем скорость роста замедляется и выходит на корневой закон $\Delta R/R \sim \gamma^{1/2}$;

б) при больших же толщинах угольного образца практически на всем разумном интервале изменения коэффициента трещиноватости ($0.01 < \gamma < 0.1$) добавочное относительное сопротивление угля, обусловленное трещинами, зависит от коэффициента трещиноватости по линейному закону, что коррелирует с результатами работ Салганика [1, 4].

Предварительное исследование характера трещиноватости угольного пласта методами измерения его электропроводности позволяет предсказать, насколько быстро будет развиваться выброс при его отработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салганик Р.Л. (1974). Процессы переноса в телах с большим числом трещин. *Инженерно-физический журнал*. (27) 1069 – 1075.
2. Фельдман Э.П., Грановский Я.И., Калугина Н.А., Винник Е.А. (2010). Влияние пористости и размера пор на электросопротивление угля. *Физико-технические проблемы горного производства*, (13), 39–41.
3. Ржевский В.В., Новик Г.Я. (1978). *Основы физики горных пород*. М.: “Недра”, 390 с.
4. Салганик Р.Л. (1980). Об эффективных характеристиках материала с большим числом трещин. Возможность геофизического определения параметров трещиноватости пласта в связи с задачей обеспечения выбрособезопасности. *Препринт*, (154), М. ИПМ АН СССР, 25 с.

5. Фельдман Э.П., Винник Е.А., Грановский Я.И., Калугина Н.А. (2011). Электросопротивление проводящего материала, содержащего трещины. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (14), 54–58.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. (1986). *Гидродинамика. Теоретическая физика*. М.: "Наука", Т.6. – 736 с.

REFERENCES

1. Salganik R.L. (1974). Protsessy perenosa v telakh s bolshim chislom treshchin. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*. (27) 1069-1075.
2. Feldman E.P., Granovskiy Ya.I., Kalugina N.A., Vinnik E.A. (2010). Vliyaniye poristosti i razmera por na elektrosoprotivleniye uglya. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy gornogo proizvodstva*. (13). 39-41.
3. Rzhavskiy V.V., Novik G.Ya. (1978). *Osnovy fiziki gornykh porod*. М.: "Nedra". 390 s.
4. Salganik R.L. (1980). Ob effektivnykh kharakteristikakh materiala s bolshim chislom treshchin. Vozmozhnost geofizicheskogo opredeleniya parametrov treshchinovattosti plasta v svyazi s zadachey obespecheniya vybrosobezopasnosti. *Preprint*. (154). М. IPM AN SSSR, 25 s.
5. Feldman E.P., Vinnik E.A., Granovskiy Ya.I., Kalugina N.A. (2011). Elektrosoprotivleniye provodyashchego materiala. sodержashchego treshchiny. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy gornogo proizvodstva*. (14). 54-58.
6. Landau L.D., Lifshits E.M. (1986). *Gidrodinamika. Teoreticheskaya fizika*. М.: "Наука". Т.6. – 736 s.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета дослідження. Проаналізувати, як впливає тріщинуватість вугілля на його електропровідність на постійному струмі при різних концентраціях тріщин та при різних співвідношеннях між розмірами тріщин та розмірами зразка.

Методика дослідження. Робота базується на використанні аналогії між електричним струмом та рухом рідини при потенційному обтіканні твердих тіл. Для знаходження аналітичних залежностей використані асимптотичні методи дослідження. Для перевірки аналітичних закономірностей проведено чисельний аналіз отриманих інтегральних виразів.

Результати дослідження. Виявлено, що при проходженні електричного струму через тріщинуватий вугільний зразок у формі пластини виникає додатковий опір постійному струму. Він зумовлений тим, що наявність тріщин не тільки зменшує площу струмопровідних каналів, але й подовжує шлях проходження струму за рахунок зростання звивистості струмопровідних каналів. Знайдено функціональні залежності додаткового опору вугілля від коефіцієнта його тріщинуватості. В результаті чисельного аналізу отримані криві залежності додаткового опору від коефіцієнта тріщинуватості. При малих розмірах зразка вони носять істотно нелінійний характер. При великих розмірах зразка залежність додаткового опору від коефіцієнта тріщинуватості носить лінійний характер.

Наукова новизна. Використовуючи аналогію між електричним струмом та рухом рідини при потенційному обтіканні твердих тіл, отримані нові функціональні залежності додаткового опору вугілля, обумовлені тріщинами, в залежності від коефіцієнта тріщинуватості при різних співвідношеннях розмірів вугільного зразка і розмірів тріщин.

Практична значимість. Отримані у роботі аналітичні залежності електроопору від коефіцієнта тріщинуватості можуть бути використані при експериментальному дослідженні тріщинуватості вугілля методами імпедансної спектроскопії. Попереднє дослідження характеру тріщинуватості вугільного вугілля методами вимірювання його електропровідності дозволяє передбачити, наскільки швидко буде розвиватися викид при відпрацюванні вугільного пласта.

Ключові слова: електропровідність вугілля, система тріщин, коефіцієнт тріщинуватості, гідродинамічна аналогія, відносний додатковий опір

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель исследования. Проанализировать, как влияет трещиноватость угля на его электропроводность на постоянном токе при различных концентрациях трещин и при различных соотношениях между размерами трещин и размерами образца.

Методика исследования. Работа основана на использовании аналогии между электрическим током и движением жидкости при потенциальном обтекании твердых тел. Для нахождения аналитических зависимостей использованы асимптотические методы исследования. Для проверки аналитических закономерностей проведен численный анализ полученных интегральных выражений.

Результаты исследования. Обнаружено, что при прохождении электрического тока через трещиноватый угольный образец в форме пластины возникает дополнительное сопротивление постоянному току. Оно обусловлено тем, что наличие трещин не только уменьшает площадь токопроводящих каналов, но и удлиняет путь прохождения тока за счет роста извилистости токопроводящих каналов. Найдены функциональные зависимости возникающего дополнительного сопротивления угля от коэффициента его трещиноватости. В результате численного анализа получены кривые зависимости добавочного сопротивления от коэффициента трещиноватости. При малых размерах образца они носят существенно нелинейный характер. При больших размерах образца зависимость добавочного сопротивления от коэффициента трещиноватости носит линейный характер.

Научная новизна. Получены новые функциональные зависимости добавочного сопротивления угля, обусловленные трещинами, в зависимости от коэффициента трещиноватости при различных соотношениях размеров угольного образца и размеров трещин.

Практическая значимость. Полученные в работе аналитические зависимости электросопротивления от коэффициента трещиноватости могут быть использованы при экспериментальном исследовании трещиноватости угля методами импедансной спектроскопии. Предварительное исследование харак-

тера трещиноватости ископаемого угля методами измерения его электропроводности позволяет предсказать, насколько быстро будет развиваться выброс при обработке угольного пласта.

Ключевые слова: электропроводность углей, система трещин, коэффициент трещиноватости, гидродинамическая аналогия, относительное добавочное сопротивление

ABOUT AUTHORS

Stefanovich Leonid Illich, Doctor of Physics and Mathematics, (D.Sc.) (Phys.-Math.), Deputy Director of the Institute for Scientific Work, Institute for Physics of Mining Processes NAS of Ukraine (IPMP, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, 49600. E-mail: listef2591@ukr.net

Feldman Eduard Petrovich. Doctor of Physics and Mathematics, (D.Sc.) (Phys.-Math.), Professor, Principal Reseacher, Institute for Physics of Mining Processes NAS of Ukraine (IPMP, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, 49600. E-mail: edward.feldman.40@gmail.com

Chesnokova Oksana Vitalyivna. Researcher. Institute for Physics of Mining Processes NAS of Ukraine (IPMP, NAS of Ukraine), Dnepr, Ukraine, 49600. E-mail: chesnokova0507@gmail.com