

УДК 541.1:539.25:620.187:622.831.325

**Макеев С.Ю.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Андреев С.Ю.**, канд. техн. наук, вед. инж.,  
**Кратковский И.Л.** канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,  
**Рыжов Г.А.**, магистр  
(ИГТМ НАН Украины)

## **МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ УГЛЯ, ПОДВЕРГНУТЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

**Макеев С.Ю.**, канд. техн. наук, ст. науч. співр.  
**Андреев С.Ю.**, канд. техн. наук, пров. інж.,  
**Кратковський І.Л.** канд. техн. наук, ст. науч. співр.,  
**Рижов Г.О.**, магістр  
(ІГТМ НАН України)

## **МИКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ ВУГІЛЛЯ, ПІДДАНИХ ФІЗИКО-ХІМІЧНІЙ ОБРОБЦІ**

**Makeev S.Yu.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**Andreev S.Yu.**, Ph.D. (Tech.), Principal Engineer,  
**Kratkovsky I.L.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,  
**Ryzhov G.A.**, M.S (Tech)  
(IGTM NAS of Ukraine)

## **MICROSCOPIC RESEARCHES OF COAL SAMPLES, SUBJECTED PHYSICOCHEMICAL PROCESSING**

**Аннотация.** Целью статьи является установление влияния различных видов физико-химической обработки (ФХО) на свойства выбросоопасного угольного пласта. В предыдущих исследованиях было высказано предположение, что выбросоопасная ситуация может быть спровоцирована проскальзыванием микроплазменных разрядов при пьезоэлектрическом эффекте в горных породах. Для подтверждения этой гипотезы выполнены микроскопические исследования изменения структуры выбросоопасного угля, подвергнутого различным видам внешних воздействий. С этих позиций выполнена сравнительная оценка эффективности двух различных способов: физико-химической обработки пласта и физико-химического электроразрядного воздействия. Критерием эффективности служила степень остроугольности присутствующих в угле зерен кварца и их изолированности друг от друга. Установлено, что в результате предварительного снятия статического электричества с остроугольных кромок кварцевых зерен и последующей ФХО массива они обволакиваются химическим раствором и в большинстве случаев теряют свою остроугольную форму – становятся округлыми, что существенно снижает вероятность проскальзывания микроплазменных разрядов при пьезоэлектрическом эффекте. Научная новизна результатов заключается в обосновании условий и закономерностей зарождения или затухания газодинамического процесса в выбросоопасном угольном пласте при его физико-химической обработке. Приведенные результаты могут быть применены в области прогноза и предотвращения газодинамических явлений предлагаемыми для этого способами.

**Ключевые слова:** газодинамическое явление, микроскопические исследования, физико-химическое воздействие.

## Введение

Ранее при трактовке динамических процессов уже предполагалось, что в результате резкого разупрочнения горных пород происходят нелинейные сложно-контролируемые плазменные эффекты [1, 2]. Деформационные сдвигения инициируют в массиве электромагнитное поле с широким диапазоном частот. При определенном соотношении температурных и силовых нагрузок изменяется структура, минеральный состав, а также увеличивается интенсивность некоторых систем трещин в угле и породах. Трущиеся берега каждой трещины представляют собой потенциальные полюса для проскальзывания между ними микроплазменных разрядов, соединяющихся в один лавинообразный поток, как это происходит между электродами в лабораторных условиях [1].

На наш взгляд, особую роль в образовании и работоспособности потенциальных полюсов играют зерна кварца, связанные с возникновением прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта в горном массиве. Имеются различные мнения о процентном содержании зёрен кварца в углях и породах [3-5]. Особого внимания заслуживают зоны геологических нарушений, где кварцевые обломки могут попадать в угольное вещество в результате их переноса при деформационных процессах на границах угольного пласта с породами кровли и почвы. Мы считаем, что количество и распределение этих зёрен в углепородном материале менее важно, чем позиционное расположение их по отношению друг к другу, играющее не последнюю роль при развязывании внезапных выбросов угля и газа, вызванных горными работами.

Для подтверждения вышесказанного была проведена сравнительная оценка изменения структуры выбросоопасного угля (пл. Пугачевка, гор. 1160 м, ш. Дзержинского ПО «Дзержинскуголь») до и после комплексного воздействия на него противовыбросных мероприятий, упреждающих возможность возникновения газодинамических явлений, которые способны осуществить уже более глубокие и неотвратимые структурные превращения. С целью детальной визуализации распространения зерен кварца в угле, образец угля измельчался в мелкодисперсную пыль (0-100 мкм). Исследования осуществлялись на специально подготовленных препаратах с помощью петрографического микроскопа МП-2 в проходящем неполяризованном свете при увеличении 240× и выше.

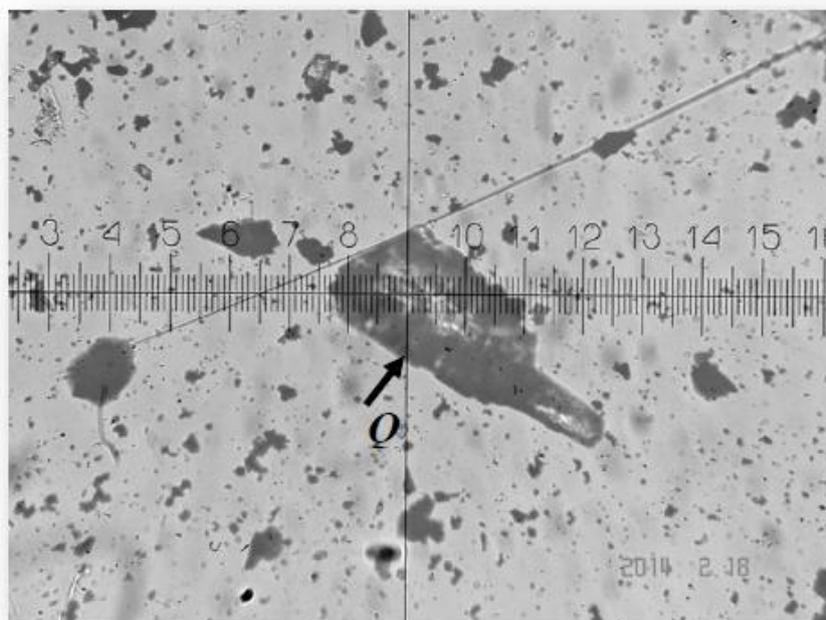
Небольшое количество угольной пыли (на кончике пера) фракции 0-100 мкм наносили на середину предметного стекла, затем, пипеткой в центр навески вводили 1-2 капли дистиллированной воды для того, чтобы мелкодисперсные частички равномерно растекались по поверхности. Препарат считался подготовленным к исследованию под микроскопом после высушивания в сушильном шкафу в течение 24 часов.

Минералогический состав мелкодисперсной угольной пыли определяли линейным методом с помощью смонтированного на предметном столике микроскопа МП-2 интегратора ИСА, который снабжен шестью отсчетными барабаничками, позволяющими осуществлять количественный анализ угольной пробы по шести компонентам (три главных минерала и три второстепенных). Количественный анализ минералов, входящих в состав угольной пробы, на интеграторе

ре выполнялся линейным методом, для чего в конструкции интегратора помимо отсчетных барабанов имеется винт холостого хода и стандартный препаратодитель.

### Результаты и их обсуждение

Анализ минералогического состава изученной под микроскопом угольной пыли показал, что она более чем на 90 % состоит из остроугольных угольных частиц и кварцевых обломков размером от 1 до 25 мкм. Типичный пример одного из кварцевых обломков, подтверждающий их основополагающую конфигурацию представлен при увеличении 500× на рис. 1. На нем просматривается та самая остроугольность, несущая в себе, по нашему предположению, потенциальную опасность возникновения внезапного выброса угля и газа.

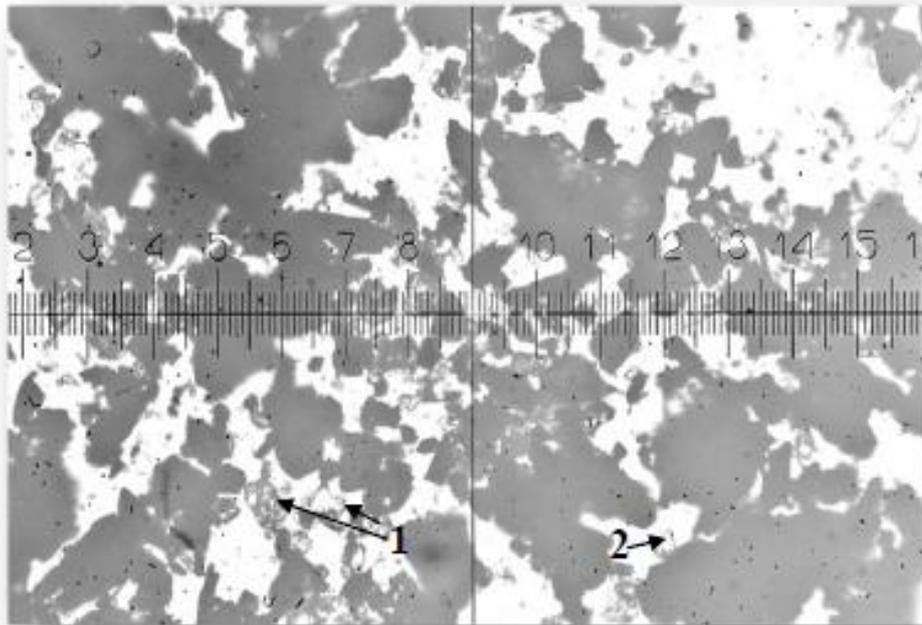


Увеличение 500× (одно деление шкалы соответствует 2 мкм)  
Остроугольный обломок кварца *Q* в составе угольной пыли

Рисунок 1 – Микрофотография угольной пыли фракции 0-100 мкм  
Неполяризованный проходящий свет.

На рис. 2 видны отобранные до проведения выбросоопасных мероприятий многочисленные и хаотически разбросанные частички зерен остроугольного кварца в угле (например, частички 1 и 2), которые могут служить очагами зарождения микроплазменных эффектов, свойственных внезапным выбросам угля и газа. Естественно, что в нетронутом массиве непременно должны встречаться симметрично расположенные и даже контактирующие друг с другом зерна кварца. Поэтому критическое расстояние для взаимодействия их друг с другом является одним из критериев нахождения угольного пласта в нестабильном состоянии, если он, конечно, не подвергнут заблаговременному воздействию сдерживающих мероприятий. Именно на устранение остроконечности во взаимодейст-

вующих зернах кварца путем их сглаживания или взаимного изолирования и были направлены комплексные методы управления углепородной средой.



Увеличение 240× (1 деление измерительной шкалы соответствует 5 мкм)  
Черные частички – уголь; прозрачные мельчайшие частички (1 и 2) – кварц

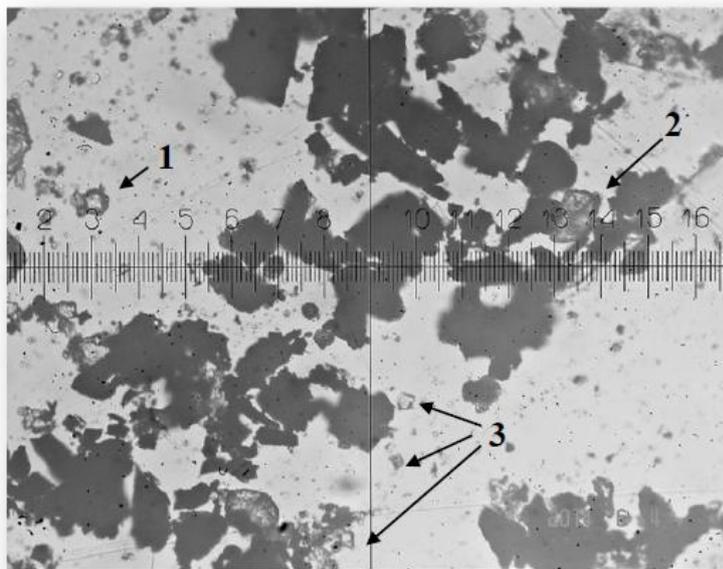
Рисунок 2 – Микрофотография угольной пыли фракции 0-100 мкм  
Проходящий неполяризованный свет

Основной идеей комплексного воздействия является сравнительная оценка эффективности двух различных способов: физико-химической обработки (ФХО) пласта [6] и физико-химического электроразрядного воздействия (ФХЭВ) [7], каждый из которых проводился на заключительном этапе двухстадийных экспериментальных исследований. На первом же этапе эксперимента осуществлялось предварительное снятие статического электричества с остроугольных кромок кварцевых зерен, без которого эти способы были бы непродуктивными. Нужный эффект достигается за счет использования электромагнитного поля, притягивающего к себе блуждающие стохастические электрические заряды [8]. Оно как бы «очищает» остроугольные области зерен кварца и снижает его сопротивление последующим указанным выше воздействиям, что позволит повысить степень защиты массива от вероятного возникновения динамического явления.

Микроскопические исследования состояния выбросоопасного угля после ФХО (рис. 3) показали существенную степень ее влияния на выбранный объект воздействия. Но достигнутая эффективность – недостаточна, так как помимо сглаженных и окатанных частиц кварца еще кое-где просматриваются – остроугольные. В случае же ФХО с электроразрядным воздействием (рис. 4) практически все частицы кварца приобретают округлую форму.

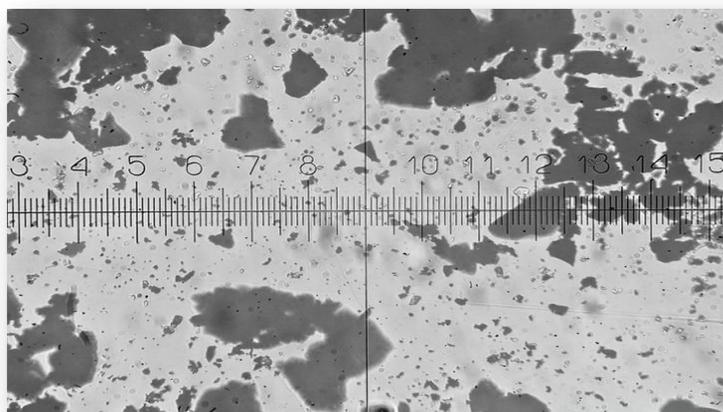
У каждого из вышеупомянутых способов (ФХО и ФХЭВ) есть свои перспективы для дальнейшего совершенствования. Так, при использовании ФХЭВ мож-

но более оперативно в широком диапазоне управлять параметрами воздействия, хотя этот способ является довольно энергоемким и сложным по технической реализации.



увеличение 240× (1 деление измерительной шкалы соответствует 5 мкм)  
Сглаженные (1), окатанные (2) и остроугольные (3)  
частицы кварца в мелкодисперсной угольной пыли

Рисунок 3 – Микрофотография угольной пыли фракции 0-100 мкм  
Проходящий неполяризованный свет



Увеличение 240× (1 деление измерительной шкалы соответствует 5 мкм)  
Черные остроугольные частицы – уголь;  
округлые прозрачные мельчайшие частицы – кварц

Рисунок 4 – Микрофотография угольной пыли фракции 0-100 мкм  
Проходящий неполяризованный свет

В то время как при ФХО нарушаются ее технологические циклы в плане их несовмещения во времени с темпами горных работ, часто непреднамеренно опережающими время схватывания химических реагентов в угле. Более полного устранения остроугольности зерен кварца и их изолирования друг от друга

можно достичь варьированием длительности воздействия, расширением подбора химических реактивов и изменением их состава в воде до рациональной концентрации для каждого конкретного объекта шахтных исследований. То есть можно говорить о вариантах приоритета и предпочтения для каждого из названных способов.

### Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что в результате предварительного снятия статического электричества с остроугольных кромок кварцевых зерен и последующей ФХО массива они обволакиваются химическим раствором и в большинстве случаев теряют свою остроугольную форму – становятся округлыми, что существенно снижает вероятность проскальзывания микроплазменных разрядов при пьезоэлектрическом эффекте. В то же время физико-химическая электроразрядная обработка после разгрузки от статического электричества, сосредоточенного на структурных аномалиях угля почти однозначно приводит не только к образованию округлостей, но и к сглаженности зерен кварца. Последнее вызвано высокими величинами градиентов импульсных давлений, возникающих при электрическом разряде. Предложенные комплексные методы обработки выбросоопасного угольного пласта могут в достаточной мере снижать вероятность развязывания выброса, позволяют управлять газодинамическими процессами и повышают безопасность ведения горных работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Феноменологическая модель генезиса динамических явлений в шахтах / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, С.Ю. Андреев, Г.А. Рыжов // Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: Матеріали II міжнародної конф., 18 травня 2011 р. – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – С. 11-16.
2. Развитие гипотезы возникновения газодинамических явлений в результате формирования микроплазменных разрядов в подземных условиях / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, В.Я. Осенний, С.Ю. Андреев // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 104. – С. 3-9.
3. Зорин, А.Н. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых / А.Н. Зорин, Ю.М. Халимендик, В.Г. Колесников. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 413 с.
4. Влияние различного рода воздействий на свойства и состояние газонасыщенного углелепородного массива / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, В.Я. Осенний [и др.] // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Матер. XVII Межд. науч. школы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2007. – С. 52-56.
5. Баранов, В.А. Микродеформации кварца карбоновых песчаников Донбасса / В.А. Баранов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – №12. – С. 75-86.
6. Репка, В.В. Физико-химическая механика и способы управления свойствами и состоянием углелепородных массивов: дис. . . д-ра техн. наук: 05.15.11 / Репка В. В. - : ИГТМ НАНУ, 1991. – 495 с.
7. Пат. України № 97444, МПК<sup>8</sup> E21F 5/00. Спосіб управління станом вуглелепородного масиву / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеєв, С.Ю. Андреев, Г.О. Рижов, Т.П. Горська; заявник і патентовласник Ін-т геотехн. мех. НАН України. – № u201411682; заявл. 28.10.2014; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5/2015. – 6 с.
8. Пат. України № 88613 UA, МПК<sup>8</sup> E21F 5/00, E21D 20/00. Спосіб попередження газодинамічних явищ / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеєв, С.Ю. Андреев, Г.О. Рижов; заявник і патентовласник Ін-т геотехн. мех. НАН України. – № u201311721; заявл. 04.10.2013; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6/2014. – 6 с.

### REFERENCES

1. Bulat, A.F., Makeev, S.Yu., Andreev, S.Yu. and Ryzhov G.A. (2011), "A phenomenological model of the dynamic phenomena genesis is in mines", *Underground catastrophes: models, prognosis, prevention:*

*Materials of II International conference* [Underground catastrophes: models, prognosis, prevention: Materials of II international conference], Dnepropetrovsk, UA, 18.05.2011, pp. 11-16.

2. Bulat, A.F., Makeev, S.Yu., Osenniy, V.Ya. and Andreev, S.Yu. (2012), "Development of hypothesis about origin of the gas-dynamic phenomena as a result of forming microplasma digits in underground terms", *Geo-Technical Mechanics*, no 104, pp. 3-9.

3. Zorin, A.N., Khalimendik, YU.M. and Kolesnikov, V.G. (2001), *Mekhanika pazrushenyja gornogo massiva i ispolzovaniye ego energii pri doychie poleznykh iskopaemykh* [Mechanics of of rock main destruction and use of his energy at mining], Nedrabisnescentr, Moskow, Russia.

4. Bulat, A.F., Makeev, S.Yu., Osenniy, V.Ya. [and others] (2007), "Influence of different sort of affecting to properties and state of gas-saturated coal and rock array", *Deformirovaniye I razrusheniye materialov s defektami I dinamicheskiye yavleniya v gornikh porodakh I vyrabotkakh. Materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly* [Deformation and destruction of materials with defects and dynamic phenomena in rocks and workings. Materials of XVII International Scientific school], Simpheropol, UA, pp. 52-56.

5. Baranov, V.A. (2014). "Micro-deformations of quartz of carbon sandstones of Donbass", *Vestnik PNIPU. Geologija. Neftegazovoe I gornoe delo*, no. 12, pp. 75-86.

6. Repka, V.V. (1991). «Physical and chemical mechanics and management methods by properties and state of rock-coal mass», D. Sc. Thesis, 05.15.11, Institute of Geotechnical Mechanics under AS of Ukraine, Dnepropetrovsk, SU.

7. Bulat, A.F., Makeev, S.Yu., Andreev, S.Yu., Ryzhov, G.O. and Gorska, T.P., M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2015), *Sposib upravlinnja stanom vugleporodnogo masyvu* [Method of management by state of rock-coal mass], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. No 97444.

8. Bulat, A.F., Makeev, S.Yu., Andreev, S.Yu. and Ryzhov, G.A., M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2015), *Sposib poperedzennja gazodinamichnykh javisch* [Method of preventing gas-dynamic phenomena], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. No 88613.

---

#### Об авторах

**Макеев Сергей Юрьевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, smakeev@ukr.net

**Андреев Сергей Юрьевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий инженер в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, smakeev@ukr.net

**Кратковский Игорь Леонидович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе механики взрыва горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, kratkovsky@i.ua

**Рыжов Геннадий Александрович**, инженер, младший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, rga53@mail.ru

#### About the authors

**Makeev Sergey Jurievich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, smakeev@ukr.net

**Andreev Sergey Jurievich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Principal Engineer in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, smakeev@ukr.net

**Kratkovsky Igor Leonidovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Rock Explosion Mechanics, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, kratkovsky@i.ua

**Rizhov Gennadiy Alexandrovich**, Master of Science (M.S), Junior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, rga53@mail.ru

**Анотація.** Метою статті є встановлення впливу різних видів фізико-хімічної обробки (ФХО) на властивості викидонебезпечного вугільного пласта. У попередніх дослідженнях було висловлено припущення, що викидонебезпечна ситуація може бути спровокована проковзуванням мікроплазмових розрядів при п'єзоелектричного ефекту в гірських породах. Для підтвердження цієї гіпотези виконані мікроскопічні дослідження зміни структури викидонебезпечного вугілля, підданого різним видам зовнішніх впливів. З цих позицій виконана порівняльна оцінка ефективності двох різних способів: фізико-хімічної обробки пласта і фізико-хімічного електророзрядного впливу. Критерієм ефективності служила ступінь гострокутності присутніх у вугіллі зерен кварцу і їх ізольованості один від одного. Встановлено, що в результаті попереднього зняття статичної електрики з гострокутих кромки кварцових зерен і подальшої ФХО масиву вони обволікаються хімічним розчином і в більшості випадків втрачають свою гострокутну форму - стають округлими, що істотно знижує ймовірність прослизання мікроплазмових розрядів при п'єзоелектричного ефекту. Наукова новизна результатів полягає в обґрунтуванні умов і закономірностей зародження або загасання газодинамічного процесу у викидонебезпечному вугільному пласті при його фізико-хімічній обробці. Наведені результати можуть бути застосовані в області прогнозу і запобігання газодинамічних явищ пропонуваними для цього способами.

**Ключові слова:** газодинамічне явище, мікроскопічні дослідження, фізико-хімічна дія

**Abstract.** The aim of the article is to establish influence of various types of physicochemical processing (PCP) on properties of outburst coal seam. Previous studies have suggested that emissions of dangerous situation can be triggered slip microplasma discharges in the piezoelectric effect in the rocks. To confirm this hypothesis, microscopic researches are made structure changes of coal outburst; throw different kinds of external influences. From these positions, we made a comparative evaluation of the effectiveness two different ways: physical and chemical processing a layer and physicochemical effects of electric discharge. The criterion is the degree of effectiveness of an acute angle is present in quartz grains and their isolation from each other. It is found that by first removing static electricity from the acute-angled edges quartz grains and the subsequent PCP-processing of the massif are enveloped by a chemical solution, and in most cases lose their acute-angled shape – are rounded, which substantially reduces the likelihood of slippage microplasma discharges the piezoelectric effect. Scientific novelty of the results is the justification of the conditions and laws of origin, or a gas-dynamic damping process in the outburst coal seam at its physicochemical processing. These results can be used in the forecast and prevention of gas-dynamic phenomena proposed for this techniques.

**Keywords:** gas-dynamic phenomenon, microscopic researches, physical and chemical influence.

*Статья поступила в редакцию 12.11.2015*

*Рекомендовано к печати чл.-кор. НАН Украины, д-ром техн. наук, проф. Э.И. Ефремовым.*