

УДК 622.831.325

Макеев С.Ю., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Андреев С.Ю., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
Рыжов Г.А., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОПАСНОСТИ ГОРНОГО МАССИВА ПУТЕМ УВЕЛИЧЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ ЕГО ТРЕЩИНОВАТО- БЛОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Макеев С.Ю., канд. техн. наук, ст. науч. співр.,
Андреев С.Ю., канд. техн. наук, ст. науч. співр.,
Рижов Г.О., магістр
(ИГТМ НАН України)

ЗНИЖЕННЯ ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ГІРСЬКОГО МАСИВУ ШЛЯХОМ ЗБІЛЬШЕННЯ ОДНОРІДНОСТІ ЙОГО ТРИЩИНУВАТО-БЛОКОВОЇ СТРУКТУРИ

Makeyev S.Yu., Ph.D (Tech.), Senior Researcher,
Andreyev S.Yu., Ph.D (Tech.), Senior Researcher,
Ryzhov G.A., M.S (Tech)
(IGTM NAS of Ukraine)

REDUCTION OF OUTBURST RISK THROUGH IMPROVED UNIFORMITY OF THE ROCK CRACK-BLOCK STRUCTURE

Аннотация. Целью статьи является установление принципов управления напряженно-деформированным и газодинамическим состоянием горного массива с позиций физико-химической механики для повышения безопасности и эффективности технологий ведения горных работ. Решение этой проблемы возможно путем выбора составов и концентрации нагнетаемых пластифицирующих или твердеющих растворов, которые, распространяясь под большим давлением по трещинам, восстанавливают нарушенное равновесное напряженное состояние.

Установлено, что для увеличения однородности трещиновато-блочной структуры выбросоопасного горного массива и предотвращения в нем смещающих и поворотных деформаций требуется заблаговременное воздействие, гасящее указанные процессы. В этом плане физико-химическая обработка пласта позволяет смягчить на микроуровне склонность среды к газодинамическим явлениям за счет вовлечения пластифицированных участков в процесс хрупкого разрушения, а на макроуровне – вследствие заполнения межблочного пространства упрочняющим химическим составом, приводящим к повышению однородности породного массива.

Научная новизна результатов заключается в обосновании двух моделей воздействия на горный массив, которое может происходить как за счет препятствия возникновению смещений и поворотов блоков в массиве под влиянием напряжений дальнего действия и длительного характера, так и за счет сглаживания сдвига и кручения структурных породных кристаллов друг относительно друга. Приведенные результаты могут быть использованы для предотвращения газодинамических явлений при добыче угля.

Ключевые слова: газодинамическое явление, физико-химическая обработка, набухание, пластификация, упрочнение.

Введение

Эффективность проведения горных работ, особенно по мере углубления шахт, все более снижается за счет проявления опасных свойств, присущих угольным пластам, таких как газовыделение, пылеобразование, внезапные выбросы угля и газа, самовозгорание угля в массиве.

Применение гидравлического воздействия на пласт, как метода повышения безопасности работ является обязательным на всех шахтах Украины и рекомендуется нормативными документами. Воздействие осуществляется в соответствии с разработанными технологическими схемами и параметрами, которые рассчитываются на основании теоретических представлений об указанном процессе. Эффективность таких технологических схем определяется степенью снижения выбросоопасности угольного пласта при его выемке. Вместе с тем, эффективность применяемых средств все еще недостаточна, о чем свидетельствуют данные о техногенных авариях, взрывах, пожарах и других фактах. Целью исследований является обоснование и разработка методов управления напряженно-деформированным и газодинамическим состоянием угленосного массива на основе теоретических принципов и методов физико-химической механики как одного из современных вариантов решения данной проблемы. В основу разработки теоретических предпосылок методов управления физико-механическими свойствами выбросоопасных углей и вмещающих пород, а также решения проблемы борьбы с внезапными выбросами в шахтах были положены представления о контактных явлениях при деформации и разрушении твердых тел в поверхностно-активных средах. В частности, проявление эффекта Ребиндера – уменьшение прочности в результате физико-химического влияния адсорбирующихся веществ, способных снизить удельную свободную поверхностную энергию и облегчить образование новых поверхностей при нарушении целостности массива.

Процесс понижения прочности в присутствии различных химических веществ, обладающих поверхностно-активными свойствами, происходит без участия механических напряжений и при наличии устойчивых межфазовых границ. Сущность решения проблемы предотвращения выбросов сводится к пластифицированию пород и к предотвращению их хрупкого разрушения за счет снижения напряжений упругой энергии, накопленной в призабойной зоне, и ее рассеивания путем релаксации напряжений.

Физические и физико-химические свойства ископаемых углей тесно связаны с их надмолекулярной структурой, которая формировалась в процессе метаморфических изменений в угольном теле путем преобразования полимерного угольного вещества деструкцией органических соединений, в результате чего углерод из периферийной части переходит в ядерную и происходит рекомбинация боковых радикалов.

Учеными и практиками разработан ряд технологических схем нагнетания жидкостей через подземные скважины и с поверхности, предложены новые способы и режимы воздействия, направленные как на изменение комплекса свойств угольного массива, так и на повышение качества обработки. Разрабо-

таны и применяются разнообразные виды составов, включающих водные растворы поверхностно-активных и химически активных веществ, жидкости, изменяющие свое фазовое состояние, антипирогены, различные суспензии, аэрозоли, воздух и другие. Созданы теоретические основы движения жидкостей и газов в угольном массиве, способы моделирования процессов фильтрации и расчета параметров нагнетания.

Одной из основных причин недостаточно высокой эффективности способов предварительного увлажнения угольного пласта является неравномерность распределения влаги в массиве, вызванная преимущественным движением жидкости по крупным трещинам и приводящая к недостаточному повышению влажности больших блоков угля, тогда как на других участках пласта прирост влажности может превышать требуемое значение. Причиной такой неравномерности распространения жидкости при нагнетании является анизотропия фильтрационных и коллекторских свойств пласта, выражающаяся в изменении значений коэффициента проницаемости и эффективной пористости по всем направлениям. Необходимым условием высокой эффективности такого воздействия является равномерность его гидравлической обработки.

Таким образом, разработка современных методов совершенствования технологии и параметров процесса воздействия на углепородный массив различных жидкостей невозможна без исследования явлений физико-химической механики.

Результаты и их обсуждение

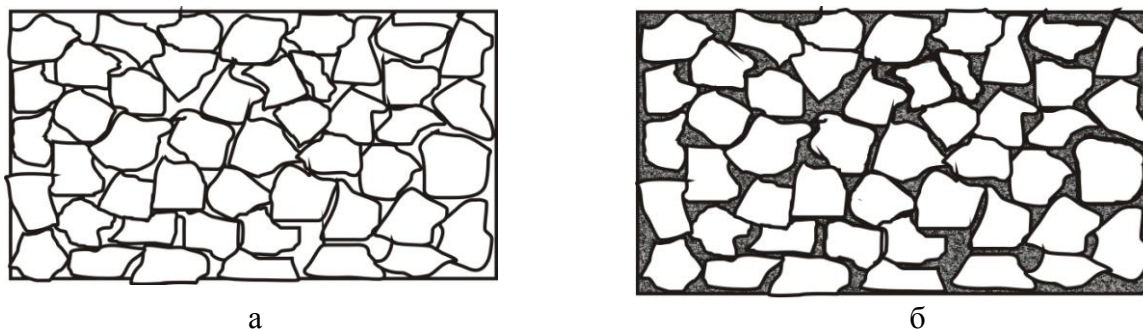
Выполненные ранее теоретические и лабораторные исследования [1-4] позволили установить, что одним из возможных способов воздействия на углепородную среду с целью управления ее состоянием является нагнетание в скважины пластифицирующих или твердеющих составов, которые, распространяясь под большим давлением по трещинам, восстанавливают нарушенное равновесное напряженное состояние массива.

В качестве такого воздействия для зон со скачкообразным характером изменения напряжений и аномально меняющейся однородностью и проницаемостью угля и горных пород рекомендуется использовать физико-химическую обработку (ФХО) массива. Рабочей жидкостью могут служить полимерные композиции, способные первоначально произвести межструктурную пластификацию углепородной среды с последующим, что особенно важно, общим упрочнением на макроуровне. Это позволяет изменить до безопасного предела относительные деформации в выбросоопасном пласте, а также за счет упрочняющего действия раствора повысить однородность структуры массива. Инъектирование в него химических растворов необходимо для полной и равномерной пропитки, при которой одновременно с изменением неупругих свойств происходит изменение упругих характеристик массива, обработанного полимерными композициями. Двойственность указанного воздействия заключается, с одной стороны, в упорядочении действующих сил давления, приводящего к их более равномерному распределению, а, с другой – в более активном вовлечении в противодействие участков с преобладанием пластичных свойств. Это препятствует ветвлению

трещин, переводит затраты подводимой энергии с процесса хрупкого разрушения на процесс пластического деформирования, повышает прочность при ударной нагрузке [5], а значит и способствует приостановке процесса зарождения и развития газодинамического явления.

Регулируя концентрацию химических компонентов в нагнетаемом составе можно тем самым, управлять величиной развивающихся в массиве упругих и неупругих характеристик. Представляется важным рассмотрение предельных значений релаксирующих напряжений при ФХО. Следует стремиться к тому, чтобы они не превышали напряжений в необработанном пласте. ФХО на основе нагнетания полимерных композиций в свете снижения опасности динамических явлений незаменима вследствие ее специфической особенности одновременно оказывать пластифицирующее и упрочняющее действие. Упрочнение дополнительно увеличивает однородность структуры угля и вмещающих пород, окончательно устраняя градиент физико-механических характеристик массива, но величина предельных напряжений остается неизменной или уменьшается.

В основе предлагаемого способа лежит способность жидкостей принимать форму того объема, в который они помещены, то есть повторять контуры трещин, практически не сжиматься, передавать давление по всем направлениям одинаково. Нагнетаемый состав, заполняя трещины между блоками-отдельностями массива, при больших давлениях действует на эти блоки в направлении их сжатия с одной или нескольких сторон, в зависимости от числа систем трещин. После гелеобразования или же затвердевания состава состояние объемного сжатия отдельностей массива сохраняется: он превращается в однородную систему с близкими по величине внутренними напряжениями (рис. 1).



а – до обработки ФХО, б – после обработки ФХО

Рисунок 1 – Степень однородности структуры углепородного массива

При ликвидации градиента плотности на границах блоков и придании большей упругости пространству энергия не накапливается и, в конечном итоге, происходит затухание разрушительного процесса. Вышесказанное подтверждается исследованиями ряда авторов [6, 7], выполнивших теоретическое и экспериментальное обоснование особенностей распространения упругих волн по двумерной регулярной блочной системе при действии локального импульса.

Профилактическое выравнивающее воздействие на горный массив происходит согласно рассматриваемой модели как на макроуровне (препятствие возник-

новению смещений и поворотов блоков в массиве под влиянием напряжений дальнедействующего характера), так и на микроуровне (препятствие сдвигу и кручению структурных породных кристаллов друг относительно друга) [8].

В зависимости от механизма действия и с учетом возможного пластифицирующего воздействия на микроуровне и упрочняющего – на макроуровне способы ФХО можно разделить на три группы.

Первая группа – способы, приводящие к образованию новой механической системы, возникшей при физико-химическом воздействии. Существенной чертой их является то, что свойства такой системы адекватно описываются законами механики композитных материалов. В данном случае практически отсутствует химическое взаимодействие между компонентами, приводящее к изменению вещественного состава; незначительную роль играют поверхностные физико-химические эффекты. К указанным способам относится, например, упрочнение углей и вмещающих пород полимерными смолами, в частности полиуретановыми. Образующаяся при этом структура является композитом: матрицей служит затвердевший в трещинах и пустотах клей, наполнителем – горная порода. В то же время тампонаж пород песчано-цементным раствором не способствует образованию чисто механической системы, на ее поведение существенно влияет степень размокания пород.

Вторая группа – способы, позволяющие получить химико-механические системы при нагнетании веществ, которые вступают в химические реакции с компонентами горных пород. Изменения вещественного состава – главная причина изменения механических свойств среды. К таким способам относятся разупрочнение пород при обработке их растворами соляной и плавиковой кислот, мочевины, гидразина, а также, изменение свойств углей в результате растворения их минеральных включений под действием комплексонов.

Третья группа способов приводит к образованию систем физико-химической механики, когда свойства среды определяются в основном действием поверхностных физико-химических и коллоидно-химических эффектов (пластификация, набухание), связанного с ними эффекта адсорбционного понижения прочности и др. Примерами являются увлажнение угольных пластов и их обработка в целях предотвращения горных ударов, выбросов угля и газа.

Если способы, основанные на образовании механических систем, применяются широко, то способы, связанные с химическим воздействием на массив (образование химико-механических систем), используются реже.

Возможности управления состоянием массива возрастают в связи с направленным созданием систем физико-химической механики, которое сопровождается такими эффектами, как пластификация и набухание. Последнее является необходимой стадией при пластификации полимеров и глинистых минералов.

Ископаемые угли способны набухать в жидкостях и газах. Под воздействием различных сред угли и вмещающие породы пластифицируются, эти свойства используются для решения ряда задач горного дела.

Пластификация угольного пласта уменьшает его способность к бурному разрушению и снижает степень выбросо- и удароопасности. Усадка угля сни-

жает величину напряжений, препятствуя интенсивному разрушению. Увлажнение пластов – один из наиболее известных способов их пластификации, которая характеризуется механизмом межструктурного действия. При нагнетании воды из-за набухания угля напряжения в массиве вначале возрастают, затем происходит их релаксация. Применение поверхностно-активных веществ позволяет увеличить степень пропитки и облегчить межструктурную пластификацию. Еще одним методом предотвращения выбросоопасности пластов является их ФХО средами, изменяющими фазовое состояние, например твердеющими растворами крепителей на основе мочевино-формальдегидных смол. Затвердевая, продукт поликонденсации, адгезионно связанный с углем, выступает как блокиратор метана, уменьшая газообильность выработок и препятствуя переходу потенциальной энергии сжатого газа в кинетическую энергию выброса. При нагнетании концентрированных растворов в малопрочные пласты угли упрочняются, при нагнетании разбавленных твердеющих растворов в прочные пласты преобладают эффекты пластификации и предел прочности несколько снижается. Таким образом, обработка углей крепителем является одновременно пластифицирующей и упрочняющей. При пропитке выбросоопасных пластов гелеобразующими растворами жидкого стекла вязкий гель способен блокировать метан в угле. К тому же степень межструктурной пластификации возрастает с увеличением вязкости пластификатора. При обработке гелем несколько уменьшается прочность угля, но в результате пластифицирующего действия значительно снижается модуль слада, увеличиваются критическое значение коэффициента интенсивности напряжений K [9] и устойчивость призабойной части пласта.

$$K = \eta_0 \cdot \sigma_0 \sqrt{h},$$

где $\eta_0 = \sqrt{S} + 0,1\pi S \sqrt{S} \frac{\beta \cdot \tau}{\sigma_0}$; σ_0 – предел прочности на одноосное сжатие;

h – половина мощности пласта;

$$S = \frac{E_1}{(1 - \nu_1^2) M_2};$$

$$\beta = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi};$$

φ – угол внутреннего трения; τ – среднее касательное напряжение на контакте уголь-порода; ν – коэффициент Пуассона; E – Модуль Юнга; M – коэффициент прочности. Индекс 1 относится к вмещающим породам, 2 – к углю.

Подставив типичные для углей и пород значения $\tau/\sigma_0 = 0,5$; $\beta = 2,5$; $\nu_1 = 0,3$; $E_1 = 5000$ МПа; $h = 1$ м и рассчитав коэффициент K , легко убедиться, что в результате ФХО его значение возрастает в три раза с 20 до 60 МПа $\sqrt{\text{м}}$.

Несмотря на некоторое повышение прочности угля при обработке полимером, степень его пластификации ниже, чем при пропитке гелем, что подтвер-

ждается меньшей степенью снижения модуля спада и меньшим отношением модуля спада к модулю упругости. Устойчивость призабойной части пласта при обработке гелем несколько выше, чем при использовании полимера. Однако гелеобразующие растворы жидкого стекла имеют недостатки, основной из них – способность геля к синерезису, усадке, что ухудшает его свойство блокировать метан. При небольшом времени между обработкой и выемкой угля этот недостаток не проявляется, что не исключено при заблаговременной региональной обработке выбросоопасных пластов.

Для региональной ФХО требуются большие объемы рабочих жидкостей, поэтому желательно использовать отходы. Хорошим пластифицирующим действием на выбросоопасные угли обладают водные растворы лигносульфонатов (ЛСФ) – солей лигносульфоновых кислот, которые являются отходами производства сульфитной целлюлозы. Они широко применяются как диспергаторы, крепители, клеи и др. Механизм действия водных растворов ЛСФ состоит в следующем. Из раствора, находящегося в трещинах и макропорах угля, в переходные поры и микропоры впитывается вода, а макромолекулы ЛСФ и их агрегаты не могут из-за большого размера проникнуть в мелкие поры, поэтому раствор в трещинах и макропорах концентрируется, его вязкость и липкость значительно увеличиваются. Молекулы воды вызывают межструктурную, а ЛСФ – макроструктурную пластификацию угля.

Потеря прочности вмещающими породами при их контакте с жидкостями в большинстве случаев отрицательно влияет на эффективность разработки угольных месторождений. Размокание вмещающих пород наблюдается при гидродобыче угля, когда он транспортируется жидкостями или когда применяются физико-химические методы разрушения с использованием растворов, либо оба названных процесса. Особенно подвержены размоканию вмещающие породы малометаморфизованных пластов.

Можно сохранить прочность вмещающих пород, если предотвратить их набухание и пластификацию обработкой ингибиторами гидратации, например, феррохром-лигносульфонатами, действующими по молекулярному механизму. Установлено, что аргиллиты, размокающие в воде и полностью переходящие в пластичное состояние (деформация набухания 3-5%), в водных растворах таких ингибиторов гидратации набухают на два порядка меньше и практически сохраняют прочность.

Выводы

Обобщая сказанное, отметим, что для увеличения однородности трещиновато-блочной структуры выбросоопасного горного массива и предотвращения в нем смещающих и поворотных деформаций требуется заблаговременное воздействие, гасящее указанные процессы [10]. Таковым может служить ФХО угольного пласта, позволяющая смягчить на микроуровне склонность среды к газодинамическим явлениям за счет вовлечения пластифицированных участков в процесс хрупкого разрушения, а на макроуровне – вследствие заполнения межблочного пространства упрочняющим химическим составом, приводящим к повышению однородности породного массива. При этом в зависимости от

горно-геологических условий залегания пласта, степени его нарушенности и поставленных задач при обработке следует использовать определенный спектр явлений физико-химической механики из присущих ФХО.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Некоторые особенности протекания и предотвращения газодинамических явлений / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, С.Ю. Андреев, Г.А. Рыжов // Уголь Украины. – 2015. – № 7-8. – С. 17-21.
2. 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 конференції 18 травня 2011 р. – Дніпропетровськ: НГУ, 2011. – С. 11-16.
3. Особенности процесса трещинообразования в массиве при управлении его газодинамикой / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, С.Ю. Андреев [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 94. – С. 24-30.
4. Изучение влияния флюида на деформационные свойства угля и горных пород при различных условиях нагружения / С.Ю. Макеев, Ю.Н. Пилипенко, Г.А. Рыжов [и др.] // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: Наук.-виробн. збірн. / Кременчуцький Держ. політехн. ун-т ім. М. Остроградського. – Кременчук, 2012. – № 2/2012(10). – С. 73-82.
5. Забигајло, В.Е. Физико-химические методы управления состоянием угольно-породного массива / В.Е. Забигајло, Ю.Ф. Васючков, В.В. Репка. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
6. Влияние иерархической структуры блочных горных пород на особенности распространения сейсмических волн / Е.Н. Шер, Н.И. Александрова, М.В. Айзенберг-Степаненко, А.Г. Черников // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 6. – С. 20-27.
7. Александрова, Н.И. Моделирование распространения упругих волн в блочной среде при импульсном нагружении / Н.И. Александрова, М.В. Айзенберг-Степаненко, Е.Н. Шер // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 5. – С. 21-32.
8. Использование волнового и ротационного подходов для интерпретации динамических явлений в шахтах / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, С.Ю. Андреев, Г.А. Рыжов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 107. – С. 12-18.
9. Petukhov, I.M. The theory of postfailure deformation and the problem of stability in rock mechanics / I.M. Petukhov, A.M. Linkov // Int. J. Rock Mech. Mining Sci. Geomech. Abstr. – 1979. – № 2. – P. 57-76.
10. Пат. України № 97444, МПК⁸ E21F 5/00. Спосіб управління станом вуглепородного масиву / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, 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.

REFERENCES

1. Bulat, A.F., Makeev, S.Yu., Andreev, S.Yu. and Ryzhov, G.A. (2015), “Some features of flowing and prevention of the gas-dynamic phenomena“, *Coal of Ukraine*, no 7-8, pp. 17-21.
2. 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”, *Pidzemni katastrofy: modeli, prognoz, zapobigannya* [Underground catastrophes: models, prognosis, prevention], *Materialy II Mizhnarodnoyi konferentsii 18 travnya 2011 r.* [Materials of the II International conference on May, 18, 2011], Dnepropetrovsk, UA, pp. 11-16.
3. Bulat, A.F., Makeev, S.Yu., Andreev, S.Yu. Ryzhov, G.A. and Filimonov, P.E. (2011), “Features of cracks formation process in array at a control its gas dynamics”, *Geo-Technical Mechanics*, no 94, pp. 24-30.
4. Makeev, S.Yu., Pilipenko, Yu.N., Ryzhov, G.A. Andreev, S.Yu., and Bobro, N.T. (2012), “Study of fluid influence on deformation properties of coal and rock at the different terms of pressure“, *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*, no 2/2012(10), pp. 73-82.
5. Zabigajlo, V.E., Vasjuchkov, Ju.F. and Repka, V.V. (1989), *Fiziko-khimicheskiye metody upravleniya sostoyaniyem ugolno-p[orodnogo massiva* [Physical and chemical methods of management by the state of coal-rock massif], Naukova dumka, Kiev, SU.
6. Sher, E.N., Alexandrova, N.I., Azenberg-Stepanenko, M.V. and Chernikov A.G. (2007), “Influence of hierarchical structure of sectional rocks on the features of seismic waves distribution“, *Physical and technical problems of working of the useful fossils*, no 6, pp. 20-27.

7. Alexandrova, N.I., Azenberg-Stepanenko, M.V. and Sher E.N. (2009), "Simulation of resilient waves distribution in a sectional environment at an impulsive loading", *Physical and technical problems of working of the useful fossils*, no 5, pp. 21-32.

8. Bulat, A.F., Makeev, S.YU., Andreev, S.YU., Ryzhov, G.O. and (2012), "The use wave and rotary approaches for interpretation of the dynamic phenomena in mines", *Geo-Technical Mechanics*, no 107, pp. 12-18.

9. Petukhov, I.M. and Linkov A.M. (1979), "The theory of postfailure deformation and the problem of stability in rock mechanics", *Int. J. Rock Mech. Mining Sci. Geomech. Abstr.*, no 2, pp. 57-76.

10. 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.

Об авторах

Макеєв Сергій Юрєвич, кандидат технічних наук, старший научний співробітник, старший научний співробітник в відділі Проблем розробки месторождений на больших глубинах, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпропетровськ, Україна, smakeev@ukr.net

Андрєєв Сергій Юрєвич, кандидат технічних наук, старший научний співробітник, ведучий інженер в відділі Проблем розробки месторождений на больших глубинах, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпропетровськ, Україна, smakeev@ukr.net

Рыжов Геннадий Александрович, інженер, молодший научний співробітник в відділі Проблем розробки месторождений на больших глубинах, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпропетровськ, Україна, rga53@mail.ru

About the authors

Makeev Sergey Jurievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in the 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 the 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

Ryzhov Gennadiy Alexandrovich, Master of Science (M.S), Junior Researcher in the 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

Аноація. Метою статті є встановлення принципів управління напружено-деформованим і газодинамічним станом гірського масиву з позицій фізико-хімічної механіки для підвищення безпеки і ефективності технологій ведення гірських робіт. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом вибору складів і концентрації пластифікуючих або тверднучих розчинів, що нагнітаються, які, поширюючись під великим тиском по тріщинам, відновлюють порушений рівноважний напружений стан. Встановлено, що для збільшення однорідності тріщинувато-блокової структури викидонебезпечного гірського масиву і відвертання в нім зміщуючих і поворотних деформацій потрібна завчасна дія, що гасить вказані процеси. У цьому плані ФХО пласта дозволяє пом'якшити на мікрорівні схильність середовища до газодинамічних явищ за рахунок залучення пластифікованих ділянок до процесу крихкого руйнування, а на макрорівні - внаслідок заповнення міжблочного простору зміцнюючим хімічним складом, що призводить до підвищення однорідності порідного масиву. Наукова новизна результатів полягає в обґрунтуванні двох моделей дії на гірський масив, яка може відбуватися як за рахунок перешкоди виникненню зміщень і поворотів блоків в масиві під впливом напруги далекодіючого та далекочасового характеру, так і за рахунок згладжування зрушенням і кру-

ченню структурних порідних кристалів один відносно одного. Приведені результати можуть бути використані для відвертання газодинамічних явищ при видобутку вугілля.

Ключові слова: газодинамічне явище, фізико-хімічна обробка, набрякання, пластифікація, зміцнення.

Abstract. The aim of this work was to establish principles for controlling the stress-deformed and gas-dynamic state of the rock mass in terms of physical-and-chemical mechanics in order to improve safety and efficiency of the mining technologies. It is possible to solve this problem by selecting proper composition and concentration for the injected plasticizing or hardening solutions which penetrate into the cracks under the great pressure and restore the disturbed equilibrium stress state. It is stated that, in order to improve uniformity of the crack- block structure of the outburst-prone rocks and prevent them from turning and displacement deformations, it is necessary to affect the rocks beforehand with the aim to suppress these processes. In this sense, at the micro level, the PCT of the rock allows to reduce the environment proneness to the gas-dynamic phenomena thanks to the involvement of plasticized sectors into the process of brittle fracture and, at the macro level, thanks to the filling of the interconnect space by hardening chemical composition, resulting in better uniformity of the rock mass. Scientific novelty of the findings is validating of the two models of impacting on the rock mass, which can be realized both through preventing of the block displacement and turning in the mass under the influence of long-range and long-term stresses, and through smoothing shear and torsion of structural rock crystals relatively to each other. These findings can be used for preventing gas dynamic effects during the coal mining.

Keywords: gas-dynamic phenomenon, physicochemical treatment, swelling, plasticizing, hardening.

Стаття поступила в редакцію 21.02. 2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.П. Минеевым