

УДК 622.533.17

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕРМОДИНАМИКИ РАСПАДА УГЛЕМЕТАНОВЫХ ГЕОМАТЕРИАЛОВ

Полевщиков Геннадий Яковлевич,

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, E-mail: Gas_coal@icc.kemsc.ru

Непеина Елена Сергеевна,

аспирант, ведущий инженер, E-mail: Gas_coal@icc.kemsc.ru

Цуран Елена Михайловна,

ведущий инженер, E-mail: Gas_coal@icc.kemsc.ru

Институт угля СО РАН. Кемерово, 650065, проспект Ленинградский, 10.

Аннотация.

Актуальность работы: Изучение газоносности угольных пластов имеет вековую историю, но и в настоящее время сохраняется ряд принципиальных вопросов о причинах существования метана в пластах, несмотря на их далеко не нулевую проницаемость в направлении к дневной поверхности и давление газа. Возможность углубление этих знаний к настоящему времени обеспечена развитием фундаментальных знаний свойств и состояний многокомпонентных геоматериалов и достижений электроники. Совокупность результатов этого развития позволяет активно совершенствовать методы и средства изучения непосредственно углеметановых геоматериалов и их эмпирического подобия в виде искусственно насыщенных метаном проб углей.

Цель работы: Разработка метода измерений термодинамических свойств газоносных и газонасыщенных углей.

Методы исследования: Анализ и обобщение научно-технической информации, обоснование и выбор направлений исследований, разработка метода и оборудования, проведение лабораторных и натурных экспериментов.

Результаты: Выполнена оценка процессов газоистощения углей, указывающая на переход состояния метана в угле после снятия напряжений от однофазной системы к двухфазной с сорбционным взаимодействием угля и метана на поверхностях раздела фаз. Показано, что с помощью современных технических и методических средств этот вывод может быть количественно установлен даже в такой сложной части измерений, как термодинамика процесса взаимодействия угля и газа.

Ключевые слова: Угольный пласт, шахта, газоносность, динамические газопроявления, сорбционная метаноемкость, твердый раствор, напряжения, распад, температура, давление газа.

Содержащийся в угольных пластах метан способен создавать давление до 4–6 МПа на глубинах 500–700 м. Максимальное замеренное давление (Донбасс, 1200 м) 12 МПа при газоносности пласта 40 м³/т. Несмотря на высокое давление, метан практически не выделяется из неразруженных от горного давления угольных пластов при их далеко не «нулевой» газопроницаемости. В то же время, в области влияния горных работ газовая компонента пласта резко ограничивает их темпы и обуславливает динамические разрушения пласта в форме внезапного выброса с массой выброшенного угля в выработку до 12 тысяч тонн угля за 3,5 мин. Фактическая производительность современных очистных забоев на газоносных пластах в разы ниже технически возможной, т.к. газовый фактор затрудняет принятие адекватных технологических решений при развитии горных работ.

До настоящего времени в подавляющем большинстве исследований свойств и состояний газоносных пластов превалируют положения теории сорбции [1, 2], разработанные в начале второй половины XX века под руководством академика

А. А. Скочинского. Однако, практически все исследователи признают, что уже на глубинах в 500 м газоносность пластов в 1,5–2 раза превышает пределы сорбционной способности углей, а начальная скорость выделения метана из разрушенного пласта на порядки меньше таковой из угля, насыщенного метаном в лабораторной колбе [3]. К тому же, в 1961 г. В. В. Ходотом [4] показано, что температура выделяющегося при внезапном выбросе газа должна, согласно термодинамике десорбции, понижаться относительно пластовой на 16 °C, но за многовековую историю проблемы выбросоопасности шахт этого эффекта не обнаружено.

Причины неадекватности сорбционных представлений раскрыты в работах российских ученых, развивающих фундаментальные знания о состояниях метана в угольных пластах и условиях смены метастабильных состояний геоматериала [5–8]. На наш взгляд наиболее перспективной является модель содержания метана в угольном пласте по типу твердого раствора [5, 6]. Из отмеченных работ следует, что углеметановый пласт представ-

ляет собой твердый угл gazовый раствор (ТУГР – однофазная система), распад которого, обусловленный снижением напряжений, протекает с выделением энергии и формирует двухфазную систему с сорбционным взаимодействием на поверхностях раздела фаз. Продолжительность распада составляет около трех часов, что много больше времени выделения основной части метана после искусственного насыщения пробы угля в лабораторных условиях (десорбция) [9–12]. Основной причиной этому являются, на наш взгляд, термодинамические отличия одно и двухфазных систем. Изучение этих отличий, учитывая ограниченность времени существования твердого раствора после снятия в нем напряжений, требует разработки соответствующих методов и устройств.

Предварительно поясним, что согласно модели ТУГР структура газоносности пласта вне зоны влияния горных работ соответствует круговой диаграмме, представленной на рис. 1, а изменение его метастабильных состояний при снижении напряжений графику на рис. 2.



Рис. 1. Структура газоносности угольного пласта

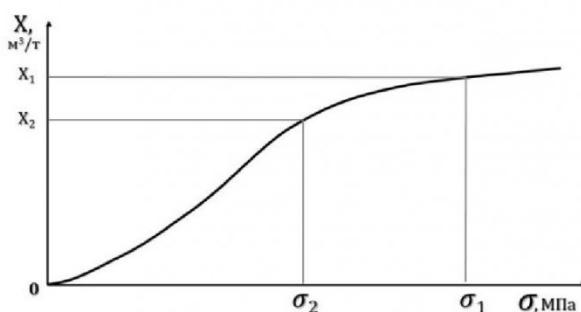


Рис. 2. Связь содержания метана X в пласте по типу ТУГР с действующими механическими напряжениями σ

По этой модели основная часть метана находится в составе ТУГР, что объясняет сохранение газа в пласте вне зоны влияния горных работ длительные периоды времени, когда он может выделяться в поры только в режиме диффузии. Ее скорость столь мала, что в фильтрующих трещинах не формируется значимый градиент давления в

направлении к обнаженной поверхности пласта, а величина давления у поверхности трещин сохраняется близкой давлению воды в их объеме (угольные пласти не являются гидроизоляторами).

Ситуация резко меняется при снижении в пласте напряжений. ТУГР начинает распадаться, скорость диффузии газа из частиц и блоков в макропоры и микротрещины возрастает, обусловливая рост давления в них свободного газа до величины снижения напряжений. Геоматериал стремится перейти в новое метастабильное состояние. При этом повышение давления свободного газа несколько компенсируется за счет активизации процесса его адсорбции поверхностью пор и трещин, но затем может, при достаточно малой прочности угля, приводить к развитию микродислокаций в нем, связывая внутренний объем частиц и блоков с фильтрующими каналами. В них возникает градиент давления газа в направлении к обнаженной поверхности пласта, повышается скорость течения, а при высокой степени разгрузки зоны пласта от действовавших напряжений создаются условия для развития дислокаций до уровня диспергирования угля с переходом в форму внезапного выброса.

Этому описанию соответствуют условия

$$\Delta P \leq \sigma_1 - \sigma_2, \quad \text{МПа} \quad (1)$$

$$X_1 - X_2 = (X_{\text{cb}} + X_a + X_{\phi}) \varphi(\Delta P, K_{\phi}, K_d), \quad \text{м}^3/\text{т} \quad (2)$$

где ΔP – повышение давления газа на границе зоны фильтрации, МПа; $(\sigma_1 - \sigma_2)$ – снижение механических напряжений, МПа; $(X_1 - X_2)$ – снижение газосодержания ТУГР, $\text{м}^3/\text{т}$; X_{cb} – свободный газ в макропорах и микротрещинах, $\text{м}^3/\text{т}$; X_a – адсорбированный метан, $\text{м}^3/\text{т}$; X_{ϕ} – фильтрующийся газ, $\text{м}^3/\text{т}$; K_{ϕ} – коэффициент газопроницаемости пласта; K_d – коэффициент диффузии блоков угля.

Таким образом, применение модели ТУГР объясняет длительность существования метана в угольных пластах при их не нулевой газопроницаемости, низкую продуктивность работ по заблаговременному извлечению газа и соответствует известным особенностям газопоявлений в угольных шахтах. Однако это применение накладывает очень существенные условия при проведении исследований:

- оперативность измерения параметров процессов на пробах природного геоматериала, т.к. он теряет основную часть своих качеств уже через 3 часа после отбора;

- изучение сорбционных свойств угля *на этих же пробах* после их полного газоистощения, но без предварительного термовакуумирования и контакта с воздухом.

Эти условия потребовали разработки специальных колб и методик экспериментальных работ.

Выполнение требований к экспериментально-му оборудованию обеспечено разработанной ИФП

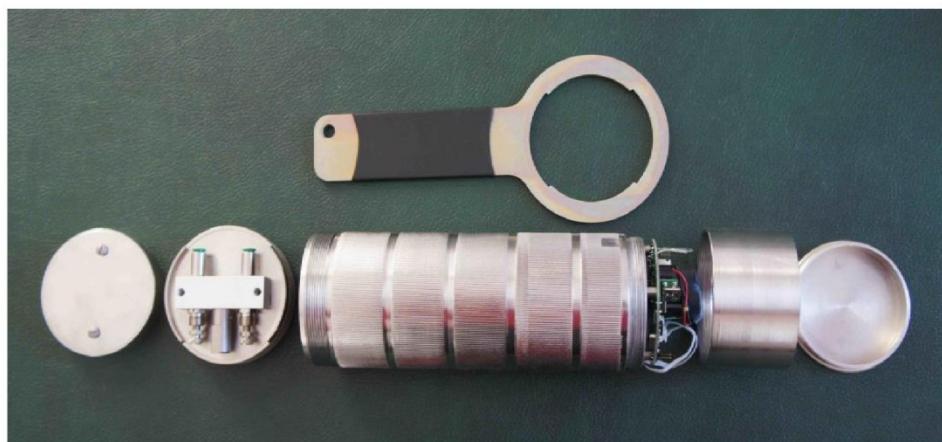


Рис. 3. Термобарометрическая колба для измерения газокинетических характеристик газоносного или искусственно насыщенного газом угля (изготовитель ИФП СО РАН)

СО РАН [13], с участием авторов, конструкцией термобарометрической колбы (рис. 3), предназначеннной для измерения остаточной газоносности угля и динамики давления и температуры выделяющегося из него газа в изолированном объеме. Благодаря данной конструкции, в работе [14] представлена математическая модель позволяющая определить коэффициент диффузии и содержания газа в пласте.

В колбе размещены электронные датчики давления и температуры и автономная микропроцессорная система для регистрации их показаний во времени. Внутренняя поверхность колбы футерована термоизолятором. Конструкция позволяет контролировать изменения давления и температуры после герметизации колбы и при последующих ступенчатых выпусках газа с периодичностью снятия показаний через 5–600 секунд без замены электропитания в течение 2 суток. Электронная система измерений разработана с учетом взрыво-искробезопасности, имеет оперативную память достаточной емкости с возможностью перезаписи файлов на компьютер. Включение системы на начало регистрации магнитное. Дешифровка показаний датчиков для анализа термодинамических характеристик процесса выполнялась по специализированной программе.

Газоносный уголь.

Отбор проб газоносного угля выполнялся путем бурения шпурков из горных выработок на глубину до 4 м. Пробы загружались в колбы, после чего они герметизировались и активировались их электронные системы контроля температуры и давления. Время доставки колб на поверхность составляло 2–6 часов, в лабораторию до двух суток. На поверхности результаты измерения переписывались в компьютер и вновь проводилась активация электронных систем колб. В лаборатории колбы устанавливались в термостат ($20 \pm 1 {}^{\circ}\text{C}$), где выдерживались около двух суток для достижения постоянного давления и температуры. Затем колбы подсоединяли к газосборным сосудам и замеряли объемы выпускаемого газа. Газ выпуск-

кали поэтапно через 24–48 часов по 0,5–1,0 л/выпуск со средней скоростью примерно 4 мл/сек до полного газоистощения пробы.

Поскольку после помещения проб в колбы они герметизируются, то газодинамика в эксперименте определяется снижением газоносности угля в результате полного снятия механических напряжений и соответствующим свободному объему колбы нарастанием в ней давления газа. Размер частиц угля до 5 мм, средневзвешенный диаметр около 1 мм, и продолжительность отбора и герметизации пробы 1–1,5 минут исключает сохранение остаточных механических напряжений в угле.

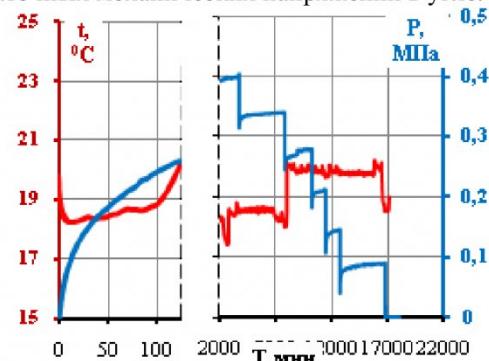


Рис. 4. Изменения во времени T давления P и температуры t газа в колбе с газоносным углем

На рис. 2 представлены графики изменения давления и температуры газа в колбе с газоносным углем. Их анализ показал, что при стабильном нарастании давления температура в колбе в течение первых 10 минут снижается, что можно объяснить охлаждением поверхности частиц угля нагретой при его выбуривании. Затем, в течение примерно 3–4 часов, она стабильно повышается с 18 до 20 ${}^{\circ}\text{C}$, в некоторых случаях до 22 ${}^{\circ}\text{C}$. В период ступенчатых выпусков газа снижение температуры не зафиксировано. Более того, каждый выпуск сопровождается кратковременным небольшим повышением температуры.

Естественно, наиболее интересным периодом является время нарастания давления после герме-

тизации колбы. Здесь наблюдаются следствия перехода от действовавших на интервале выбуривания пробы напряжений в пласте (десятки мегапаскалей) до установившегося перед первым выпуском (доли мегапаскаля), т.е. в сотни раз. Для анализа начальной стадии термодинамики процесса в качестве базовой температуры геоматериала была принята температура пласта ($18,5^{\circ}\text{C}$). Результат анализе представлен на рис. 5. В начале, были установлен тренд изменения температуры в период 30–200 мин (ТУГР), т.к. распад ТУГР шел непрерывно с момента выбуривания пробы, затем отклонения от этого тренда в период 0–30 мин (мех.), которые отнесены к следствиям механического нагрева пробы при выбуривании. На их основе рассчитан общий тренд процесса (общ.). В итоге видим, что термодинамика процесса газоистощения газоносного угля не соответствует представлениям о десорбции метана, согласно которым температура понижается. Температура не понижается, а повышается, т.е. газоносный уголь является диссипативной системой – свойство твердых углеказовых растворов. Причем, результат показывает, что период его распада составляет около трех часов, что опять же соответствует модели ТУГР.

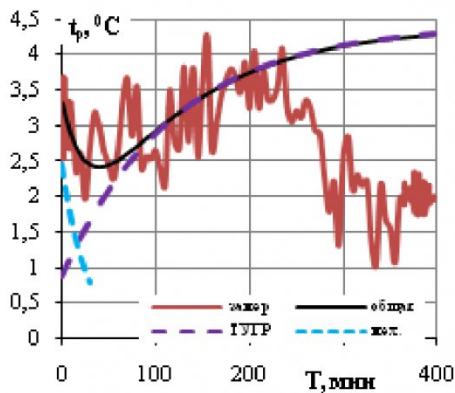


Рис. 5. Изменения температуры газа t в колбе, относительно температуры пласта, при газоистощении пробы газоносного угля во времени T

Газонасыщенный уголь (сорбционный тест).

Эта же проба угля после ее полного газоистощения без контакта с воздухом насыщалась метаном до давления сорбционного равновесия и выполнялись ступенчатые выпуски газа (рис. 6). Видим картину практически идентичную графику на рис. 4, но при несколько меньшей, примерно в 1,5–2 раза, амплитуде и продолжительности изменений температуры.

Качественное соответствие графиков сорбционных тестов режиму газоистощения газоносного угля указывает, что и при анализе десорбции следует более подробно рассматривать термодинамику процессов.

Благодаря ступенчатым выпускам газа получена возможность определить газосодержание

угля в одно и двухфазных углеметановых системах при различных давлениях (рис. 7). Видим, что при равных давлениях метана в колбе с пробой газоносного угля и угля искусственно насыщенным метаном удельное газосодержание отличается также примерно в полтора раза.

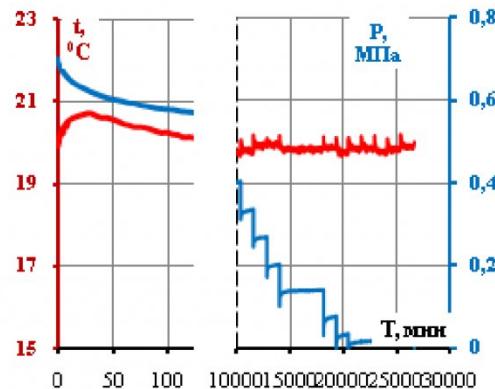


Рис. 6. Изменения во времени T давления P и температуры t газа в колбе с газонасыщенным углем (сорбционный тест)

Таким образом, полученные результаты показывают:

- перспективность разработанной методики и оборудования для изучения свойств и метастабильных состояний углеметанового геоматериала, как однофазной системы по типу твердого раствора, необратимо распадающейся при снижении напряжений на двухфазную систему с сорбционным взаимодействием газовой и твердой компонент;

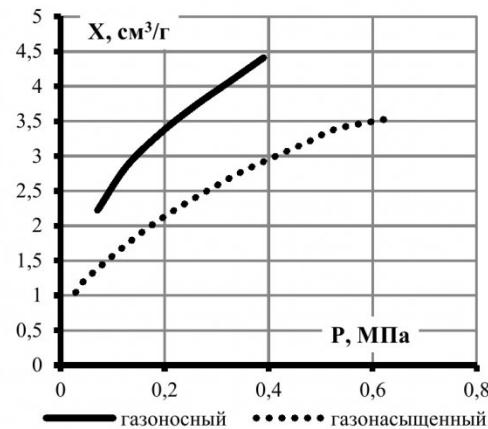


Рис. 7. Газосодержание X газоносного и газонасыщенного угля при различных давлениях метана P

- обязательность комплексного подхода к исследованиям свойств многокомпонентных геоматериалов и их лабораторных подобий;

- необходимость поиска технических решений по отбору проб газоносных геоматериалов с сохранением в них природных напряжений, либо более существенному сокращению времени между разрушением материала и герметизацией пробы при минимальном свободном объеме в пробоотборнике, например, по способу [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эттингер, И. Л. Газоемкость ископаемых углей. – М., 1966.
2. Эттингер, И. Л. Распределение метана в порах ископаемых углей / И. Л. Эттингер, Н. В. Шульман. – М.: Наука, 1975.
3. Эттингер, И. Л. Сравнение расчетного и экспериментального методов определения метаноносности угольных пластов глубокого залегания / И. Л. Эттингер, Б. М. Косенко, Н. В. Шульман и др. // Охрана и оздоровление воздушной среды в шахтах. – М., 1978.
4. Ходот, В. В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 363 с.
5. Эттингер, И. Л. Метанонасыщенный угольный пласт как твердый метаноугольный раствор // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1990. – № 2. – С. 66–72.
6. Малышев, Ю. Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов / Ю. Н. Малышев, К. Н. Трубецкой, А. Т. Айруни // М.: ИАГН, 2000. – 519 с.
7. Шепелева, С. А. Метан и выбросоопасность угольных пластов / С. А. Шепелева, В. В. Дырдин, Т. Л. Ким, В. Г. Смирнов, Т. Н. Гвоздкова. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 2015. – 180 с.
8. Опарин, В. Н. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса / В. Н. Опарин, Т. А. Киряева, В. Ю. Гаврилов, Р. А. Шутилов, А. П. Kovчавцев, А. С. Танайно, В. П. Ефимов, И. Е. Астраханцев, И. В. Гренев // ФТПРПИ. – № 2. – 2014. – С. 3–29.
9. Номограммы для расчета газовыделения при разрушении угля. – Люберцы, 1967. – 171 с.
10. Эттингер, И. Л. Распределение метана в порах ископаемых углей / И. Л. Эттингер, Н. В. Шульман. – М.: Наука, 1975. – 111 с.
11. Полевщикова, Г. Я. Динамические газопроявления при проведении подготовительных и вскрывающих выработок в угольных шахтах. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003.
12. Архипов, В. А. Определение краевого угла смачивания угольной поверхности / В. А. Архипов, Д. Ю. Палеев, Ю. Ф. Патраков, А. С. Усанина // ФТПРПИ, 2011. №5. – С. 22–28.
13. Полевщикова, Г. Я. Определение газокинетических характеристик угольных пластов / Г. Я. Полевщикова, А. А. Рябцев, В. П. Титов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово, 2013. – С. 78–84.
14. Назарова, Л. А. Определение коэффициент диффузии и содержания газа в пласте на основе решения обратной задачи по данным измерения давления в герметичной емкости с угольным веществом / Л. А. Назарова, Л. А. Назаров, Г. Я. Полевщикова, Р. И. Родин // ФТРПИ. – №5. – 2012. – С. 15–23.
15. Пат. №2526962 РФ, кл. E21F7/00. Способ определения газокинетических характеристик угольного пласта. кл. E21C39/00. Устройства для определения на месте разработки твердости или других свойств полезных ископаемых, например с целью выбора соответствующих инструментов для добычи / Г. Я. Полевщикова, А. А. Рябцев, Е. С. Непеина, Е. М. Цурган, В. П. Титов, Е. А. Ванин, М. С. Мельгунов, Л. А. Назарова, Л. А. Назаров. Опубл. 27.08.2014. Бюл. № 24.

Поступило в редакцию 29.09.2015

УДК 622.533.17

DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE OF THE ASSESSMENT OF THERMODYNAMICS OF DISINTEGRATION OF UGLEMETANOVY GEOMATERIALS

Polevshchikov Gennady Y.,
professor, Dr.Sci.Tech., chief researcher E-mail: Gas_coal@icc.kemsc.ru

Nepeina Elena S.,
senior engineer E-mail: Gas_coal@icc.kemsc.ru

Tsuran Elena M.,
senior engineer E-mail: Gas_coal@icc.kemsc.ru

Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS. Kemerovo, 650065, Leningradsky Avenue, 10.

Abstract,

The urgency of the discussed issue: Studying of gas content of coal layers has century history, but also a number of fundamental issues about the reasons of existence of methane in layers, despite their not zero permeability in the direction to a day surface and gas pressure remains now. Opportunity deepening of this knowledge by the present time is provided with development of fundamental knowledge of properties and conditions of mul-

ticomponent geomaterials and achievements of electronics. Set of results of this development the uglemetanovyh of geomaterials and their empirical similarity in the form of the tests of coals which are artificially sated with methane allows to improve actively methods and means of studying directly.

The main aim of the study: To develop a method of measurements thermodynamic properties gas-bearing and the gazonasyshchen of coals.

The methods used in the study: Analysis and synthesis of scientific and technical information, justification and choice of the directions of researches, development of a method and equipment, carrying out laboratory and natural experiments.

The results: The assessment of processes of gas-exhaustion of coals indicating transition of a condition of methane in coal after removal of tension from single-phase system to two-phase with sorption interaction of coal and methane on interfaces of phases is executed. It is shown that by means of modern technical and methodical means this conclusion can be quantitatively established even in such difficult part of measurements as thermodynamics of process of interaction of coal and gas.

Key words: Coal layer, mine, gas content, dynamic gas-manifestations, sorption me-tanoyemkost, solid solution, tension, disintegration, temperature, gas pressure.

REFERENCES

1. Ettinger, I. L. Gazoyemkost of fossil coals. – M, 1966.
2. Ettinger, I. L. Distribution of methane in a time of fossil coals / I. L. Ettinger, N. V. Shulman. – M.: Science, 1975.
3. Ettinger, I. L. Comparison of settlement and experimental methods of determination of methane content of coal layers of a deep bedding / I. L. Ettinger, B. M. Kosenko, N. V. Shulmanand and others // Protection and improvement of the air environment in mines. – M, 1978.
4. Hodot, V. V. Sudden emissions of coal and gas. – M.: Gosgortekhizdat, 1961. – 363 p.
5. Ettinger, I. L. Metanonasyshchenny coal layer as solid coalbed methane solution // Physics and technology problems of development of minerals. – 1990. – No. 2. – P. 66–72.
6. Malyshev, Y. N. Fundamental and applied methods of a solution of the problem of coal layers / Y. N. Malyshev, K. N. Trubetskoy, A. T. Ayruni // M.: IAGN, 2000. – 519 p.
7. Shepeleva, S. A. Metan and vybrosoopasnost of coal layers / S. A. Shepeleva, V. V. Dyrdin, T. L. Kim, V. G. Smirnov, T. N. Gvozdkova. – Tomsk: Publishing house Tom. un-that. – 2015. – 180 p.
8. Oparin, V. N. O some features of interaction between geomekhani-chesky and physical and chemical processes in coal layers of Kuzbass / V. N. Oparin, T. A. Kiryaeva, V. Y. Gavrilov, R. A. Shutilov, A. P. Kovchavtsev, A. S. Tanaino, V. P. Yefimov, I. E. Astrakhantsev, I. V. Grenev // FTPRPI. – No. 2. – 2014. – P. 3–29.
9. Nomograms for calculation of gas emission at coal destruction. – Lyubertsy, 1967. – 171 p.
10. Ettinger, I. L. Distribution of methane in a time of fossil coals / I. L Ettinger, N. V. Shulman. – M.: Science, 1975. – 111 p.
11. Polevshchikov, G. Y. Dynamic gas-manifestations when carrying out the preparatory and opening developments in coal mines. – Kemerovo: Institute of coal and coal chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 2003.
12. Arkhipov, V. A. Definition of a regional corner of wetting of a coal surface / V. A. Arkhipov, D. Y. Paleev, Y. F. Patrakov, A. S. Usanina // FTPRPI, 2011. No. 5. – P. 22–28.
13. Polevshchikov, G. Y. Definition of gas-kinetic characteristics of coal layers / G. Y. Polevshchikov, A. A. Ryabtsev, V. P. Titov // the Bulletin of Scientific center on safety works in the coal industry. – Kemerovo, 2013. – P. 78–84.
14. Nazarova, L. A. Definition coefficient of diffusion and the content of gas in layer on the basis the solution of the return task of data of measurement of pressure in a sealed container with coal substance / L. A. Nazarova, L. A. Nazarov, G. Y. Polevshchikov, R. I. Rodin // FTRPI. – No. 5. – 2012. – P. 15–23.
15. Stalemate. No. 2526962 of the Russian Federation, C. E21F7/00. Way definition of gas-kinetic characteristics of coal layer. C. E21C39/00. Devices for definition on a place of development hardness or other properties minerals, for example the purpose a choice the corresponding tools for production / G. Y. Polevshchikov, A. A. Ryabtsev, E. S. Nepeina, E. M. Tsuran, V. P. Titov, E. A. Vanin, M. S. Melgunov, L. A. Nazarova, L. A. Nazarov. Opubl. 27.08.2014. Bulletin No. 24.

Received 29 September 2015

УДК 622. 834

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДИСКРЕТНОСТИ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Быкадоров Алексей Иванович¹,
канд. техн. наук, генеральный директор, e-mail: aibykadorov@mail.ru
Ларичкин Петр Михайлович¹,
канд. техн. наук, зав. отделом, e-mail: larichkin.petr@yandex.ru
Свирко Сергей Владимирович²,
аспирант, e-mail: svirko@ngs.ru
Ренев Алексей Агафонелович²,
доктор техн. наук, профессор, e-mail: raa@kuzstu.ru

¹Сибирский институт геотехнических исследований, 653000, Россия, Кемеровская область,
г. Прокопьевск, ул. К.Либкнехта, 4

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000,
Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация.

Актуальность работы: Разработка угольных пластов может сопровождаться разрывами сплошности подрабатываемой земной поверхности с возникновением сосредоточенных деформаций. Оценка дискретности процесса сдвижения представляет особый малоизученный раздел в теории сдвижения горных пород - до настоящего времени не существует однозначных интерпретаций природы дискретности процесса и узаконенных методов ее анализа.

Цель работы: Разработать методические подходы для анализа дискретности процесса сдвижения земной поверхности при разработке угольных пластов.

Методы исследования: Дискретность процесса сдвижения земной поверхности, подрабатываемой горными работами, выявляется инструментальными наблюдениями на профильных линиях при расстояниях между реперами не более 5 метров. Показано, что анализ сосредоточенных деформаций можно произвести с помощью теории случайных функций и вейвлет-преобразований.

Результаты: Методами теории случайных функций в характере сосредоточенных деформаций подрабатываемой земной поверхности установлено наличие случайных и неслучайных (периодических) составляющих и выполнена их количественная оценка. Использование для таких оценок другого метода – метода вейвлет-преобразований носит постановочный характер. Анализы выполнены на натурных наблюдениях, проводимых на шахтах Прокопьевско-Киселевского угольного региона Кузбасса.

Ключевые слова: Подрабатываемая земная поверхность, натурные наблюдения, дискретный процесс сдвижения, сосредоточенные деформации, методы анализа.

Систематические натурные наблюдения за процессом сдвижения массива пород и земной поверхности при ведении горных работ, проводимые ВНИМИ во второй половине XX века, свидетельствуют о наличии в мульде сосредоточенных деформаций (дискретный характер процесса сдвижений), характеризующих локальные нарушения подработанной толщи. В работах [1 - 4] показано, что фиксация проявления дискретного характера сдвижения и деформаций подрабатываемой земной поверхности зависит от длины интервала между реперами в профильной линии наблюдательной станции.

Под дискретным характером процесса сдвижения понимается сдвижение горного массива и земной поверхности с разрывом сплошности пород и наносов по отдельным поверхностям ослабления [4]. На участках разрывов сдвижения и деформации принято называть сосредоточенными

(провалы от очистных и подготовительных выработок, трещины различной формы и величины, прямые и обратные уступы, канавообразные углубления, закрытые уступы).

Трещины, самый распространенный тип сосредоточенных деформаций, возникают, как правило, в зонах растяжения горных пород при изгибе над разрезными выработками, границами оставленных целиков угля, выходами под наносы слабых и крепких пород, плоскостями сместителей тектонических нарушений и т.д. Прямые и обратные уступы возникают в результате скольжения слоев по слабым контактам и приурочены в условиях Кузбасса к зонам провалов и канавообразных углублений, а также к выходу под наносы подрабатываемых осевых поверхностей шарнирных складок и крупных дизьюнктивов. Сосредоточенные сжатия (закрытые уступы) возникают на земной поверхности вследствие поворота и скола