

К ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ОЧАГОВЫХ ЗОН КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В УГЛЕМЕТАНОВЫХ ПЛАСТАХ

Виктор Николаевич Опарин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, Новосибирск, Красный проспект, 54, д.ф-м.н., член-корр. РАН, зав. отделом экспериментальной геомеханики, тел. 2053030 доп.113, e-mail: oparin@misd.ru

Татьяна Анатольевна Киряева

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала» СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, кандидат технических наук, тел: 89231703211, e-mail: coalmetan@mail.ru

В статье показано, что проблема безопасного ведения горных работ во многом связана с представлениями о механизмах взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических массо-газообменных процессов в многофазных углепородных массивах. Впервые проведенный авторами комплекс обобщающих аналитических, экспериментальных лабораторных и натурных исследований на региональном уровне позволил установить, что в современных условиях по мере освоения глубоких горизонтов всё более возрастает роль горного давления, температурного и геоструктурного факторов, а также наличия усиливающегося влияния сейсмического фона от землетрясений и технологических взрывов. Метод численного моделирования и оригинальная экспериментальная система для определения закономерности затухания данного двухфазного потока разработаны китайскими и российскими специалистами с учетом влияния энергии расширения газа на характеристики распространения смеси пылевидного угля и газа. Аналитической основой для описания установленных детерминированных связей между существующими нелинейными геомеханическими и физико-химическими процессами в напряжённых угленосных массивах явилось установление операторного соответствия между физико-химическим уравнением И. Ленгмюра и кинематическим уравнением В.Н. Опарина для волн маятникового типа.

Ключевые слова: углеметановые пласты, нелинейные геомеханические и физико-химические процессы, волны маятникового типа, метаноемкость, пористость, сейсмический фон, выбросоопасность

TO THE PROBLEM OF DEVELOPING NEW METHODS FOR ESTIMATING THE MECHANISM OF FORMATION OF FOCAL ZONES OF CATASTROPHIC EVENTS IN CARBON BEDS

Viktor N. Oparin

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny prospect, Doctor of Physics and Mathematics, Corresponding Member RAS, head. Department of Experimental Geomechanics, 54 Krasny Pr., Novosibirsk, 630091, Russia. Tel: (383) 217-05-36; e-mail: oparin@misd.ru

Tatiana A. Kiryaeva

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny prospect, Ph. D., tel. (923)170-32-11, e-mail: coalmetan@mail.ru

The article shows that the problem of safe mining is largely related to ideas about the mechanisms of interaction of nonlinear geomechanical and physicochemical mass-gas exchange processes in multiphase coal-rock massifs. For the first time, a complex of generalizing analytical, experimental laboratory and field studies at the regional level, carried out by the authors, made it possible to establish that in modern conditions, with the development of deep horizons, the role of rock pressure, temperature and geostructural factors, as well as the presence of an increasing influence of the seismic background from earthquakes and technological explosions. A numerical simulation method and an original experimental system for determining the regularity of the decay of this two-phase flow were developed by Chinese and Russian specialists taking into account the influence of the gas expansion energy on the propagation characteristics of a mixture of pulverized coal and gas. The analytical basis for describing the established deterministic relationships between the existing nonlinear geomechanical and physicochemical processes in stressed coal-bearing massifs was the establishment of an operator correspondence between the physicochemical equation of I. Langmuir and the kinematic equation of V.N. Oparin for pendulum waves.

Key words: coal-methane seams, nonlinear geomechanical and physicochemical processes, pendulum waves, methane capacity, porosity, seismic background, outburst hazard

Введение

Фундаментальная научная значимость обозначенной в названии настоящей статьи проблемы обусловлена современными научными достижениями и открытиями в нелинейной геомеханике и геофизике, связанными с исследованиями процессов формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных геосистемах. В таких условиях особую актуальность приобретает необходимость решения комплексной проблемы по разработке основ теории взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических процессов в многофазных напряженных углепородных массивах при нарушении их равновесного термодинамического состояния от ведения горных работ. Такая теория одинаково важна и как фундаментальная, в решении задач безопасного недропользования в угледобывающих бассейнах нашей страны, так и для создания новых энергоэффективных геотехнологий отработки месторождений твердых полезных ископаемых Сибири в усложняющихся горно-геологических, природно-климатических условиях, роста глубины залегания продуктивных горизонтов.

Проблема во многом связана с представлениями о механизмах взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических массо-газообменных процессов в многофазных углепородных массивах, вмещающих отрабатываемые продуктивные пласты, и наличием аналитического аппарата для их корректного описания. По существу, это составляет методологическую основу для принятия решений как в направлении построения специализированного вида мониторинговых систем, так и выделения «критериальных показателей», а на их базе – комплексной оценки геомеханического и экологического состояний контролируемых объектов и/или геосистем в целом с позиции возможного их перехода в новые «фазовые состояния», в том числе и катастрофического вида.

Феноменологические основы для установления механизма формирования внезапных выбросов угля и газа

Значимость результатов экспериментально-аналитических исследований в построении теории взаимодействия между нелинейными геомеханическими и физико-химическими процессами при безопасной и энергоэффективной отработке угольных месторождений Кузбасса, например, с позиций их выбросо- и пожароопасности, трудно переоценить. В современных условиях по мере освоения глубоких горизонтов всё более возрастает роль горного давления, температурного и геоструктурного факторов, а также наличия усиливающегося влияния сейсмического фона от землетрясений и технологических взрывов достаточно большой зарядовой мощности и их общей энергии [1]. Современные достижения в данном направлении с открытиями принципиальной значимости отражены в [2], а также в монографиях [3, 4]. Отметим важнейшие из них, поскольку ими, по существу, заложены экспериментально-аналитические основы теории взаимодействия между нелинейными геомеханическими и физико-химическими процессами при отработке угольных месторождений Кузбасса с учетом недавно открытого «поршневого механизма» [2] протекания массо-газообменных процессов в напряженных углепородных массивах и обусловленного им существенного влияния волн маятникового типа от природно-техногенных землетрясений и мощных технологических взрывов на газодинамическую активность угольных шахт [5].

Здесь доказано важное для построения нового уровня геомониторинговых систем научное положение о наличии взаимного геомеханико-термодинамического, газо-флюидодинамического и тектонофизического влияния территориально сопряженных областей с локализованными в их пределах месторождениями органической и неорганической природы на примере комплексного анализа структурно-геологических, тектоно-магматических, геомеханико-геодинамических и иных физико-механических, а также физико-химических характеристик Кузнецкого угольного бассейна и железорудного района Горной Шории и Хакасии юга Западной Сибири [6]. Феноменологическую основу для данного научного положения составили результаты выполненных лабораторных и натуральных экспериментов, а также с применением современных облачных и BIG DATA геоинформационных технологий по соответствующим объектам недропользования Кузбасса по специально сформированным и запатентованным информационным банкам данных – каталогам, относящимся к стратиграфическому ресурсу угля и метана, метаноносности углей, внезапных выбросов, а также метаноемкости углей Кузбасса за длительный период времени.

Так, впервые проведенный авторами комплекс обобщающих аналитических, экспериментальных лабораторных и натуральных исследований на региональном уровне позволил заключить следующее:

- Существует тесная связь между метаноемкостью и стадиями метаморфизма углей. В качестве показателя стадии метаморфизма углей может быть использован выход летучих веществ. В процессе метаморфизма каменных углей

происходит их активация как сорбентов, которая выражается в усилении способности к поглощению газов, возрастающей как правило, со степенью метаморфизма – в направлении от газовых углей к антрацитам. Для бурых и длиннопламенных углей зависимость сорбционной способности по отношению к газам имеет несколько иной характер: по мере метаморфизации ископаемых углей жесткость скелета угольного вещества возрастает и, следовательно, способность углей к абсорбции уменьшается.

- Пористость природных углей достаточно слабо зависит от выхода летучих веществ (стадий метаморфизма): средние значения (при сравнительно высокой дисперсии данных) описываются слабо «выпуклой» функцией зависимости пористости от выхода летучих веществ. Поэтому ее влияние на выход летучих веществ (стадии метаморфизма) практически можно не учитывать.

- В результате увлажнения пласта в угле усиливается проявление его пластических свойств, понижаются соответственно прочность и скорость газовыделения. Молекулы воды обладают бóльшим «средством» к поверхности угля, чем молекулы метана, и присутствие воды в угле значительно снижает его сорбционную метаноемкость. Установлено, что увеличение влажности угольного пласта даже на 2 % практически вдвое снижает энергию его газовой компоненты. Меняя давление и длительность воздействия воды на угольный пласт можно получить различные эффекты: добиваться «торможения» газовыделения или дегазировать угольный пласт.

- Изменение метаморфизма природных углей зависит от глубины их залегания. Трендовый анализ экспериментальных данных выхода летучих веществ показал преимущественно возрастание стадий метаморфизма природных углей с глубиной залегания угольных пластов. Известные отклонения связаны с особенностями проявления регионального метаморфизма углей и геологического возраста угольных пластов.

- Влияния петрографических характеристик угля на его метаноемкость установлено не было.

- Показано, что современные геоинформационные технологии, рассчитанные на обработку больших объемов и потоков данных качественно меняют подходы к получению новых закономерностей и, чаще всего, меняют и уже ставшие привычными представления о взаимодействии вещественных и структурных компонент горного массива. Проведенные расчеты по различным моделям data mining подтверждают друг друга и позволяют получать новые сведения о характеристиках процессов, происходящих в угольном пласте, заранее не опираясь на физические представления о них.

Таким образом, метаноемкость углей тесно связана с их физико-химическими свойствами и физико-механической структурой угольного вещества: пористостью, влажностью и выходом летучих веществ. При этом адсорбционная способность ископаемых углей существенно меняется с изменением горно-геологических условий их залегания, зависит от их степени метаморфизма и химического состава. Способность угля поглощать и удерживать в себе газ

повышается с ростом степени метаморфизма и газового давления и понижается с увеличением температуры, влажности и зольности углей.

Отмеченные результаты весьма важны для понимания механизма формирования очаговых зон таких катастрофических событий, как внезапные выбросы угля и газа в подземных выработках и их возможных последствий. С этой целью проведен комплекс механико-математического моделирования распространения двухфазного потока из газа и пылевидного угля с учетом расширения газа на стадии развития внезапного выброса в угольной шахте, который позволил сделать заключение об адекватности предложенного метода численного моделирования [7]. Здесь установлено, что упругая энергия угля составляет несколько тысячных от суммарной энергии внезапного выброса, поэтому на стадии его развития данный показатель можно не учитывать, а энергия переноса угля полностью генерируется за счет энергии расширения газа.

Метод численного моделирования и оригинальная экспериментальная система для определения закономерности затухания данного двухфазного потока [7] разработаны китайскими и российскими специалистами с учетом влияния энергии расширения газа на характеристики распространения смеси пылевидного угля и газа. Численное моделирование выполнено с учетом экспериментальных данных, позволивших установить динамико-кинематические характеристики распространения ударной волны внезапного выброса. В частности, доказано, что пылевидный уголь и газ под высоким давлением практически мгновенно выталкиваются из полости от внезапного выброса, расширяются и сжимают воздух в выработке, создавая ударные волны выброса. Ударная волна, генерируемая потоком пылевидного угля и газа во время внезапного выброса, затухает в осевом направлении выработки, а объемная доля содержания пылевидного угля при этом играет весьма важную роль.

Отмеченные выше сведения свидетельствуют о принципиальной значимости газовой компоненты и структурного строения углей и угленосных массивов в определении и прогнозировании их геомеханической реакции на различного вида «внешние» воздействия (источники природного или техногенного характера), где учет их термодинамического и напряженно-деформированного состояния, многофазности, блочно-иерархического строения и энергетических параметров источников развития нелинейных деформационно-волновых процессов приобретает фундаментальную значимость [8]. Этот аспект, по существу, изучался авторами настоящей статьи на примере «последствия» крупных землетрясений на газодинамическую активность шахт Кузбасса с позиций теории нелинейных упругих волн маятникового типа, лежащей также в основе динамического взаимодействия между геомеханическими (деформационно-волновыми) и физико-химическими процессами в угольных пластах [2, 5].

Аналитической основой для описания установленных детерминированных связей между существующими нелинейными геомеханическими и физико-химическими процессами в напряжённых угленосных массивах под влиянием изменяющегося термодинамического их состояния, а также природно-техногенных землетрясений, взрывов и других динамических источников явилось

установление операторного соответствия между физико-химическим уравнением И.Ленгмюра и кинематическим уравнением В.Н. Опарина для волн маятникового типа в [2].

Выводы

Таким образом, для решения обозначенной выше проблемы ныне имеются достаточные предпосылки для решения связанного с ней круга задач. Они связаны, в первую очередь, с анализом достигнутых результатов научных исследований и разработок в таких основных направлениях, как: теоретические основы для описания взаимодействия нелинейных геомеханических и физико-химических, а также массо-газообменных процессов в многофазных углепородных массивах горных пород и геоматериалах; оценка роли сейсмичности и природно-климатических факторов в медленно протекающих механо-эрозионных процессах в прибортовых зонах карьерных пространств и их породных обнажениях на основе количественного анализа экспериментальных данных инструментальных измерений: «уровней значимости» влияния землетрясений и мощных технологических взрывов в наземных и подземных условиях на интенсивность газодинамической активности угольных шахт и механо-эрозионных процессов в прибортовых зонах карьеров (угольных разрезов) с учетом энергетических характеристик и удаленности от очаговых зон соответствующих динамических событий природного и/или техногенного характера; и, наконец, современные возможности облачных геоинформационных систем (Big Data) в решении сложных задач обеспечения геомеханико-геодинамической и геоэкологической безопасности ведения крупномасштабного горного производства в областях активного недропользования юга Западной Сибири с ее богатейшими запасами полезных ископаемых железорудных и угольных месторождений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00051.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Adushkin V. V., Oparin V. N. From the Alternating-Sign Explosion Response of Rocks to the Pendulum Waves in Stressed Media // J. Min. Sci., P. I: 2012, Vol. 48, No. 2, pp. 203–222; P. II: 2013, Vol. 49, No. 2, pp. 175–209; P. III: 2014, Vol. 50, No. 4, pp. 623–645; P. IV: 2016, Vol. 52, No. 1, pp. 1–35.
2. Oparin V.N. Theoretical fundamentals to describe interaction of geomechanical and physicochemical processes in coal seams // J. of Mining Sci. – 2017. – Vol. 53, No. 2. – P. 201 – 215.
3. Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах / [В.Н. Опарин, В.В. Адушкин, А.А. Барях]; под ред. Н.Н. Мельникова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. – Т. 1. – 549 с.; 2019. –Т. 2.– 546 с.
4. Киряева Т. А. Разработка методов энергетического анализа и прогнозирования газодинамической активности углеметановых пластов Кузбасса. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. – 332 с.

5. Adushkin V.V., Tyukhrin V.G., Glumov A.V. et al. Effect of Pendulum Waves from Earthquakes on Gas-Dynamic Behavior of Coal Seams in Kuzbass // Journal of Mining Science – 2018. – No. 1, pp. 3–14.

6. Опарин В. Н. Адушкин В.В., Киряева Т.А., Потапов В.П. Региональная кластеризация угольных месторождений Кузбасса по газодинамической активности // ГИАБ. — ч. I – 2018. – № 9. – С. 5–24; ч. II – 2018. – № 10. – С. 5–29.

7. Zhou A. T., Wang K., Kiryaeva T. A., Oparin V. N. Regularities of two-phase gas flow under coal and gas outbursts in mines // J. of Mining Sci. – 2017. – Vol. 53, No. 3. – P. 533 – 543.

8. Wang K.X., Aleksandrova N.I., Pan Y.S., Oparin V.N., Dou L.M. et al. // Effect of block medium parameters on energy dissipation // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics – 2019, – vol. 60 – № 5. – pp. 926-934.

© В. Н. Опарин, Т. А. Киряева, 2021