

УДК 622.411.33:533.17

Г. Я. Полевщиков, Т. А. Киряева

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ РАСПАДА УГЛЕМЕТАНОВЫХ ГЕОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При решении задач, связанных с необходимыми и достаточными условиями возникновения, развития и затухания различных видов газопроявлений, существует принципиально важный момент. Все они приурочены к зонам влияния технологического воздействия: чем оно интенсивнее, тем динамичнее реакция массива горных пород. В связи с этим, важное прикладное значение имеет установление особенностей трансформации газоносных углей в зонах влияния горных работ, изменяющих напряженно-деформированное состояние углегазоносных массивов. В период разгрузки от горного давления метан способен не только интенсивно выделяться, но и формировать процесс динамического саморазрушения угля и даже прочного песчаника в виде внезапного выброса с интенсивностью десятки тонн угля и сотни кубометров метана в секунду [1]. Интересна история развития исследований этой проблемы в трудах ведущих ученых.

По мнению (1953 г.) Христиановича С.А. [3], газ совершает работу по разгону угля, расширяясь в направлении своего движения. Этот процесс сопровождается значительным ростом энтропии системы. В свои последующих работах [4-8] он существенно развивает физическую модель явления, более полно учитывая состояния системы уголь-газ, приближая ее к суждениям Эттингера И. Л. в том, что внезапный выброс – это многостадийное явление. Первой его стадией является фазовый переход "растворенный метан – свободный метан" [9] с последующей работой расширяющегося газа.

К настоящему времени установлено, что явление внезапного выброса на стадии его зарождения представляет собой фазовый переход твердого углегазового раствора (ТУГР), сопровождающийся его распадом на твердую и газовую составляющие с образованием макродефектов сплошности и спонтанным выделением газообразных продуктов (метана) [2].

Открытие ТУГР [10] объясняет и аномально высокую газоносность углей по сравнению с их сорбционной метаноемкостью, зональность выбросоопасности метаноносных пластов и др. Новые представления о взаимодействии угольного вещества и метана позволяют разрабатывать и применять в шахтах более совершенные способы борьбы с метановой опасностью. Полученные в этом направлении под руководством Айруни А.Т. результаты [11] убедительно доказывают, что газоносный уголь является саморегулирующейся полидисперсной средой, способной к адекватным изменениям своей структуры под влиянием внеш-

них воздействий. При существовании в природных условиях твердого углеметанового раствора равновесная система состоит только из одной фазы. Практически любые возмущения геомеханического состояния этой системы – геологические или технологические, приводят ее в неравновесное состояние с нарушением сплошности твердой составляющей и выделением метана.

В природных условиях после снижения механических напряжений на газоносный угольный пласт (например, в зонах разгрузки впереди подвигающегося очистного забоя) процесс распада ТУГР в пласте не мгновенен, в результате чего гомогенный ТУГР может существовать достаточно длительное (до нескольких суток) время в метастабильном состоянии [2]. Явлением запаздывания распада ТУГР может быть объяснен факт запаздывания внезапных выбросов угля и метана [11].

Установлено [2], что при вскрытии угольного пласта, в результате изменения термодинамических условий существования гетерогенной системы "уголь – газ – вода – минеральные примеси" углеметан уже через 3 часа не только теряет основную часть метана, но и приобретает новое молекулярное строение, причем этот процесс носит необратимый характер.

В результате сопоставления сорбционных характеристик углей различной стадии метаморфизма и параметров метаносности пластов с соответствующим выходом летучих веществ установлено (в соответствии с рис. 1), что при распаде ТУГР формируется сорбционный потенциал угля, составляющий 22-40 % от предельной газоносности и подчиняющийся нелинейной зависимости [12]. Ее ветвь, относящаяся к углям с высоким выходом летучих на участке  $V_{daf} > 40\%$ , имеет резкий перегиб в сторону снижения, связанный с минимизацией сорбционной способности углей на границе с бурями углями. Знание этой особенности позволяет вычислить доли сорбированного и растворенного метана в предельной газоносности пласта (в соответствии с рис. 2).

Если на глубинах до 400 м от 40 до 80 % метана в пласте находится в адсорбированном состоянии, то на глубинах в 500-700 м эта доля снижается до 20 %. Естественно, что доля растворенного метана с ростом глубины становится доминирующей. Возможно, агрегаты ТУГР способны консервировать области со свободной и сорбированной фазами метана в глубине блоков угля, затрудняя его движение в сторону меньшего давления

В итоге имеем фактическую эффективность

многomesячной дегазации неразгруженного от горного давления пласта равную примерно половине доли адсорбированного метана. Без заблаговременного разрушения ТУГР повышение этого эффекта невозможно.

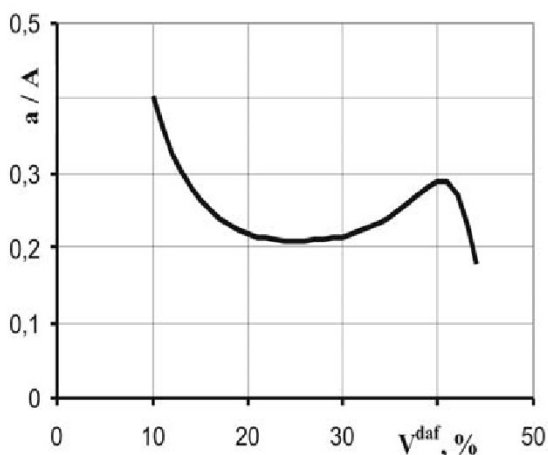


Рис. 1. Отношения констант предельной сорбционной метаноемкости и метаноносности каменных углей

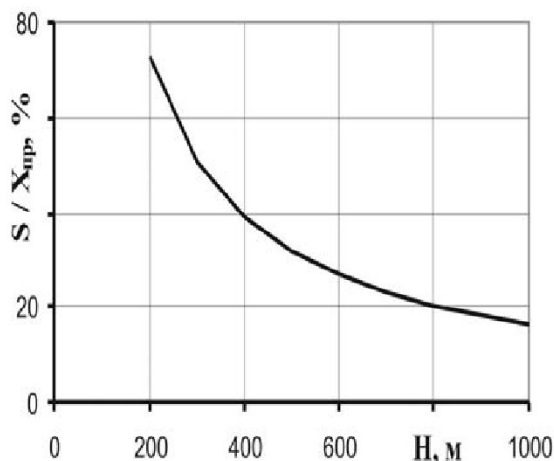


Рис. 2. Влияние глубины залегания пласта на долю сорбированного метана к предельной газоносности пластов разной стадии метаморфизма

Но если распад раствора произойдет в непосредственной близости к обнаженной поверхности пласта, то неравенство потенциалов газоносности и сорбции неизбежно приведет к скачку давления газа в тонкой структуре угля, интенсивному развитию микротрещин на базе существующих дислокаций и развитию процесса саморазрушения пласта в форме внезапного выброса.

На большом удалении от обнаженной поверхности распад ТУГР, формируя давление газа в микротонкой структуре углеметанового вещества, соизмеримое с горным давлением, приводит к развитию дислокаций в форме деструкции среды. Вектор развития дислокаций определяется градиентом энергетического потенциала углеметанового пласта. По этой причине газодинамические яв-

ления приурочены к зонам высокой изменчивости его свойств, а пересечение этих зон разно направленными горными выработками обуславливает разную степень выбросоопасности [13].

Результаты применения теории устойчивости систем для оценки особенностей метастабильных состояний позволяют при анализе природной системы "уголь-метан" (ТУГР) использовать в качестве основной характеристики показатель релаксации энергии раствора. Оценка выполнялась по предельным значениям метаноносности, когда ее величина определяется только растворенным метаном, а содержание других его фазовых состояний пренебрежимо мало. Полученные результаты (в соответствии с рис. 3) указывают на существенную связь.

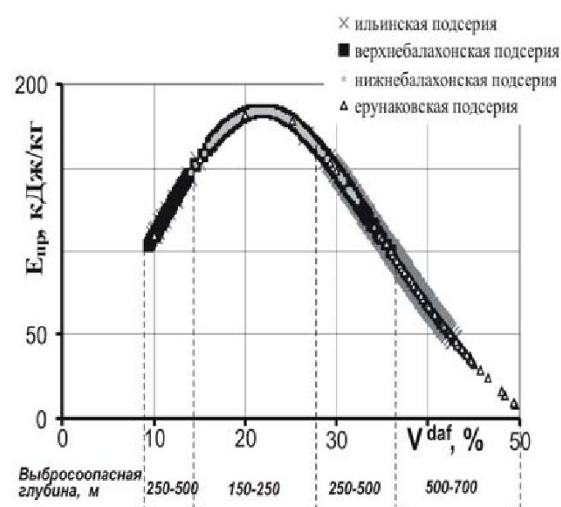


Рис. 3. Изменение предельных значений энергии релаксации метаноносности от выхода летучих веществ и выбросоопасности пластов Кузбасса

Если привлечь данные о бифуркации параметров сорбционной метаноемкости на этом интервале свойств (в соответствии с рис. 4), то очевиден вывод: максимальному энергетическому потенциалу пластов соответствует крайняя неустойчивость сорбционного потенциала углей. Даже при небольшом градиенте изменения газоносности и выхода летучих веществ в направлении к обнаженной поверхности пласта, его разгрузка от горного давления с последующим распадом ТУГР способна спровоцировать саморазрушение в режиме "домино". Полученный показатель имеет и вполне самостоятельное значение. Без привлечения сведений об особенностях сорбционной метаноемкости он четко разделяет стратиграфические структуры Кузбасса согласно их фактической газодинамической активности. В то же время, он лишь соответствует гипотетической возможности такой смены метастабильных состояний, при которой метаноносность снижается в два раза. По этой причине он всегда меньше реальной энергии распада ТУГР и может использоваться только для сопоставления свойств углеметановых пластов и их участков по газодинамической активности. Од-

нако его размерность в энергетических величинах позволяет проводить сравнения и с другими соответствующими характеристиками среды и процессов при решении различных задач геомеханики.

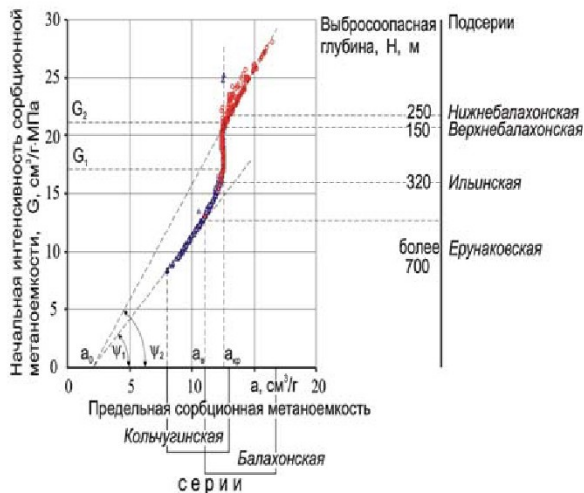


Рис. 4. Изменения показателей сорбционной метанемкости углей и выбросоопасности пластов Кузбасса

Учитывая непрерывность установленной зависимости можно заключить, что сопровождающие распад ТУГР процессы развития микротрещин и роста количества свободного и сорбированного метана характерны не только для выбросоопасных зон угольных пластов, а имеют место на всех высокогазоносных пластах. Отличия носят лишь количественную форму. Этот вывод следует из наложения точек, соответствующих менее выбросоопасной, по данным горной практики, кольчугинской серии на зону балахонской. Это говорит о том, что отдельные участки месторождений кольчугинской серии также способны создать затруднения при ведении горных работ в результате деструкции пласта при распаде ТУГР. Однако де-

струкция, например, при выходе летучих веществ более 40 %, будет сопровождаться недостаточной для внезапного выброса скоростью газовыделения, но способна создать серьезные затруднения при выемке угля.

На большем удалении от обнаженной поверхности, распад ТУГР, формируя давление газа в микроструктуре углеметанового вещества, соизмеримое с горным давлением, приводит к развитию дислокаций в форме деструкции среды. Вектор развития дислокаций определяется градиентом энергетического потенциала углеметанового пласта. По этой причине газодинамические явления приурочены к зонам высокой изменчивости его свойств, а пересечение этих зон разно направленными горными выработками обуславливает разную степень выбросоопасности [1].

Таким образом, при подземной разработке месторождений, в основе динамических газопроявлений лежат следствия распада твердого углеметанового геоматериала. Поскольку распад твердых растворов протекает с выделением энергии, то необходимое для формирования интенсивного выделения газа мелкодисперсное разрушение угля («бешеная мука») имеет соответствующее энергетическое обеспечение. Представленные результаты исследования позволяют выполнять картирование шахтопласта по уровню природной газодинамической активности и значениям соответствующей эффективности его заблаговременной и предварительной дегазации при проектировании шахт и участков по геологоразведочным данным.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 89 и гранта Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонда Бортника).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полевщиков, Г.Я. Динамические газопроявления при проведении подготовительных и вскрывающих выработок в угольных шахтах [Текст]. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. – 317 с.
2. Малышев, Ю.Н. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов [Текст] / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни. – М.: ИАГН, 2000–519 с.
3. Христианович, С.А. Изв. АН СССР. Отд. техн. наук, 1953, №12.
4. Христианович, С.А. Внезапные выбросы угля (породы) и газа. Напряжения и деформации: Препринт № 155 / С.А. Христианович, Р.Л. Салганик // Ин-т проблем механики АН СССР. - М., 1980. - 37 с.
5. Христианович, С.А. Выбросоопасные ситуации. Дробление. Волна выброса: Препринт № 152 / С.А. Христианович, Р.Л. Салганик // Ин-т проблем механики АН СССР. - М., 1980.
6. Христианович, С.А. О волне выброса // Известия АН СССР. ОТН. - 1953. - № 12. - С. 1679-1688.
7. Христианович, С.А. О волне дробления // Известия АН СССР. ОТН. - 1953. - № 12. - С. 1689-1699.
8. Христианович, С.А. Свободное течение грунтовой массы, вызванное расширением содержащегося в порах газа высокого давления. Волна дробления: Препринт № 128 / Ин-т проблем механики АН СССР. - М., 1979.
9. Эттингер, И.Л. Растворы метана в угольных пластах. // Химия твердого топлива - 1984.-№4 – С. 28-35.

10. *Алексеев, А.Д.* Свойства органического вещества угля образовывать с газами метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов [Текст] / *А.Д.Алексеев, А.Т. Айруни, И.В. Зверев и др.* // Диплом № 9 на научное открытие. – АЕН, 1994.

11. *Мальшев, Ю.Н.* Методы прогноза и способы предотвращения выбросов газа, угля и пород [Текст] / *Ю.Н. Мальшев, А.Т. Айруни, Ю.Л. Худин, М.И. Большинский.* – М.: Недра, 1995. – 352 с.

12. *Полевщиков, Г.Я.* Особенности углеметановых месторождений Кузбасса [Текст] / *Г.Я. Полевщиков, Т.А. Киряева* // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Международная научно-практическая конференция. Новокузнецк, 2005. – С.110-111.

13. *Чернов, О.И.* О проблеме внезапных выбросов угля и газа // Уголь. - 1974. - № 12. - С. 35-38.

□ Авторы статьи:

Полевщиков  
Геннадий Яковлевич  
- докт.техн.наук, проф., зав. лаб.  
«Газодинамика угольных месторож-  
дений» Института угля и углехимии  
СО РАН, тел.: 8 (3842) 287-492

Киряева  
Татьяна Анатольевна  
- канд.техн.наук., научн. сотр. лаб.  
«Газодинамика угольных месторож-  
дений» Института угля и углехимии  
СО РАН, тел.: 8 (3842) 281-378