

УДК 622.831.31

© А.В. Шадрин, В.И. Клишин, 2017

А.В. ШАДРИН

д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник
ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: avsh-357@mail.ru



В.И. КЛИШИН

д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН,
директор Института угля
ФГБНУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГНОЗА ОПАСНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ РАЗУПРОЧНЕНИЯ КРОВЛИ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ГИДРООБРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Показано, что для автоматизации прогноза динамических явлений и контроля напряженного состояния призабойного пространства в процессе разупрочнения кровли целесообразно использовать спектрально-акустический метод. Для автоматизированного контроля различных способов профилактической гидрообработки угольного пласта и процесса направленного гидроразрыва труднообрушаемой кровли предложено использовать метод акустической эмиссии. Обсуждена функциональная связь параметров нагнетания с параметрами акустической эмиссии.

Ключевые слова: УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ТРУДНООБРУШАЕМАЯ КРОВЛЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ГИДРООБРАБОТКА, АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ, СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Проведение горных выработок в сложных горно-геологических условиях требует применения специальных способов обработки призабойного пространства, обеспечивающих безопасность при проявлениях горного давления. К ним относятся, в частности, разупрочнение труднообрушаемой кровли путем направленного гидроразрыва и профилактическая гидрообработка угольного пласта [1-4].

Труднообрушаемые кровли опасны площадным зависанием, которое может привести к резкому обрушению и, как следствие, загазированию выработок. Для недопущения

этого применяют метод направленного гидроразрыва основной кровли [1-2]. При этом все этапы процесса контролируются по динамике давления нагнетания, регистрируемом на насосной установке.

Гидрообработка применяется также для повышения газопроницаемости угольного пласта. С этой целью жидкость подается в скважины, пробуренные по углю, в режиме гидрорасчленения, при котором в угле создается сеть трещин, повышающая газопроницаемость и газоотдачу пласта [3]. Для локального повышения газопроницаемости и

разгрузки призабойного пространства применяется также нагнетание жидкости в шпур в режиме гидроотжима [5].

Еще одно направление использования гидрообработки – увлажнение угля. Оно используется и для снижения пылевыведения [6], и для исключения выбросоопасности, поскольку установлено, что при влажности угля свыше 6 % внезапные выбросы никогда не происходили [7]. Происходит это потому, что при такой влажности газ блокируется в микротрещинах и порах и не выделяется в более крупные трещины в свободном состоянии. Поэтому внутрипластовое давление газа не возрастает. Одновременно уголь становится более пластичным, вследствие чего зона опорного давления отодвигается вглубь массива, снижая опасность проявления всех типов динамических явлений: горных ударов, внезапных выбросов угля и газа и их недоразвившихся типов [8].

Увлажнение угля осуществляется в одном из двух режимов: низконапорном увлажнении или гидрорыхлении. Низконапорное увлажнение осуществляется на пластах с высокой водопроницаемостью. В этом режиме дополнительные трещины нагнетаемой жидкостью не создаются, а жидкость распространяется по существующим природным трещинам, из них – в микротрещины и поры, равномерно увлажняя уголь. Гидрорыхление проводится на пластах с меньшей водопроницаемостью, чем в предыдущем случае. Жидкость в этом режиме создает дополнительную сеть трещин, из возросшей поверхности которых уголь увлажняется быстрее, чем в режиме низконапорного увлажнения.

Из сказанного следует, что все упомянутые способы гидрообработки кровли и угольного пласта характеризуются определенной интенсивностью развития (роста) трещин либо отсутствием их развития (при низконапорном увлажнении и им подобным режимам нагнетания, например, микрокапиллярной пропитке). Поскольку трещины развиваются скачкообразно, под интенсивностью развития трещин принято понимать число «скачков» растущих трещин в единицу времени [9, 10]. Однако ме-

ханизма контроля роста трещин при гидрообработке углепородного массива в шахтных условиях нет, так как технологией всех известных способов гидрообработки предусматривается только регистрация давления и скорости нагнетания жидкости. Причем темп нагнетания чаще всего измеряется на входе насосной установки, так как расходомеры высокого давления (СРВД) в России были выпущены в 60-х годах прошлого столетия малой партией и в последующем не выпускались, а зарубежные приборы аналогичного назначения учеными и производителями России, за редким исключением, не закупались из-за их сравнительно высокой стоимости.

Между тем растущая трещина является источником акустической эмиссии (АЭ), регистрация которой позволяет фиксировать как факт скачкообразного роста трещин, так и интенсивность этого процесса во времени [9, 10].

Таким образом, контролируя акустическую эмиссию в процессе гидрообработки, можно существенно повысить ее качество путем обеспечения запланированного режима нагнетания жидкости в угольный пласт или в труднообрушаемую кровлю. Однако для этого необходимо вначале установить функциональную связь между параметрами акустической эмиссии и гидрообработки, а затем определить оптимальные параметры акустической эмиссии для осуществления требуемого способа гидрообработки и разработать методику осуществления каждого из этих способов с управлением параметрами нагнетания жидкости, основываясь на акусто-эмиссионной реакции пласта на процесс нагнетания жидкости. Однако для этого нужны соответствующие средства контроля давления и темпа нагнетания – на входе скважины, и регистраторы параметров акустической эмиссии.

При аналитическом решении этой задачи установлено, что в процессе нагнетания жидкости в кровлю насосной установкой с жесткой рабочей характеристикой (для них темп нагнетания сохраняется практически постоянным вне зависимости от давления нагне-

тания) длину трещины гидроразрыва l можно определить по числу зарегистрированных импульсов АЭ J при ее скачкообразном росте от начальной длины l_0 , образованной щелеобразователем, по следующей формуле:

$$l = l_0 e^{J/k_e}, \quad (1)$$

где коэффициент k_e устанавливается по результатам серии опытных нагнетаний.

Установлено также, что при гидрорыхлении угольного пласта насосом с жесткой рабочей характеристикой оптимальное значение темпа нагнетания $q_{\text{опт}}$, при котором до момента прорыва жидкости по растущим трещинам в ближайшую выработку в пласт поступит объем жидкости Q , можно определить по формуле

$$q_{\text{опт}} = \frac{Q}{a(Q-V)^2}, \quad (2)$$

где коэффициенты a и V определяются по результатам серии опытных нагнетаний.

Оптимальное значение сопровождающей

скачкообразный рост трещин активности АЭ ΔJ изменяется во времени t следующим образом:

$$\Delta J_{\text{опт}} = \frac{\delta_1}{t - \delta_2 \sqrt{t}}, \quad (3)$$

где параметры δ_1 и δ_2 также устанавливаются по результатам серии опытных нагнетаний.

Эффективность гидрообработки кровли и угольного пласта с целью снижения опасности проявления динамических явлений можно оценить частично (без учета газового фактора опасности) по снижению напряженного состояния в призабойном пространстве. Для этого предлагается использовать метод спектрально-акустического контроля – по отношению амплитуд высокочастотной и низкочастотной частей спектра работающего горного оборудования (комбайна, буровой установки и др.), поскольку известно, что этот параметр определяется преимущественно величиной средних напряжений [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клишин В.И. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И. Клишин, Л.В. Зворыгин, А.В. Лебедев, А.В. Савченко // Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела. – Новосибирск: Издательский дом «Новосибирский писатель», 2011. – 524 с.
2. Клишин В.И. Методы направленного гидроразрыва труднообрушающихся кровель для управления горным давлением в угольных шахтах / В.И. Клишин, А.М. Никольский, Г.Ю. Опрुक, А.А. Неверов, С.А. Неверов // Уголь. – 2008. – № 11. – С. 12–16.
3. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. – М.: Недра, 1979. – 271 с.
4. Чернов О.И. Подготовка шахтных полей с газовой выбросоопасными параметрами / О.И. Чернов, Е.С. Розанцев. – М.: Недра, 1975. – 287 с.
5. РД 05-350-00. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа // Предупреждение газодинамических явлений в угольных шахтах. Сборник документов. – М.: Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000. – С. 120–303.
6. Гельфанд Ф.М. Новые способы борьбы с пылью в угольных шахтах / Ф.М. Гельфанд, В.П. Журавлев, А.П. Поелуев, Л.И. Рыжих. – М.: Недра, 1975. – 288 с.
7. Чернов О.И. Прогноз внезапных выбросов угля и газа / О.И. Чернов, В.Н. Пузырев. – М.: «Недра», 1979. – 296 с.
8. Дырдин В.В. Оценка ударо- и выбросоопасности увлажненных зон угольных пластов / В.В. Дырдин, А.И. Шиканов, О.П. Егоров, Ю.П. Набатников и др. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2000. – 134 с.
9. Грешников В.А. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий / В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
10. Шадрин А.В. Акустическая эмиссия выбросоопасных пластов. Обзорная информация / А.В. Шадрин, В.С. Зыков // ЦНИЭИуголь. – М., 1991. – 42 с.
11. Шадрин А.В. Геофизический критерий предвыбросного развития трещин в угольном пласте // ФТПРПИ, 2016. – № 4. – С. 48–62.

UDC 622.831.31

© A.V. Shadrin, V.I. Klishin, 2017

A.V. Shadrin

Doctor of Technical Sciences, Leading Scientific
Researcher
The Federal Research Center of Coal and Coal
Chemistry of SB RAS, Kemerovo
e-mail: avsh-357@mail.ru

V.I. Klishin

Doctor of Technical Sciences, RAS Corresponding
Member, Director
The Federal Research Center of Coal and Coal
Chemistry of SB RAS, Kemerovo
e-mail: klishinvi@icc.kemsc.ru

THE IMPROVEMENT OF AUTOMATED DYNAMIC PHENOMENA FORECAST METHODS DURING ROOF WEAKENING AND PREVENTIVE HYDROTREATING

The spectral-acoustic method is useful for the automation of the dynamic phenomena forecast and the working area stress control during roof weakening. The acoustic emission method is suggested using for the computer-controlled monitoring of various methods for coal seams preventive hydrotreating and the directional hydraulic fracturing process. The functional relation between charging characteristics and acoustic emission is given.

Key words: COAL SEAM, HARD ROOF, DYNAMIC PHENOMENA, HYDROTREATING, ACOUSTIC EMISSION, SPECTRUM ANALYSIS (ESTIMATION) OF ACOUSTIC SIGNALS

REFERENCES

1. Klishin V.I. Problemy bezopasnosti i novye tehnologii podzemnoj razrabotki ugolnyh mestorozhdenij (Safety problems and new technologies in underground mining) / V.I. Klishin, L.V. Zvorygin, A.V. Lebedev, A.V. Savchenko // Ros. akad. nauk. Sib. otd-nie, In-t gornogo dela. – Novosibirsk: Izdatelskij dom «Novosibirskij pisatel», 2011. 524 p.
2. Klishin V.I. Metody napravlennoho gidrorazryva trudnoobrushajushhihsja krovel dlja upravlenija gornym davleniem v ugolnyh shahtah (Method of directional fracturing of Hard-to-Collapse Roofs to Control Rock Pressure in Coal Mines) / V.I. Klishin, A.M. Nikolskij, G.Ju. Opruk, A.A. Neverov, S.A. Neverov // Ugol. 2008. № 11. pp. 12–16.
3. Nozhkin N.V. Zablagovremennaja degazacija ugolnyh mestorozhdenij (Preliminary draining-out of gases in coal subsoil). M.: Nedra, 1979. 271 p.
4. Chernov O.I. Podgotovka shahtnyh polej s gazovybrosoopasnymi parametrami (Development of mines with gas outburst hazard characteristics) / O.I. Chernov, E.S. Rozancev. M.: Nedra, 1975. 287 p.
5. RD 05-350-00. Instrukcija po bezopasnomu vedeniju gornyh rabot na plastah, opasnyh po vnezapnym vybrosam uglja (porody) i gaza (Instruction on safety mining in seams unsafe with spontaneous coal and gas outbursts) // Preduprezhdenie gazodinamicheskikh javlenij v ugolnyh shahtah. Sbornik dokumentov. M.: Gosudarstvennoe predpriyatje NTC po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortehnadzora Rossii, 2000. pp. 120–303.
6. Gelfand F.M. Novye sposoby borby s pylju v ugolnyh shahtah (New ways of dust control in coal mines) / F.M. Gelfand, V.P. Zhuravlev, A.P. Poeluev, L.I. Ryzhih. M.: Nedra, 1975. 288 p.
7. Chernov O.I. Prognoz vnezapnyh vybrosov uglja i gaza (Spontaneous coal and gas outbursts forecast) / O.I. Chernov, V.N. Puzyrev. M.: «Nedra», 1979. 296 p.
8. Dyrdin V.V. Ocenka udaro- i vybrosoopasnosti uvlazhnennyh zon ugolnyh plastov (The rock-bump and outburst hazard estimation of coal seams watered zones) / V.V. Dyrdin, A.I. Shikanov, O.P. Egorov, Ju.P. Nabatnikov i dr. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2000. 134 p.
9. Greshnikov V.A. Akusticheskaja jemissija. Primenenie dlja ispytanij materialov i izdelij (Acoustic

emission. Application for materials and articles tests) / V.A. Greshnikov, Ju.B. Drobot. M.: Izd-vo standartov, 1976. 272 p.

10. Shadrin A.V. Akusticheskaja jemissija vybrosoopasnyh plastov. Obzornaja informacija (Outburst-prone seams Acoustic emission) / A.V. Shadrin, V.S. Zykov // CNIJEIugol. M. 1991. 42 p.

11. Shadrin A.V. Geofizicheskij kriterij predvybrosnogo razvitija treshhin v ugolnom plaste (Geophysical criterion of pre-outbersting crack development in a coal seam) // FTPRPI. 2016. № 4. pp. 48–62.