

УДК 622.83

## РЕЗОНАНСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ

Д. И. Ёлкин, студент гр. ОДб-151, I курс

Руководитель В. Г. Смирнов, к.ф.-м.н., ст. преп. кафедры физики ФФП  
Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово, 2016

Аннотация. Предложена технология резонансного воздействия на угольный пласт с целью расширения зоны влияния выработки, интенсификации трещинообразования во внутреннем объеме угля, разгрузки краевой зоны угольного массива. Резонансное воздействие повышает эффективность дегазации и снижает вероятность возникновения опасных газодинамических явлений.

Ключевые слова: угольный пласт, дегазация, колебания, внезапные выбросы, резонанс.

Для безопасной разработки угольных пластов с высоким содержанием метана необходима предварительная дегазация [1-2]. Однако эффективное выделение метана из пласта [1-4] происходит лишь из небольшой зоны нарушенного угля, вблизи возникающих поверхностей обнажения. Ненарушенные, напряженные области угольного пласта характеризуются крайне низким коэффициентом фильтрации и фактически сохраняют высокое содержание метана. Чтобы разрядить напряженное состояние пласта используется [1-4] бурение сети дегазационных и разгрузочных скважин, камуфлетное и сотрясательное взрывание краевой зоны, гидравлический разрыв угольного пласта, и другие [3-6] воздействия с целью формирования впереди забоя выработки зон разрушенного угля, зон разгрузки, из которых возможна фильтрация метана. Эффективность каждого из способов пропорциональна размеру зоны влияния, отнесенного к прямым и косвенным затратам на проведение работ. К прямым затратам можно отнести стоимость материалов и труда на осуществление операций, а косвенные затраты связаны со снижением скорости ведения горных работ и производительности забоя.

Требуется разрабатывать новые эффективные технологии воздействия на угольный пласт, выводящие из ненарушенного состояния большие объемы угля впереди забоя выработки. Направленное увеличение зоны влияния выработки приводит к возникновению больших и малых трещин, а также областей ослабления напряжений, сопутствующих дегазации угольного массива, в результате чего снижается вероятность возникновения опасных газодинамических явлений. С физической точки зрения, при внешнем воздействии на угольный пласт сила внешнего воздействия должна быть соизмерима с ве-

сом краевой зоны массива и суммарной силой трения, действующей на весь призабойный объем пласта и вмещающих пород. Учитывая большую массу угля, пород основной кровли и почвы такие внешние способы воздействия требуют существенного увеличения сил и энергии воздействия, при необходимости расширения зоны влияния. Причем основные затраты идут именно на преодоление сил инерции и упругости массива. На полезную работу по созданию трещин и зон разгрузки идет лишь малая часть затраченной энергии.

По нашему мнению, для разработки эффективного метода воздействия на угольный пласт существует новая возможность использовать инерционность и упругость самого горного массива, включающего угольный пласт и вмещающие породы. Необходимо использовать явление резонанса [7]. Резонанс возникает, если внешние воздействия будут осуществляться с частотами близкими к частотам собственных колебаний угольного массива. Амплитуда резонансных смещений, в зависимости от добротности упругой системы может в несколько раз превосходить амплитуду смещений, вызванных силой такой же величины, но не резонансной частоты. Резонансная частота, с которой необходимо осуществляться внешнее воздействие, должна быть близка к частоте собственных механических колебаний краевой зоны угольного массива. Оценим возможное значение частоты свободных колебаний краевой зоны угольного массива для трех возможных направлений колебаний – трех основных мод.

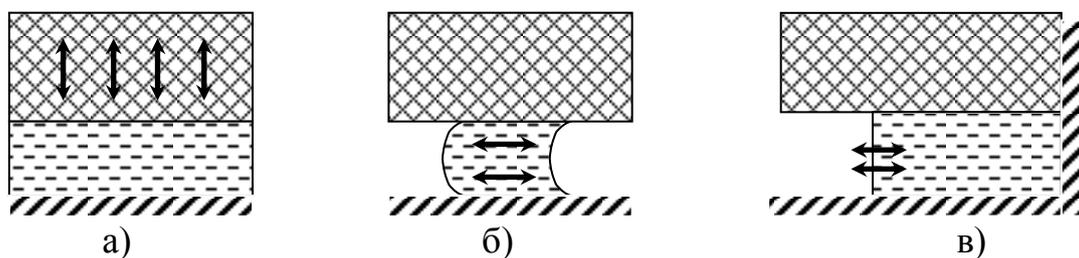


Рис. 1. Основные моды колебаний краевой зоны угольного пласта; (а) колебания основной кровли на угольном пласте как на упругом основании; (б) колебания краевой зоны угольного пласта как упругой закрепленной по бокам пробки; (в) фронтальные колебания краевой зоны в модели упругой сплошной среды, закрепленной на удалении.

На рис. 1а изображена первая модель. В краевой зоне основная кровля, плотностью вещества которой  $\rho_2$  мощность  $h_2$  переносит свой вес на упругий угольный пласт мощностью  $h_1$ . Породы основной кровли существенно более прочные, чем уголь, причем модуль Юнга пород кровли примерно в десять раз больше  $E_1$  – модуля Юнга угля. Основная кровля как целое, не деформируясь, колеблется на упругом основании угольного пласта. Масса кровли, приходящаяся на единицу площади в горизонтальной проекции равна  $m_2/S = \rho_2 h_2$ . Исходя из закона Гука  $F/S = -(E_1/h_1) \cdot \xi$ , определим  $k$  – упругость единицы площади угольного пласта  $k/S = E_1/h_1$ , как коэффициент пропорциональности между смещением  $\xi$  верхней кромки пласта и упругой си-

лой. В общем случае круговая частота свободных колебаний упругой системы определяется выражением:  $\omega = \sqrt{k/m}$ , поэтому для первой модели колебания (рис. 1а) получим:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{E_1}{\rho_2 h_1 h_2}} \quad (1)$$

Рассмотрим второй случай, оценим частоту колебаний упругой цилиндрической пробки (рис. 1б), длиной  $L$ , радиусом  $R$ , закрепленной по периметру. При равномерном по всей площади пробки давлении, направленном вдоль оси пробки, смещения ее точек имеют параболический профиль  $\xi(r) = a \cdot (1 - (r/R)^2)$ , где  $r$  – текущий радиус, т.е. расстояние рассматриваемых

точек от оси выработки, а максимальное смещение  $a = \frac{FR^2}{SGL}$  зависит от  $G$  –

модуля сдвига угля. В последнем выражении  $S = \pi R^2$  – площадь фронтальной поверхности пробки,  $F$  – суммарная сила. Массу пробки  $m = \rho_1 L \pi R^2$  можно определить, зная ее объем и плотность. Упругая сила, возникающая при отклонении пробки от положения равновесия, линейно зависит от смещений центральной (приосевой) области пробки, как и в законе Гука:  $F = -\pi GL \cdot a$ . Наибольшие смещения, а, следовательно, и наибольшие ускорения при колебаниях возникают вблизи оси пробки. Примем, что усредненные смещения всех точек пробки в два раза меньше, чем смещения ее центральной части. В этом случае  $k = \pi GL/2$ . Запишем также связь модуля сдвига и модуля Юнга сплошной среды:  $G = E/2(1 + \sigma)$ , где  $\sigma$  – коэффициент Пуассона. Получим оценку собственной частоты колебаний для второй моды (рис. 1б):

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{G}{2\rho_1 R^2}} = \sqrt{\frac{E_1}{4\rho_1 R^2(1 + \sigma)}} \quad (2)$$

В третьем случае (рис. 1в) моделью краевой зоны угольного пласта является условно свободный конец сплошной среды, закрепленный на некотором удалении  $L$  в глубине выработки. Для оценки собственных частот продольных колебаний, т.е. колебаний, направленных вдоль оси выработки, заметим, что подобные колебания эквивалентны стоячей продольной волне, в которой узел находится в точке закрепления, а пучность на свободной поверхности забоя. Скорость распространения продольных возмущений в сплошной среде угольного пласта  $c = \sqrt{E_1/\rho_1}$ , а длина стоячей волны должна быть в четыре раза больше, чем расстояние  $L$  до точки закрепления, следовательно, наименьшую резонансную частоту можно определить так:

$$\omega_3 = 2\pi \frac{c}{4L} = \frac{\pi}{2L} \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}} \quad (3)$$

Выражения (1-3) дают близкие по порядку величины значения собственных круговых частот. Круговая частота, умноженная на период колебаний, даст величину периода, выраженного в радианах:  $\omega T = 2\pi$ . Часто, для характеристики колебаний удобнее использовать величину циклической частоты, равной числу циклов колебаний системы за одну секунду. Циклическая частота связана с круговой частотой следующим соотношением:  $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$ .

В табл. 1 приведены характерные значения величин, характеризующих угольный пласт, и полученные количественные оценки собственных частот колебаний краевой зоны угольного пласта.

Таблица 1.

*Результаты оценок собственной частоты колебаний краевой зоны*

Принятые значения величин	Тип колебания	Частота колебаний
модуль Юнга угля $E_1 = 10^9 \text{ Па}$ ; плотность пород кровли $\rho_2 = 2500 \text{ кг/м}^3$ ; плотность угля $\rho_1 = 1300 \text{ кг/м}^3$ ; мощность кровли $h_2 = 15 \text{ м}$ ; мощность угольного пласта $h_1 = 3 \text{ м}$ ; радиус выработки $R = 1,5 \text{ м}$ ; коэффициент Пуассона $\sigma = 0,25$ ; размер зоны закрепления $L = 20 \text{ м}$	1а, колебания кровли на пласте, как на упругом основании	$\omega_1 \approx 100 \text{ рад/с}$ $\nu_1 \approx 16 \text{ Гц}$
	1б, колебания упругой пробки	$\omega_2 \approx 250 \text{ рад/с}$ $\nu_2 \approx 40 \text{ Гц}$
	1в, продольные колебания призмой объема	$\omega_3 \approx 70 \text{ рад/с}$ $\nu_3 \approx 10 \text{ Гц}$

При проектировании технологии воздействий на угольный пласт необходимо учитывать, что добротность природной системы не велика, обычно она не превосходит значения  $5 \div 10$ . В такое же число раз может быть увеличена величина воздействия. Предварительно можно сказать, что масса вибратора должна быть соизмерима с массой участка пласта, деленной на  $5 \div 10$ . В такое же число раз, ориентировочно, могут быть снижены затраты энергии при резонансном воздействии на угольный пласт.

Выводы. Вибрации, с частотами близкими к частотам, приведенных в табл.1 могут резонировать с собственными частотами колебания угольного массива, что приводит к усилению их действия. Данный эффект можно использовать для разрядки напряженного состояния краевой зоны угольного пласта и интенсификации процесса дегазации. Направления, в которых предполагается возбуждать колебания для каждой из рассмотренных мод, показаны на рис. 1.

### Список литературы

1. Чернов, О. И. Подготовка шахтных полей с газовойбросоопасными пластами / О. И. Чернов, Е. С. Розанцев. – М. : Недра, 1975. – 287 с.

2. Плотников, Е. А. Предотвращение динамических и газодинамических явлений при подземной разработке угольных пластов / Е. А. Плотников, В. В. Дырдин, Т. Н. Гвоздкова. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2010. – 160 с.
3. Елкин, И С. Влияние низкочастотных упругих колебаний на увлажнение угля // Известия ВУЗов. Горный журнал, 2011. – № 1. – С. 138–142.
4. Балашова, Т. А. Воздействие колебаний кровли при обрушении на увеличение давления метана в призабойной части пласта / Т. А. Балашова, А. Г. Прыкин // Вестник КузГТУ (журнал) 2000. – № 6. – С. 55–56.
5. Пузырев, В. Н. О возможном явлении "гистерезиса сорбции" метана выбросоопасным углем при возбуждении колебаний давления свободного газа / В. Н. Пузырев, Т. А. Балашова, Д. В. Алексеев // Уголь (журнал). – 1993 – № 6. – С. 46–48.
6. Балашова, Т. А. Исследование влияния динамических нагрузок на интенсификацию десорбции метана и выбросоопасность пласта : диссертация на соискание учен. степени канд. техн. наук: (05.15.11) / науч. рук. В. Н. Пузырев; Кузбас. гос. техн. ун-т – Кемерово , 1998. – 6 с.
7. Савельев, И. В. Курс общей физики: учебник в 3-х тт. Т. 1. Механика. Молекулярная физика. 10-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 432. с.