УДК 622.831

В.М.ШИК
ФГУП Межотраслевой научный центр ВНИМИ, Санкт-Петербург

ГОРНЫЕ УДАРЫ КРОВЛИ: УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЙ

Рассмотрены условия возникновения горных ударов кровли, которые по причинам возникновения, формам проявлений, последствиям, методам прогноза и предотвращения принципиально отличаются от горных ударов, очаг которых формируется в разрабатываемом пласте угля. Потенциальная энергия накапливается вследствие упругого изгиба пород основной кровли в соответствии с закономерностями деформации наклонных плит. В момент, непосредственно предшествующий первой осадке, ее значение может достигать 10^8 Дж, что сопоставимо с катастрофическими пластовыми горными ударами и землетрясениями. При системах могут происходить разработки с длинными и короткими очистными забоями. Снижение опасности достигается увеличением длины лавы и разупрочнением пород кровли. Способы, применяемые для предотвращения пластовых ударов, при опасности возникновения горных ударов кровли могут быть неэффективными.

Consideration is given to the conditions of rock burst origin in the roof, which for reasons of their beginning, manifestation modes, aftereffects, forecasting techniques and prevention basically differ from those rock bursts the origination of which takes place in the mined coal seam. The potential energy is stored in consequence of elastic bending of rocks of main roof in line with the deformation regularities of inclined plates. At the moment directly preceding the first subsidence, its value may reach 10^8 J, that is compared with the catastrophic seam rock bursts and earthquakes. They may occur in the long-face and short-face mining systems. Reduction of danger is reached by the increase of longwall and softening of roof rocks. The methods used for prevention of seam rock bursts with presence of hazard for rock burst origin in roof rocks, may be not efficient.

При ведении горных работ на шахтах наблюдается целая гамма опасных динамических явлений, отличающихся не только внешними формами, но, что особенно существенно, причинами и механизмом возникновения. Тем не менее, имеет распространение точка зрения, что эти явления – различные формы горных ударов – отличаются только силой и интенсивностью проявлений, а причиной их возникновения является концентрация энергии упругого деформирования в угольном пласте [1]. Неточная диагностика явлений влечет за собой неправильное назначение профилактических мероприятий, которые могут оказаться неэффективными. Например, при ведении очистных и подготовительных работ наблюдаются внезапные обрушения пород кровли, особенно в зонах тектонических нарушений. По внешним признакам такие обрушения имеют много общих черт с горными ударами: внезапность возникновения, звуковой эффект, сотрясение массива, пылеобразование, воздушная волна. Однако механизм этих явлений может быть совершенно различным.

Изучение опыта ведения горных работ на шахтах Польши, Чехии и Германии показывает, что подобные динамические явления при системах разработки с длинными очистными забоями рассматриваются в этих странах как горные удары кровли, очаг которых зарождается не в разрабатываемом пласте, а в породах висячего бока. Анализ случаев катастрофических массовых разрушений целиков при отработке пластов короткими забоями также показывает, что их первопричиной является внезапная потеря собственной несущей способности породами основной кровли.

Динамические формы разрушения массива угля и боковых пород в зоне влияния горных выработок происходят вследствие

перехода потенциальной энергии, накопленной в массиве под действием напряжений нетронутого массива, дополнительных напряжений зон опорного давления и деформирования зависающих над выработанным пространством слоев кровли, в кинетическую. В известной теории [1], объясняющей природу горных ударов, внезапных выбросов угля, породы и газа, динамических разломов почвы, при рассмотрении энергетического баланса учитываются, в основном, первые два источника потенциальной энергии.

Определим ту часть потенциальной энергии массива, которая зависит от деформаций упругого изгиба слоев и возрастает по мере увеличения размеров зависания кровли. Очевидно, что породы, подвергающиеся интенсивному расслоению и разрушению по трещинам, не способны накапливать энергию и поэтому в дальнейшем речь пойдет только о прочных массивных слоях («породах-мостах»). Рассмотрим период до первой посадки кровли в лаве. Механической моделью такой системы является плита, защемленная по периметру в зоне максимума опорного давления. Потенциальная энергия изгиба кровли под действием собственного веса и веса вышележащих менее жестких слоев определяется как определенный интеграл квадрата суммы действующих в ней изгибающих моментов.

Практика показывает, что наиболее сложные проблемы по управлению состоянием массива возникают при подвигании, близком к длине лавы, $a \approx l$. В такой ситуации потенциальная энергия

$$W \approx \frac{0{,}2 q_{зак}^2 l}{E}\left(\frac{C}{m_c}\right)^5,$$

где $q_{зак}$ – опорное давление в зоне максимума; l – длина лавы; E – модуль деформации; C – расстояние от забоя до точки защемления; m_c – толщина несущего слоя.

Зависимость потенциальной энергии от длины лавы показана на рис.1.

Из графика следует, что при характерных для современных условий длинах лав до 200 м и более потенциальная энергия,

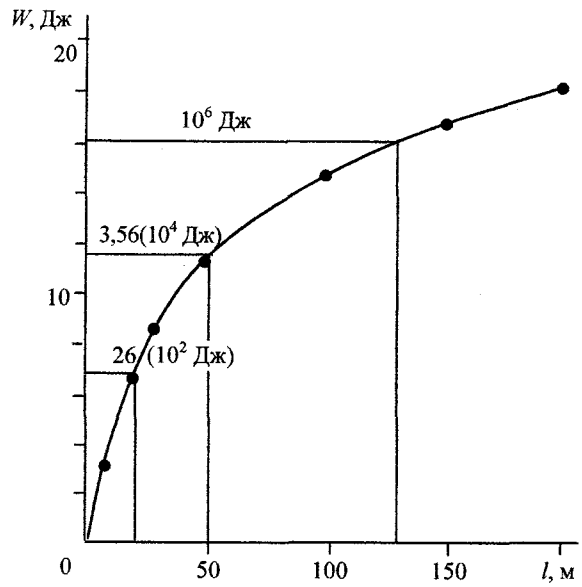


Рис.1. Потенциальная энергия зависающих пород кровли в зависимости от длины лавы

аккумулирующаяся в зависающих слоях основной кровли, перед первой осадкой равна 10^6-10^8 Дж. Для сравнения отметим, что энергетические потенциалы горных ударов составляют в зависимости от их интенсивности [2]:

Интенсивность	Энергетический потенциал (Дж)
слабые	10^2
средние	10^4
сильные	10^6
катастрофические	10^6
землетрясения	10^8 и более

При хрупком разрушении пород основной кровли в зоне опорного давления впереди очистного забоя возникают упругие волны, несущие большую кинетическую энергию (волны разгрузки).

Разрушение начинается в зоне опорного давления в форме сдвига от поперечных сил, а затем развивается далее как трещина отрыва под действием растягивающих напряжений от изгибающих моментов. Но так как нагрузка слоя основной кровли и соответствующий изгибающий момент остались такими же, как до образования трещины сдвига, а «несущая» толщина слоя уменьшилась за ее счет, то разрушение от изгиба приобретает резкий, динамический характер.

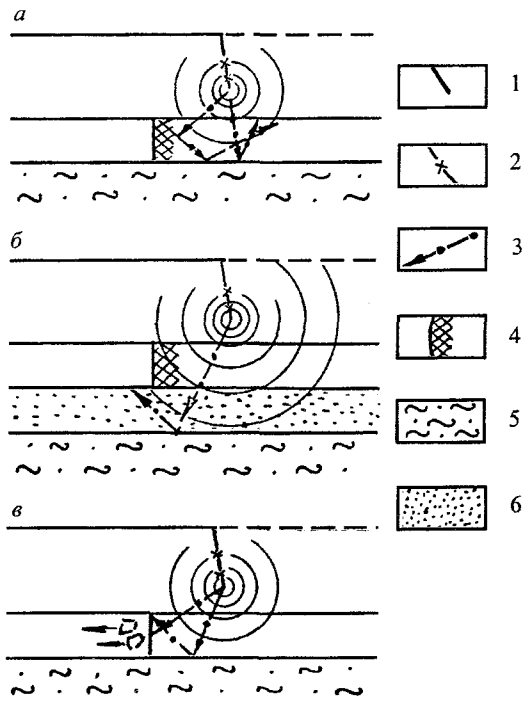


Рис.2. Действие волны разгрузки
1 – трещина сдвига; 2 – трещина отрыва;
3 – направление фронта волны разгрузки;
4 – разрушенная краевая часть пласта;
5 – демпфирующие породы; 6 – жесткие породы

Направление движения упругой волны определяется акустической прозрачностью пород кровли, почвы, угля и контактов между слоями. Акустическая прозрачность контактов между слоями определяется соотношением акустической жесткости соприкасающихся слоев. В зависимости от данного фактора и расположения очага разрыва пород основной кровли можно ожидать различные формы и степень воздействия энергии упругой волны разгрузки на выработки. Чем больше указанное соотношение, тем меньше энергии пройдет через контакт тех или иных соприкасающихся слоев пород. Волна разгрузки может отразится от контакта и уйти в толщу, не оказав вредного влияния на выработки данного пласта (рис.2, *а*), но в то же время может вызвать динамические формы проявлений горного давления на соседних пластах.

Если к моменту разрушения основной кровли краевая часть пласта в очистном забое была подвергнута разрушению (отжиму), то она будет представлять акустически непрозрачную среду. В этом случае упругая волна распространяется через зону максимума опорного давления в пласте, а по сравнительно прочным (акустически прозрачным) слоям почвы – в сторону призабойного пространства лавы (рис.2, *б*) или в подготовительные выработки, вызывая в обоих случаях ее динамические разломы. Если краевая часть пласта не разрушена (акустически прозрачна), то разрушение основой кровли может сопровождаться резкими, динамическими формами отжима угля (рис.2, *в*).

Таков в общих чертах механизм динамического воздействия на выработки энергии упругих волн разгрузки, возникающих в очаге хрупкого разрыва пород основной кровли при ведении горных работ в лаве 533-3. Аналогичные динамические явления наблюдались также на пластах 6-6^{а} и 7-7^{а} на шахте «Распадская» в Кузбассе. Внезапные обрушения основной кровли могут быть также причиной возникновения сопутствующих им воздушных ударных волн, вызывающих травмирование людей, разрушение крепи, перемычек и т.п. [3].

Указанные явления следует рассматривать как одну из динамических форм проявления горного давления при наличии весьма прочных, хрупких пород основной кровли. Они могут происходить не только на больших глубинах при образовании трещин давления в зоне опорного давления, но и на сравнительно небольших глубинах только под действием растягивающих напряжений от изгибающих моментов. В работе [3] содержится описание подобных случаев, происходивших на глубине 84 м.

Таким образом, для исключения вредного влияния на выработки динамических импульсов, очагом возникновения которых являются породы основной кровли, необходимо осуществлять региональную разгрузку толщи пород одним из приемлемых для конкретных условий шахты способов: опережающей подработкой или надработкой и применять активные способы разупрочнения пород кровли [2]. Положительный эффект может также дать увеличение длины лавы, от которой зависит шаг обрушения.

Но увеличение длины лавы и перенос области начала разрушения за пределы прозабойного пространства само по себе не гарантирует предотвращение вредных последствий внезапного обрушения кровли.

Применяемые для предотвращения горных ударов способы ослабления угля в краевой части массива в определенной степени влияют на поведение основной кровли. Однако при увеличении податливости краевой части жесткая опора кровли впереди очистного забоя перемещается в глубь массива, т.е. происходит увеличение C – расстояния от забоя до точки защемления плиты, а следовательно, увеличение упругой потенциальной энергии от изгибающих моментов.

Увеличение пластичности массива угля, а в необходимых случаях и боковых пород, по крайней мере, в пределах зоны опорного давления, может применяться для изменения направления распространения волны разгрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петухов И.М.* Механика горных ударов и выбросов / И.М.Петухов, А.М.Линьков. М., 1983. 280 с.

2. *Кузнецов С.Т.* Разупрочнение труднообрушаемых кровель угольных пластов / С.Т.Кузнецов, Ю.А.Семенов. М.: Недра, 1987. 200 с.

3. Frank E. Chase. The massive collapse of coal pillars – case histories from the United States. 15-th Conference on Ground Control in Mining / Frank E. Chase, R. Karl Zipf, Christopher Mark. Golden, Colorado, USA. 1996.