ПРОБЛЕМЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

PROBLEMS IN GEODYNAMIC SAFETY IN THE EXPLORATION OF SOLID DEPOSITS

УДК 622.831

ЮЗЕФ ДУБИНЬСКИ, *д-р наук инж., профессор, ген. директор, wmc@gig.katowice.pl*
Главный институт горного дела, Катовице, Польша

JOZEF DUBINSKY, *Dr. in eng. sc., professor, general director, wmc@gig.katowice.pl*
Main Institute of Mining Art, Katowice, Poland

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ОПАСНОСТЕЙ В КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Современная горная промышленность должна удовлетворять требованиям высокой экономической эффективности. В подземных условиях каменноугольных шахт весьма важным показателем является безопасность труда в связи с существованием многих естественных опасностей, в том числе таких, которые вызывают катастрофические явления: газовую опасность, пожарную опасность и опасность горных ударов. В статье представлены избранные методологические решения в области естественных опасностей, а также технологические приемы для активной борьбы с ними, которые характеризуются высокой эффективностью.

Ключевые слова: критерии уравновешенного развития, профилактика естественных опасностей, дренажные штреки для дегазации, мониторинг эндогенной пожароопасности. сейсмическая опасность и метод направленного трещинообразования.

PRINCIPAL TECHNOLOGIES FOR PREVENTION OF NATURAL DANGERS AT COAL MINES

Modern mining of mineral resources to be the industry accepted by the society must meet the criteria for sustainable development. Work safety is its important element, which is a particular sphere in underground coal mines in the view of natural hazards occurring numerously, including the catastrophic failures. Among them are gas hazard, fires and rock burst hazard. The selected methodological solutions in terms of their recognition and technologies applicable for the actively combat of these threats, which are featured by high efficiency, have been pointed out.

Key words: criteria of sustainable development, preventive measures of natural dangers, drainage entries for degassing, monitoring of endogenous fire hazard, seismic hazard and the method of directed fracturing.

Введение. Современная горная промышленность должна удовлетворять требованиям высокой экономической эффективности, а также условиям безопасного, здорового и высокопроизводительного труда шахтеров путем предупреждения опасных проявлений природно-техногенного характера. Одним из основных условий создания социально направленной отрасли является безопасность работы

горняков. Кроме того, обеспечение безопасных условий труда непосредственно связано с затратами на извлечение минерального сырья. Взаимные связи между безопасной продукцией горного предприятия и человеком особенно заметны в подземной горной промышленности, где на рабочих местах риск появления опасности для здоровья и жизни горняков значительно выше, чем на открытых горных разработках. Это связано, прежде всего, со спецификой подземной рабочей среды, характеризующейся существованием разного рода природных опасностей, способных вызвать горные катастрофы. Их последствиями являются обычно групповые несчастные случаи, в том числе смертельные среди горных бригад, а также значительные материальные потери. В генерировании явлений такого типа преобладают каменноугольные шахты, где уже сам тип полезного ископаемого, которым является уголь, генерирует ряд специфических естественных опасностей, не встречаемых в случае другого минерального сырья. Перечень опасностей в подземных каменноугольных шахтах подтверждает потенциально высокий риск появления несчастных случаев, а работа горняков в таких условиях наиболее опасна.

К основным природным опасностям относятся [1]:

- газовая – существование метана в угольных пластах;
- пожарная – склонность угольных пластов к самовозгоранию, проявлением которой являются эндогенные пожары;
- пылевая – наличие угольной пыли;
- сейсмическая и опасность горных ударов – динамические подвижки блочных горных массивов;
- опасность прорыва воды – внезапные прорывы воды в горные выработки;
- климатическая – рост первичной температуры пород с ростом глубины проводимой разработки;
- радиационная – присутствие в шахтном воздухе газа радона, а также вод и отложений, содержащих радий.

Все чаще встречаются так называемые сопряженные опасности, т.е. существующие на одном месте и в одно время две или более опасности среди названных. Часто одна из них воздействует на проявления другой, а также применяемые профилактики активной борьбы с ними могут иметь противоположные действия.

Отсюда применение современных методов их опережающего обследования и текущей оценки вместе с эффективными технологиями борьбы с ними являются важной задачей, влияющей существенным образом на уровень безопасности труда в каменноугольных шахтах. Развитие таких решений является одной из важнейших задач современной горной науки.

Избранные аспекты профилактики некоторых естественных горных опасностей. По отношению к названным основным естественным опасностям существующим в подземной каменноугольной промышленности, к группе так называемых катастрофических опасностей принадлежат газовая, пожарная опасности и опасность горных ударов. Следует подчеркнуть, что эти опасности существенным образом влияют на общий уровень безопасности шахт. Отсюда по отношению именно к этим опасностям будут представлены избранные аспекты профилактики, предупреждающей их возникновение.

Газовая опасность. Чаще всего газовая опасность связана с наличием метана и его эмиссией в процессе выемки угольных пластов. Основные ее проявления – воспламенение и взрыв метана, а также выбросы метана, угля и пород. Метан также часто является причиной, инициирующей опасные взрывы угольной пыли. Основной способ борьбы с метановой опасностью – это предупреждение возможности его накопления в выработках в объемах, превышающих допускаемые значения, в результате чего возможно устранение воспламенения метана, его взрыва, возникновения его слоевых прикровельных накоплений или бескислородной атмосферы. Основные способы профилактики в ограничении и борьбе с метановой опасностью следующие:

- эффективное проветривание горных выработок;

• развитые системы мониторинга опасности;

• активная профилактика опережающим дренажом угольных пластов и их окружения.

Не снижая существенной роли проветривания, ключевой технологией противодействия метановой опасности, несомненно, является дренаж угольных пластов и их окружения. На практике существует много разных технологических вариантов, тем не менее проблема эффективного дренажа приобретает особенное значение при низкой проницаемости угольных пластов. Существует некоторое критическое значение для этого параметра, выше которого технология дегазации становится эффективной. Для польских углей значение проницаемости, при которой может произойти отдача метана угольным пластом, составляет примерно $3 \cdot 10^{-12}$ м^2. Таким образом, серьезной технической проблемой является эффективное увеличение проницаемости угольных пластов, в которых для безопасности следует провести опережающий дренаж и каптирование метана. Необходимо подчеркнуть, что в области новых технологий по дренажу все большую роль выполняет современная техника буровых работ, в особенности возможность применения направленных скважин, а также гидротрещинообразования угольных пластов и вмещающих пород. Следует помнить, что при отсутствии или низкой эффективности опережающего дренажа, улавливающего метан, его эмиссия в объемах, превышающих допускаемые значения, представляет собой существенное препятствие для концентрации производства с сохранением условий безопасности.

На рис.1 приведена оригинальная схема технологии опережающей дегазации, проводимой над или под разрабатываемым пластом [8]. Она характеризуется высокой эффективностью (80 %). В этом случае фактором, который чрезвычайно полезно влияет на эффективность освобождения метана из угольного пласта и его окружения, является разгрузка, которую получаем перед фронтом горных работ, проводимых разработкой лавами. Коэффициент проницаемости увеличивается в таких случаях в сто, иногда в тысячу раз.

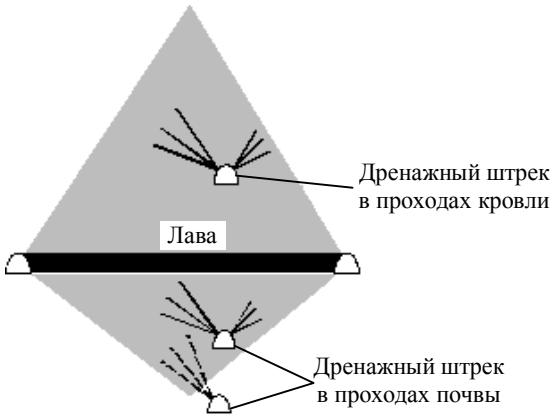


Рис.1. Схема технологии дренажа метана из штреков, проведенных над или под разрабатываемым пластом

Пожарная опасность. Очередной горной опасностью, приводящей ко многим серьезным горным катастрофам, являются эндогенные пожары, возникающие в результате склонности угля к самовозгоранию. Технические решения в этой области можно подразделить на следующие три группы:

• методы прогнозирования пожарной опасности вместе с подбором средств профилактики;

• методы мониторинга пожарной опасности;

• технологии и средства борьбы с пожарной опасностью.

Несомненно, к новым решениям в области прогнозирования пожарной опасности вместе с подбором средств профилактики принадлежат методы компьютерного моделирования процесса самонагревания массы раздробленного угля, находящейся в определенном месте шахты. Основой данного процесса является баланс массы кислорода и энергии, происходящий в ее структуре во время низкотемпературного окисления. Опираясь на разработанные компьютерные прогнозы можно выделить:

• вероятный период достижения максимальной температуры, а также распределение концентрации кислорода в нагревающемся угольном месторождении;

• инкубационный период и время индукции пожара;

• влияние содержания кислорода в приходящих газах на скорость развития процесса самонагревания;

• влияние размеров месторождения раздробленного угля на скорость развития процесса самонагревания.

Используя названные методы компьютерного моделирования можно оценить влияние примененных средств пожарной профилактики (например, изменчивое подвигание лавы, подача инертных газов, изолирование выработанного пространства, ограничение потерь угля в выработанном пространстве и т.д.) на скорость процесса самонагревания месторождения угля и оптимально подбирать их для определенного случая.

Ключевой задачей развитого процесса мониторинга является получение информации о месте пожарной опасности и о подготовке к появлению пожара.

К сожалению, применяемые до сих пор показатели оценки степени пожарной опасности характеризуются значительными ограничениями и очень трудны для количественной интерпретации. Поэтому в польских каменноугольных шахтах общее применение нашел новый метод мониторинга, опирающийся на анализ модели эмиссии всего спектра газов, выделяющихся в процессе нагревания угольного месторождения [2] (см.таблицу).

Эмиссия газов в зависимости от фазы развития пожарной опасности

Фазы развития процесса самонагревания	Состав газовой эмиссии	Тип химического процесса и его температура
Низкотемпературное окисление	Метан, азот, водяной пар, небольшие объемы водорода, этана, этилена, пропана и пропилена	Окисление и термическая декомпозиция угля Критическая температура
Интенсивное окисление	Внезапное увеличение этана, этилена, пропана и пропилена	Дистилляция подвижной фазы – выделение смоляных алифатических компонентов и газов Температура воспламенения угля
Возгорание угля	Большие объемы окиси углерода, водорода, азота и метана	Пиролиз – конденсация ароматических структур Внезапный рост температуры

Таким образом, состав газов, выделяющихся в процессе нагревания угля зависит от фазы развития процесса и существующей температуры. Измеряя эмиссию газов, можно оценить с большой вероятностью состояние пожарной опасности. Анализы в этой области можно проводить своевременно посредством установленных в выработках соответствующих измерительных датчиков или периодического определения в лаборатории газового состава проб шахтного воздуха с данного места. В зависимости от фазы развития процесса самонагревания предпринимается соответствующая пожарная профилактика.

Сейсмическая опасность и опасность горных ударов. Методы прогноза, оценки и борьбы с этой опасностью хорошо развиты, хотя следует однозначно отметить, что это наиболее трудно прогнозируемая горная опасность, особенно по отношению к времени ее появления [3]. К новым решениям о потенциальном риске появления горного удара в области обследования сейсмической активности принадлежит метод сейсмической геотомографии, который находит все более широкое применение в мировой горной промышленности. Он опирается на томографическую реконструкцию поля скорости распространения сейсмических волн в исследуемом фрагменте горного массива [4, 7]. Источником их возбуждения являются естественные очаги существующих горных ударов, а пунктами приемов – стенды шахтной сейсмологической сети. Этот метод интенсивно развивается несколько лет в Польше и в других странах мира. Пример томографического снимка слоя пород кровли представлен на рис.2, где выразительно заметны зоны повышенных скоростей и высокого градиента изменений скорости, в которых локализируются будущие сейсмические явления.

К новым технологиям борьбы с опасностью горных ударов следует отнести технологию направленного трещинообразования пород [5], т.е. образование в горном массиве пространственно ориентированных трещин, разделяющих монолитные породные слои на блоки или пластины с определенными размерами и формами. Такой процесс является возможным благода-

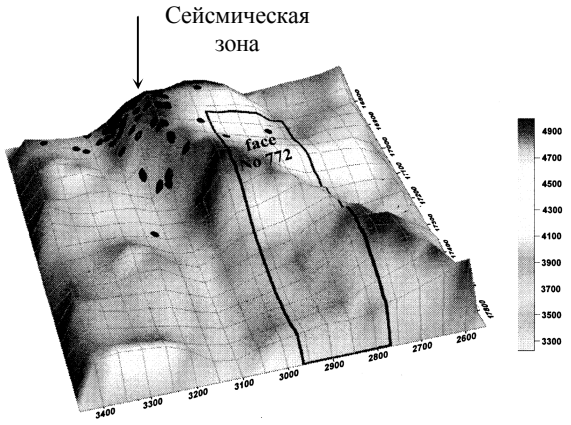


Рис.2. Пример испытаний с использованием метода сейсмической геотомографии для оценки опасности горных ударов

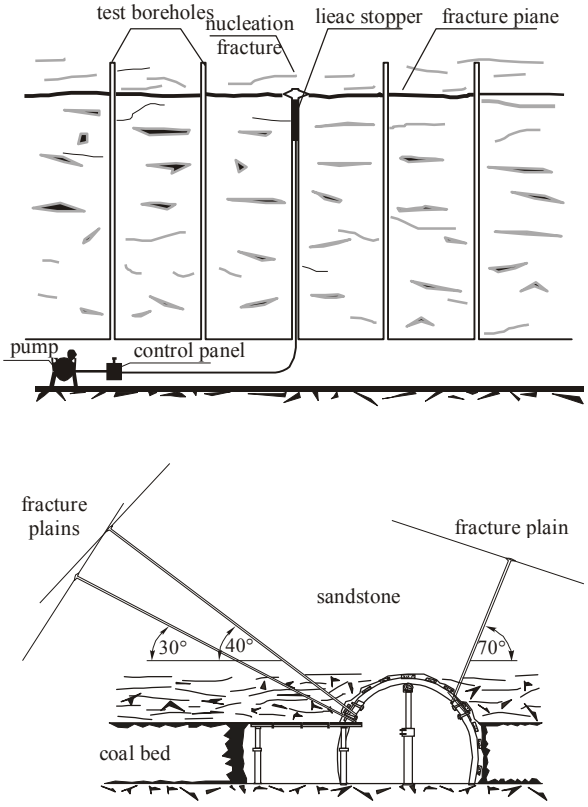


Рис.3. Схема технологии направленного трещинообразования пород кровли для борьбы с опасностью горных ударов

ря пробуренной в стенке буровой скважины так называемой споровой скважины с точно заданной пространственной ориентировкой, которая определяет направление распространения надлежащей трещины разделения [6] (рис.3).

Отмечаемые на практике зоны трещин расслоения, образуемые в слоях песчаника с прочностью 100 МПа, иногда составляют 30 м по сравнению со споровой трещиной.

Выводы

1. Безопасность труда является решающим ключевым фактором социальной, общественной оценки горной промышленности, особенно каменноугольных шахт, опасных по газу, угольной пыли, склонности углей к самовозгоранию и геодинамическим явлениям, с которыми связаны риски горных катастроф и несчастных случаев. Эти риски характеризуются возрастающей тенденцией.

2. Мировая наука и горная практика располагают многими методами, средствами и технологиями в области горной безопасности, но для обеспечения ее доступности необходимым является обмен информацией, трансферт технологии и взаимная горная солидарность для безопасной работы, защищающей здоровье и жизнь горняков.

3. Существенную роль в осуществлении названных задач должен выполнить Всемирный горный конгресс и его национальные организации.

REFERENCES

1. *Bradecki W.*, *Dubinski J.* Effect of the restructuring of the Polish coal-mining industry on the level of natural hazards: Archives of Mining Sciences., Krakow. 2004. Vol.50. Issue 1. P. 49-67.

2. *Cygankiewicz J.* New method for evaluating endogenous fire hazard at mine operating areas: Proceedings of the 3rd School of Mining Aerology. Ed. Polish Academy of Sciences 2004.

3. *Dubinski J.*, *Konopko W.* Rockbursts – Evaluation – Prediction – Fighting: Ed. Central Mining Institute, Katowice, 2000.

4. *Dubinski J.* Development of Seismogenic Zones in Underground Mines in the Light of Results of the Passive Tomography: Mining in the 21st Century Quo Vadis? Proceedings of the 19th World Mining Congress, New Delhi. 2003. Vol 2. P.1561-1568.

5. *Dubinski J.*, *Konopko W.* Rockbursts – preventive measures undertaken in Polish mines: Proceedings of the 5th International Mining Forum. Ed. A.A.Balkema Publishers, Rotterdam, 2004. P.197-212.

6. *Konopko W., Kabiesz J.* Modification possibility for technological properties of rock around excavations: Proceedings of the International Conference «Geomechanics' 96». Ed. A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1997. P.27–29.

7. *Lurka A.* Location of mining induced seismicity in zones of high P-wave velocity and in zones of high P-wave velocity gradient in Polish mines: Proceedings of the 6th International Symposium on Rockbursts and Seismicity in Mines / Australian Centre for Geomechanics, Perth, 2005.

8. *Lukowicz K.*, *Krause E.* Methane drainage in Polish hard coal mines – achievements and outlook: Proceedings of the 11th International Conference on Mining Hazard Problems. Ed. Central Mining Institute, 2004.