

Канд. техн. наук Станислав Тренчек,
директор Центра Пиотр Войтас
(Центр электрификации и автоматизации
горнодобывающей промышленности)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ИНИЦИИРУЮЩИХ ВОСПЛАМЕНЕНИЕ МЕТАНА

В статті розглянуто вплив взаємодії існуючих ризиків на загальний рівень безпеки з акцентуванням уваги на тих, які приводять до займання метану. З цією метою в табличній формі показаний взаємозв'язок між температурою займання і тривалістю існування потенційно вибухонебезпечних умов при певній концентрації метану на тлі динамічних явищ, викликаних займанням метану. У хронологічних записях, які реєстрували вибухи метану в довгострокових дослідженнях вибухонебезпеки метану, чинники, що ініціюють займання метану, класифікуються як очевидні і приховані. По кожному типу цих чинників представлена коротка характеристика.

PARTITION THE METHANE IGNITION INITIALIZERS

1. Introduction

Great many of tragic disasters that occurred over the recent decades in Polish mines and resulted in sorrowful consequences serve as an evidence of the fact that even a single hazard may present a danger to the mining staff. Even worse, coexistence of two or more hazards substantially increases the risk level. Increasing demand for coal enforces extraction from deeper and deeper coal beds, which leads to increased amount of mining faces where several hazards occur at the same time.

The most important risk factor that presents the real danger is coexistence of hazards from methane concentration, probability of endogenous fires, rock bumps and explosion of coal dust. Obviously, not always all these risk factors occur at the same time, but the more of them exist simultaneously the higher degree of danger must be handled with [3].

From among all the mentioned trends, the methane hazard is the primary risk factor. First of all, ignition of methane may be an initializer for other disasters that may include risk of endogenous hazards and rock bumps. Secondly, ignition of methane may lead, in consequence, to activation of initializers that are responsible for coal dust explosion of present fire pockets for coal smouldering (or other easily-flammable materials under some extreme conditions).

2. Description of circumstances conducive to methane ignition

It is a common view that the methane hazard within a certain region of mining operations is defined chiefly by such parameters as average methane volume disposed by the ventilation system per day, the average value of methane in total, also referred to as the absolute methane inflow (the sum of methane disposed by the ventilation system and the methane captured by the methane drainage system) as well as methane concentration threshold that makes installation of the methane drainage system a compulsory measure. It is also perfectly known that gas metering systems and systems for monitoring of environmental parameters are continuously improved and per-

affected and help to combat methane hazards. However, there are two factors that are extremely important for safety of works in regions where associated hazards occur. The first one consists in permanent education of employees and making them aware that even the most advanced monitoring systems and safety measures is merely a tool in hands of persons who are responsible for safety of both the staff and the entire mining enterprise as a whole. Reasonable utilization of such tools leads to improvements in safety standards but to no extent eliminates all the hazards forever.

The second factor, even more important is the attention that is paid to initializers for methane ignition [9]. Probability of the initializer occurrence must be continuously analyzed in on-line mode and locations where such as initializer may appear must be inspected on scheduled basis and permanently monitored.

The methane ignition and the course of its combustion [2, 4, 1] depend on concentrations of methane and oxygen in the gaseous mixture (coal mine air), its flash point and duration of potentially explosive circumstances.

The first factor, i.e. concentration of methane, usually needs sufficiently large space where an explosive mixture of methane and air may origin. It may happen, for instance in goafs or empty cavities filled with so called goaf gases (after having the coal extracted with subsequent roof fall or after having the coal extraction completed). In methane-containing panels, depending on methane content in coal, methane (beside nitrogen) is the predominant component of goaf gases. In combination with air it forms a mixture of methane and air that is extremely burdensome and difficult to be kept under control. The goaf gas may also build up in roadway excavations (with separate and circulatory ventilation systems) and longwalls if ventilation intensity is insufficient and fails to match the level of methane emission. However, monitoring of methane concentration is much easier in such excavations than in goafs. Therefore the conclusion that the safety level substantially depends of ventilation quality and monitoring of gas concentration is virtually obvious.

In case of goafs behind a longwall where extraction of coal is still in progress, location of possible zones with potentially explosive mixtures significantly depends on the ventilation method. If the ventilation is carried out by the U-shaped scheme, the hazardous zone is located nearby the beginning of the goaf area that is formed behind the line of the longwall support, i.e. behind the so called "roof-fall line". When Y-shaped or Z-shaped ventilation schemes are applied, the zone may reach as far as to deeper goaf areas, along the goaf-adjacent gate. However, when direction of air migration through goaf areas differs from the direction of extraction, the potentially explosive zone can be also located in other places.

The historical research on zones with potentially explosive mixtures in goaf areas [5] revealed that distribution of methane concentration depends chiefly on the extraction direction and the ventilation method. High concentration of methane can be found in goafs just opposite the upper part of longwalls. If coal extraction is carried out with the air drift maintained (the Y-shaped or Z-shaped systems) potentially explosive concentration of methane may occur within the distance of $6 \div 104$ m from longwalls and $2 \div 5$ m from the maintained ventilation drift. Otherwise, when the U-shaped ventilation system is applied (the air flows on the mother rock in the

both directions) and the ventilation drift is being closed down, the potentially explosive concentrations of methane are located from 6 to 37 metres from the longwall, nearby the blinded ventilation drift. However, it is worth to keep in mind that potentially explosive concentrations can be shifted deeper into goaf areas if airflow through the longwall area is increased but excessively high intensity of airflow may lead to the phenomenon of washing the methane away from goafs to the ventilation drift.

Currently, the potentially explosive areas in goafs can be determined by means of mathematical models [7, 8] provided that the models are successfully verified by measurement of methane concentration and inflow intensity in goaf-adjacent excavations. It is particularly important when high values of methane content in longwalls are expected.

In turn, zones with potentially explosive mixture can be formed in roadway or longwall excavations in such locations where airflow is laminar. These are areas nearby excavation roofs or sides, including longwall side at the roof. Such areas may also include locations nearby the floor of longwall excavations, in particular nearby the longwall conveyor, which is particularly hazardous when the methane is released from the excavation floor, from deeper seams.

Two other factors that are defining for methane ignition affect the methane concentration threshold that is necessary for ignition. For instance, the mixture with methane concentration between 4 % and 7 % is highly flammable at the lowest temperature and relatively short time when the potentially explosive atmosphere occurs. In pace with decrease of the methane concentration below 4 % or its increase above 7 % the flash point of the mixture increases. Therefore a relationship can be established that define how long should be an initializer in place to lead to methane ignition [2] (Table 1).

Number of regions in Polish coal mines where extraction is carried out from methane - carrying beds is continuously increasing. However, activation of hazards related to methane ignition occurs only in some specific cases. Analysis of disasters that took place during the years 1987 – 2006 shows [9] that 28 of methane ignition happened. Most of them, i.e. 20 inflammations turned out in regions of longwalls, of them 1 in the longwall with the shutdown and evacuation process in progress, 5 events in operable longwalls and the same number within the junction regions of longwalls and headgates, 6 fires took place in goafs and 3 in longwall-adjacent excavations. Much less, i.e. only 6 methane ignitions occurred in various roadway excavations (including two galleries and a drift, cross-drift, a rise heading and an inclined drift) and single ignitions took place in vertical excavations, i.e. in a shaft during the shutdown process and a small shaft under construction.

Methane ignition, depending on specific circumstances, may lead to a number of processes with various scenarios and dynamic features [4] (Table 2).

These ignitions led to:

- 16 inflammations of methane;
- 8 inflammations and explosions of methane;

- 2 inflammations and explosions of methane in conjunction with explosions of coal dust;
- 1 inflammations of methane with simultaneous explosions of coal dust;
- 1 inflammations of methane and a fire.

Table 1 – Relationship between the flash point of methane and air mixture, duration of the temperature in place and methane concentration

Flash point [°C]	Duration of the methane and air mixture inflammation process
400	Beginning of the oxidation process with no flames appearance
500	Several hours
600	Few minutes – for methane concentration below 4 % and above 7 %
	10 seconds – for methane concentration 4÷7 %
650	Few seconds
1000	A split second
1300	Immediate ignition

3. Classification of methane ignition initializers

Pursuant to the Polish mining regulations each occurrence of methane hazard is investigated by the relevant Regional Mining Authorities or an expert team appointed by the President of the State Mining Authorities. One of the objectives assumed for the examination process is to find out the primary reasons for the incident, including the initializer. Despite the fact that the expert team incorporates scientists and experienced professionals, the primary initializer for methane ignition not always can be unambiguously found.

Similar investigations as well as other research projects in the same field were launched in Poland and in other countries, in particular in the former Soviet Union [6].

The achieved results demonstrated wide variety of methane ignition initiators. They can be classified into the following groups: [9]

- evident initiators, where locations of them is accessible, thus environmental conditions in such locations can be monitored;
- hidden initiators that may occur in inaccessible locations, therefore direct monitoring of them is infeasible.

Evident initiators include:

- endogenous fires that give off heat with sufficiently high temperature and prolonged durations;
- blasting operations, due to:
 - o extremely high temperature that is reached during ignition of explosives (the ignition temperature of explosives is from 2 to more than 4 times higher than the minimum flash point of methane);
 - o possible deflagration of explosives inside blastholes;

Table 2 – Characteristics of dynamic processes caused by methane ignition

Course of a phenomenon	Properties of the methane and gas mixture	Symptoms
Calm combustion of methane	Values of CH ₄ concentration below the lower explosive limit occur nearby the source of high temperature.	Clearly visible when occurs at low depth in goafs, or no visible symptoms when occurs deeply in goafs - combustion can be detected by the Trickett coefficient (based on chemical analysis of samples from goaf gases).
	Concentration of CH ₄ above the upper explosive limit with simultaneous occurrence of additional volume of oxygen (so called diffusive combustion).	
Explosive combustion	Methane concentration very close to the lower or the upper explosive limit 5,3 – 15 %.	Clearly visible when occurs at low depth in goafs, or no visible symptoms when occurs deeply in goafs - combustion can be detected by the Bystroń and Morris coefficient (based on chemical analysis of samples from goaf gases). Temperature of gases can reach as much as ca 1500 °C.
Blast and explosion	Methane at explosive concentration.	Rapid combustion of the methane and air mixture - course of the combustion depends on: <ul style="list-style-type: none"> - concentration of methane and oxygen in the potentially explosive mixture of methane and air, - initial temperature of the explosive mixture, - initial location of the explosion and conditions for its expansion, - volume of space filled with the explosive mixture, - type of excavations where the explosion is expanded. Pressure of gases increases 9 – 10 times as compared to its initial value.
Detonation	Stoichiometric concentration of methane (9,5 %).	The highest intensity of the explosion. Temperature of gases can reach as much as 2,150 °C. Pressure of gases may increase to 4 MPa in the shock wave and to 26 MPa in the rebound wave.

- mechanical sparking of rocks that are produced while mining with shearers or during haulage of the output (hits of rocks against other materials);
- mechanical sparking of mining equipment friction, e.g. the cutting head (bits) against canopies of powered roof support units, friction of the conveyor chain;
- electric arcs – e.g. from electric equipment, supplying cables, sparking of electric traction;

- electrostatic discharges, due to application of plastic materials that is sometimes used in underground excavations;
- open fire in operable excavations, e.g. from technological processes that involve cutting or welding of metals, smoking.

The group of hidden initializers comprises the following:

- mechanical sparking of rock in goafs caused by internal friction between rock lumps;
- high energy and flow of electrostatic electricity in goafs that may occur in goafs – in fissures formed as a result of rock cracking;
- sparks of electrostatic charges that may arise in goafs during destruction of hard rock integrity;
- hot surfaces that origin in goafs due to high energy that tears off rock structures or after the phenomena of internal friction between rock lumps.

The analysis of 28 disasters from the recent 20 years [9] makes it possible to state that the group of evident initializers is represented as a predominant group of incentives. They were recognized as reasons for 23 ignitions, including:

- 5 events caused by sparks from mechanical friction between parts of equipment;
- 5 events – by use of open fire;
- 4 events – by mechanical sparking of rock lumps;
- 4 events – by blasting operations;
- 4 events – by an endogenous fire;
- 1 event – by sparking between wires of external (cable) electric traction.

Hidden initializers led to 2 ignitions of methane. In two other cases such an initializer was considered as equally probable as an endogenous fire. In turn, in a single case one of the following four initializers was considered as the most probable: an endogenous fire, as electric arc, internal sparking of rock or electrostatic discharges.

4. Conclusions

Methane ignitions and disastrous consequences of such events are predominantly caused by evident initializers in spite of the fact that they are easier predictable and preventable than hidden ones.

It must be kept in mind that only continuous monitoring of associated and co-existing hazards and on-line analysis of possible ignition initializers represents a contributing constituent to counteract the risk of methane ignition and explosion.

REFERENCES

1. Cimr A., Trenczek S.: Inicjaly zapłonu metanu w zrobach ścian zawałowych. Przegląd Górniczy 2003, nr. 3 (Initializers for methane ignitions in goafs of longwalls with roof falls, Mining review, 2003, № 3).
2. Czechowicz J.: Zwalczanie pożarów w kopalniach silnie metanowych. Wyd. „Śląsk”, Katowice 1972 (Fighting fires in coal mines with high methane concentration, “Śląsk” Publishers, Katowice, 1972).
3. Kabiesz J., Konopko W.: Problemy skojarzonych zagrożeń górniczych w polskich kopalniach węgla kamiennego. Bezpieczeństwo i Ochrona Środowiska w Górnictwie 1995, nr. 5 (Problems of associated mining hazards in Polish coal mines, Safety and Environment Protection in Mining, 1995, № 5).
4. Kozłowski B., Myszor H., Sobala J.: Wybuchy w kopalniach. Skrypt uczelniany. Wyd. Politechnika Śląska, Gliwice 1988, Explosions in mines, Printed course lectures in the Silesian University of Technology, Gliwice, 1988.
5. Matuszewski J.: Kryteria zagrożenia wybuchami metanu i pyłu węglowego w następstwie gwałtownych przemieszczeń górotworu. Prace GIG, Katowice 1979. (Criteria for hazards from methane and coal dust explosions due to rapid displacements of rocks, Outputs of the Central Mining Institute, Katowice, 1979).

6. Mjasznikow A.A, Starkow S.P., Czikurow W.I.: Zapobieganie wybuchom gazu i pyłu w kopalniach węgla. „Njedra”, Moskwa 1985 (Prevention against gas and dust explosion in coal mines, “Njedra”, Moscow, 1985).
7. Sułkowski J., Nguyen H. Dieu: Lokalizacja stref o wybuchowej koncentracji metanu w zrobach ściany zawałowej przewietrzanej przekątnie. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Zagrożenie metanowe w górnictwie. Wyd. GIG, Katowice 1994 (Location of zones with potentially explosive concentration of methane in goafs of longwalls with roof-fall extraction and diagonal ventilation. Proceedings of the Scientific and Technical Conference “Methane hazards in mining industry”, Published by Central Mining Institute, Katowice, 1994).
8. Szlązak J., Szlązak N., Obracaj D., Borowski M.: Obliczanie pola stężeń metanu w zrobach ścian zawałowych. Materiały 10. Sesji Międzynarodowego Biura Termofizyki Górniczej „IBMT 2005”. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2005 (Calculations for methane concentration fields in goafs of longwalls with roof-fall extraction. Proceedings of the 10th Session of the International Bureau of Thermal Physics in Mining “IBMT 2005”. Published by the Silesian University of Technology, Gliwice, 2005).
9. Trenczek S.: Inicjaly zapłonu metanu w aspekcie poziomu zagrożenia metanowego. Przegląd Górniczy 2007, nr 3, s. 39-44 (Initializers for methane ignition in the aspect of methane hazard levels. Mining Review, 2007, № 3, pp. 39-44).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ИНИЦИИРУЮЩИХ ВОСПЛАМЕНЕНИЕ МЕТАНА ¹

1. Введение

Очень многие аварии, приведшие к трагическим последствиям, которые произошли за последние десятилетия на польских шахтах, свидетельствуют о том, что существование даже одного опасного фактора может представлять угрозу для персонала, работающего в шахтах. Одновременное же существование двух и более опасных факторов значительно увеличивает уровень риска. Увеличение спроса на уголь требует добычи его на все больших глубинах, что, в свою очередь, приводит к увеличению количества забоев, где одновременно возникает несколько опасных факторов.

Самым опасным сочетанием факторов риска, который представляет реальную опасность, является концентрация метана, вероятность возникновения эндогенных огней, горных ударов и взрыва угольной пыли. Понятно, что не всегда все эти факторы риска происходят в одно и то же время, но чем больше их существует одновременно, тем выше степень опасности [3].

Из числа всех упомянутых выше факторов, метан представляет главную опасность. Во-первых, воспламенение метана может привести к другим бедствиям, в том числе к риску возникновения эндогенных огней и горных ударов. Во-вторых, воспламенение метана может активизировать факторы, которые инициируют взрыв угольной пыли в существующих очагах огня с тлеющими углями (или с другими легковоспламеняющимися материалами при определенных экстремальных условиях).

2. Факторы, влияющие на воспламенение метана

Существует общепринятое представление, что взрывоопасность метана в определенных зонах проведения горных работ определяется, в основном, такими параметрами, как средний объем метана, который выводится вентиляционной системой в день, общее среднее содержание метана, которое еще называется абсолютным притоком метана (объем метана, извлекаемого вентиляционной системой, и метана, добываемого через дренажную систему), а так же пороговое

¹ Перевод асп. А. Приходченко

значение концентрации метана. Эти параметры обосновывают необходимость обязательной установки системы дренажа метана. Также отлично известно, что системы измерения газа и контроля экологических параметров постоянно совершенствуются и помогают определить опасность взрыва метана. Но есть два фактора, которые чрезвычайно важны для безопасности работ в опасных зонах. Первый фактор - постоянное обучение рабочих, чтобы они были должным образом осведомлены о том, что даже самые передовые системы контроля и меры безопасности – это просто инструмент в руках тех людей, которые отвечают за безопасность персонала и всего горного предприятия в целом. Разумное использование таких инструментов приводит к усовершенствованию системы безопасности, но не устраняет полностью и окончательно факторы риска.

Вторым фактором, еще более важным, является, насколько внимательно относятся к причинам воспламенения метана [9]. Необходимо постоянно и в оперативном режиме анализировать вероятность возникновения угрозы безопасности работ, проверять и контролировать те участки, где такая опасность может появиться.

Воспламенение метана и процесс его сгорания [1, 2, 4] зависят от концентраций метана и кислорода в газообразной смеси (воздух угольной шахты), его температуры возгорания и продолжительности действия потенциально взрывоопасных обстоятельств.

Для первого фактора, то есть концентрации метана, обычно требуется достаточно большое пространство, в котором может образовываться взрывчатая смесь метана и воздуха. Например, в обрушенных пространствах или пустотах, заполненных газами, которые образуются после извлечения угля с последующим обрушением кровли или после завершения добычи угля. В зависимости от содержания метана в угле метан в метано-содержащих камерах (как и азот) является преобладающим компонентом газов в таких завалах. При соединении с воздухом формируется смесь метана и воздуха, которая является чрезвычайно опасной и трудно контролируемой. Газ из завалов может также образовываться при проходке выработок (с отдельными и циркулирующими системами вентиляции) и в лавах, если интенсивность вентиляции недостаточна и не отвечает уровню выбросов метана. Однако контролировать концентрацию метана намного легче в таких выработках, чем в обрушившихся пространствах. Поэтому совершенно очевиден вывод, что уровень безопасности существенно зависит от качества вентиляции и контроля концентрации газа.

Если обрушенное пространство образовывается за лавой, где извлечение угля все еще продолжается, расположение возможных зон с потенциально взрывоопасными смесями значительно зависит от типа вентиляции. Если вентиляция выполнена по П-образной схеме, опасная зона располагается рядом с границей зоны обрушения, которая сформирована за линией крепи забоя, то есть позади так называемой “линии падения кровли”. Если применяются У-образные или Z-образные схемы вентиляции, зона может уходить вглубь зон обрушения, вдоль штреков, смежных с зоной обрушения. Но если направление воздушных потоков через зоны обрушения отличается от направления выработки, потенциально взрывоопасная зона может располагаться и в других местах.

Последовательное исследование участков с потенциально взрывоопасными смесями в зонах обрушения [5] показало, что распределение концентрации метана зависит в основном от направления выработки и типа вентиляции. Высокая концентрация метана может наблюдаться в зонах обрушения только напротив верхней части забоя. Если добыча угля выполняется с вентиляционным штреком (У-образная или Z-образная система), потенциально взрывоопасная концентрация метана может образовываться на расстояния $6 \div 104$ м от забоя и $2 \div 5$ м от вентиляционного штрека. И, наоборот, если применена П-образная система вентиляции (воздух течет по материнской породе в обоих направлениях), и вентиляционный штрек заканчивается внизу, потенциально взрывоопасные концентрации метана располагаются от 6 до 37 метров от забоя, рядом с тупиковым вентиляционным штреком. Но нужно помнить, что потенциально взрывоопасные концентрации могут перемещаться вглубь зон обрушения, если поток воздуха через зону забоя увеличивается, но чрезмерно высокая интенсивность воздушного потока может привести к дегазации метана из зон обрушения в вентиляционный штрек.

В настоящее время потенциально взрывоопасные участки в зонах обрушения можно определять посредством математических моделей [7, 8] при условии, что эти модели успешно проверены измерением концентрации и интенсивности притока метана в зонах обрушения, смежных с выработками. Это особенно важно, если в забое есть вероятность высокого содержания метана.

В свою очередь, участки с потенциально взрывоопасной смесью могут формироваться в штреках или лавах выработок в таких местах, где поток воздуха является послойным. Это участки, расположенные рядом с кровлей или стенами выработки, в том числе стеной забоя у кровли. Такие участки могут также находиться около пола забоя, особенно поблизости конвейера забоя, который особенно опасен, когда метан выходит из пола выработки, из более глубоких пластов.

Два других фактора, которые являются определяющими для воспламенения метана, - это пороговая концентрация метана, которая необходима для его воспламенения. Например, смесь с концентрацией метана от 4 % до 7 % очень огнеопасна при низких температурах и в течение относительно короткого промежутка времени, когда образуется потенциально взрывоопасная атмосфера. По мере уменьшения концентрации метана до 4 % и ниже или ее увеличения выше 7 % температура вспышки смеси увеличивается. Поэтому могут создаваться условия, которые будут определять, насколько длительным должен быть фактор, инициирующий опасность в данном месте, чтобы привести к воспламенению метана [2] (таблица 1).

В зависимости от определенных обстоятельств воспламенение метана может привести ко многим процессам с различными сценариями и динамическими особенностями [4] (таблица 2).

Количество областей в польских угольных шахтах, где добыча ведется из метаноносных залежей, непрерывно увеличивается. Однако активизация опасностей, связанных с воспламенением метана, происходит только в некоторых конкретных случаях. В течение 1987 – 2006 годов [9] произошло 28 случаев воспламенения метана. Большинство из них, а именно 20 случаев, произошли в лавах; один из них произошел в лаве, которая находилась в процессе закрытия и эвакуации, 5 возгора-

ний произошли в действующих лавах и такое же количество в зоне соединения лавы с головной частью штрека, 6 пожаров произошли в зоне обрушения и 3 произошли в смежных с лавами выработках. Намного меньше, а именно всего лишь 6 воспламенений метана произошли в различных штреках выработок (в том числе в двух галереях и штольне, квершлагае, восстающей выработке и в наклонной штольне), и единичные воспламенения имели место в вертикальных выработках, то есть в шахте в процессе закрытия и в небольшой шахте, находящейся на стадии строительства.

Таблица 1 – Взаимосвязь между температурой вспышки метана и воздушной смесью, продолжительностью сохранения температуры в конкретном месте и концентрацией метана

Температура вспышки [°C]	Продолжительность процесса воспламенения метано-воздушной смеси
400	Начало окисления без появления огня
500	Несколько часов
600	Несколько минут при концентрации метана ниже 4 % и выше 7 %
	10 секунд при концентрации метана 4÷7 %
650	Несколько секунд
1000	Доля секунды
1300	Непосредственное воспламенение

Эти воспламенения вызвали:

- 16 воспламенений метана;
- 8 воспламенений и взрывов метана;
- 2 воспламенения и взрыва метана вместе со взрывами угольной пыли;
- 1 воспламенение метана с одновременными взрывами угольной пыли;
- 1 воспламенение метана и пожар.

3. Классификация факторов, инициирующих воспламенения метана

В соответствии с польским законодательством по горной промышленности каждое возникновение опасности метана изучается соответствующими Региональными органами горной промышленности или командой специалистов, назначенной Президентом Государственного органа горной промышленности. Одна из целей такого изучения состоит в том, чтобы узнать первичные причины инцидента, включая причину, инициировавшую данное возгорание. Несмотря на то, что команда специалистов включает в себя ученых и опытных профессионалов, не всегда однозначно можно определить первичный фактор, инициировавший воспламенение метана.

Подобные исследования, так же как другие научно-исследовательские работы по этой же тематике, уже проводились в Польше и в других странах, в частности, в бывшем Советском Союзе [6]. Достигнутые результаты продемонстрировали множество разнообразных факторов, инициирующих воспламенение метана. Они могут быть классифицированы в следующие группы [9]:

- очевидные факторы с доступным местом расположения, поэтому условия окружающей среды в таких местоположениях можно проверить;

Таблица 2 – Особенности динамических процессов, вызванных воспламенением метана

Проявление	Свойства метана и газовая смесь	Признаки
Спокойное сгорание метана	Концентрации CH_4 ниже взрывоопасного предела происходят вблизи источника высокой температуры.	Явно видимый процесс, если происходит в глубине в зоне обрушения, или никаких видимых признаков, если происходит в глубине зоне обрушения - возгорание можно определить при помощи коэффициента Tricket (на основе химического анализа проб газов из зоны обрушения).
	Концентрация CH_4 выше верхнего взрывоопасного предела с одновременным возникновением дополнительного объема кислорода (так называемое распространяющееся сгорание).	
Взрывоопасное сгорание	Концентрация метана очень близка к нижнему или верхнему взрывоопасному пределу 5,3 – 15,0 %.	Явно видимый, если происходит глубоко внизу зоны обрушения, или никаких видимых признаков, если происходит в глубине в зоне обрушения - сгорание можно определить при помощи коэффициентов <i>Bystroń</i> и <i>Morris</i> (на основе химического анализа проб газов из зоны обрушения). Температура газов может достигнуть приблизительно 1500 °С.
Выхлоп и взрыв	Метан взрывоопасной концентрации.	Быстрое сгорание метано-воздушной смеси - процесс сгорания зависит от: концентрации метана и кислорода в потенциально взрывоопасной смеси метана и воздуха, начальная температура взрывоопасной смеси, начальное местоположение взрыва и условий для его распространения, объем пространства, заполненного взрывоопасной смесью, типа выработок, в которые распространяется взрыв. Давление газов увеличивается в 9 – 10 раз по сравнению с его начальным значением.
Детонация	Стехиометрическая концентрация метана (9,5 %).	Самая высокая интенсивность взрыва. Температура газов может достигнуть 2,150 °С. Давление газов может увеличиться до 4 МПа в ударной волне и до 26 МПа в волне отдачи.

- скрытые факторы, которые могут произойти в недоступных местах, поэтому напрямую проконтролировать их невозможно.

Очевидные факторы, инициирующие возгорание, включают в себя:

- эндогенный огонь с достаточно высокой температурой и большой длительностью;

- выхлопы, вызванные:

○ чрезвычайно высокой температурой, которая возникает во время воспламенения взрывоопасных веществ (температура воспламенения взрывоопасных веществ в 2 - 4 и более раз выше, чем минимальная температура вспышки метана);

○ возможным выбросом пламени от взрывоопасных веществ в шпурах;

- механическое искрообразование в породе в результате работы выемочного комбайна или во время перевозки продукции (удары породы о другие материалы);

- механическое искрообразование в результате трения добывающего оборудования, например, режущей головки (резца) об навесы электрических секций крепи кровли, трение цепи конвейера;

- электрические дуги – например, от электрического оборудования, кабелей питания, искрообразования в электрической тяге;

- электростатические разряды в результате применения пластиковых материалов, иногда используемых при подземных разработках;

- открытый огонь в рабочих выработках, например, при технологических процессах, которые подразумевают резку или сварку металлов, курение.

Группа скрытых факторов, инициирующих возгорание, включает в себя следующее:

- механическое искрообразование в породах в зонах обрушения в результате трения между глыбами пород;

- большая энергия и поток электростатического электричества в зонах обрушения, который может произойти в трещинах, образовавшихся в результате дробления породы;

- искры электростатических зарядов, которые могут возникнуть в зонах обрушения во время разрушения толщи твердых пород;

- горячие поверхности, которые возникают в зонах обрушения из-за большой энергии, которая срывает горные структуры, или в результате трения глыб горных пород друг об друга.

Анализ 28 бедствий за последние 20 лет [9] позволяет утверждать, что группа очевидных факторов, инициирующих возгорание, представлена как преобладающая группа активаторов. Они были признаны причиной в 23 случаях воспламенений, включая:

- 5 случаев, вызванных искрами в результате механического трения между частями оборудования;

- 5 случаев, вызванных открытым огнем;

- 4 случая, вызванных механическим искрообразованием глыб горных пород;

- 4 случая, вызванных взрывными работами;

- 4 случая, вызванных эндогенным огнем;
- 1 случай – вспышка между проводами внешней (кабельной) электрической тяги.

Скрытые факторы, инициирующие возгорание, стали причиной 2 случаев воспламенения метана. В двух других случаях посчитали, что эта причина столь же вероятна, как и эндогенный огонь. В одном случае один из следующих четырех факторов, инициирующих возгорание, рассматривался как самый вероятный: эндогенный огонь, электрическая дуга, внутреннее искрообразование в породе или электростатические нагрузки.

4. Заключение

Воспламенения метана и пагубные последствия таких событий в большинстве случаев вызваны очевидными факторами, несмотря на то, что их легче предсказать и предотвратить, чем скрытые.

Нужно помнить, что только непрерывный контроль взаимосвязанных и существующих опасностей и оперативный анализ инициирующих факторов возможного воспламенения представляют весомую составляющую в мероприятиях по борьбе с опасностью воспламенения метана и взрыва.

УДК 622.411.33: 622.812.002.56

Канд. техн. наук Станислав Тренчек,
директор Центра Пиотр Войтас
(Центр электрификации и автоматизации
горнодобывающей промышленности)

ВАЖНОСТЬ ИЗМЕРЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В АСПЕКТЕ ПРИЧИН ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МЕТАНА

У статті описані ефекти взаємних зв'язків і існуючої небезпеки на загальному рівні безпеки з акцентом до обставин, сприяючих займанню метану. У таблицях представлені зв'язок між температурою займання і тривалістю потенційно вибухових умов при певній концентрації метану щодо динамічних явищ, викликаних займанням метану. Вибухи метану, які відбулися раніше раніше, класифіковані як очевидні і приховані. У загальних рисах змальовані причини, контролюючі умови, які роблять просте вимірювання з концентрації метану недостатньою мірою, щоб контролювати небезпеку, пов'язану із займанням метану, і відмічена необхідність обліку небезпеки ендогенних пожеж і гірських ударів. Розглянуто новий метод для систематичного і всестороннього контролю чинників, що впливають на пожежонебезпеку, гірські удари і вугільні вибухи пилу, який включає нові функціональні можливості.

IMPORTANCE OF MEASURING INSTRUMENTATION IN THE ASPECT OF THE METHANE IGNITION INITIALIZERS

1. Introduction

As occurrence of evident initializers is much more predictable and they can be easier tracked and preventive actions against consequences thereof are also facilitated.