

About Possibilities to Improve Current Outburst Hazard Prediction Based on Updated Mechanism of Coal and Gas Outburst

In this paper the problem of coal and gas outburst – the coal pit's most complex and dangerous induced geodynamic phenomenon – occurrence and development has been considered in details. Based on the theoretical and experimental researches it has been shown that this phenomenon may occur in full strength only with sufficient quantity of total potential energy available in the massif's face area together with the conditions required for development of each stage of the phenomenon. However,

the main condition shall be occurrence and development of the intensive opening and extension of cracks quasiparallel to the seam's exposed surface and saturation of these cracks with pressurised free gas in the face area.

Updating of the coal and gas outburst process allows to improve current prediction of the mine opening hazards with respect to the coal and gas outbursts.

Möglichkeiten zur Verbesserung der aktuellen Gasausbruchsrisikoprognosen auf Grundlage neuer Erkenntnisse zu Kohle- und Gasausbruchsmechanismen

In diesem Artikel wird das Problem des Auftretens und der Entwicklung von Kohle- und Gasausbrüchen – dem induzierten geodynamischen Phänomen mit der höchsten Komplexität bzw. dem höchsten Gefährdungspotential im Kohlebergwerk – detailliert beleuchtet. Auf der Grundlage von theoretischen und experimentellen Forschungen wird gezeigt, dass dieses Phänomen in voller Stärke nur auftreten kann, wenn einerseits im Bereich des Strebs eine ausreichende Gesamtmenge potentieller Energie im Gebirge vorhanden ist und gleichzeitig die für die einzelnen Entwicklungs-

phasen dieses geodynamischen Phänomens erforderlichen Bedingungen gegeben sind. Die Hauptbedingung ist jedoch das Vorhandensein bzw. die Entwicklung von ausgeprägten Kluft- und Erweiterungen von Rissen, die quasi parallel zur freiliegenden Flözfläche verlaufen, sowie die Sättigung dieser Risse mit unter Druck stehendem, nicht gebundenem Gas im Streb.

Eine Neufassung des Ablaufs von Kohle- und Gasausbrüchen ermöglicht im Hinblick auf Kohle- und Gasausbrüche eine Verbesserung der kontinuierlichen Risikoprognose für den Grubenraum.

Saturation of unworked coal with energy before coal and gas outburst

Coal and gas outbursts take place in compliance with a certain rule – energy balance in the rock-coal-gas system (1-4 e.a.). The energy balance is a sum of all types of energy participating in the progress of this phenomenon.

From many researches of this phenomenon the elements required for its occurrence as well as the elements resulting from its progress have been established. The energy of these elements has been recorded in the balance equation.

According to the energetical theory of V. V. Khodot (1), the main and necessary condition for the outburst excitation and development shall be satisfaction of the following inequality:

$$W + E > F + U \quad (1)$$

whereby W is the potential energy of coal, E is the kinetic energy of

Energiesättigung nicht verritzter Kohle vor Kohle- und Gasausbrüchen

Kohle- und Gasausbrüche folgen einer bestimmten Regel, der Energiebilanz im System umgebendes Gebirge – Kohle – Gas (1-4 e.a.). Die Energiebilanz ist die Summe aller zum Entstehen dieses Phänomens beitragenden Energieformen.

In umfangreichen Forschungen zu diesem geodynamischen Phänomen wurden die für dessen Eintritt kritischen sowie die sich im weiteren Fortschreiten ergebenden Elemente ermittelt. Die Energie dieser Elemente wurde in der Bilanzierungsgleichung festgehalten.

Nach der Energie-Theorie von V. V. Khodot (1) muss zur Anregung und Entwicklung eines Ausbruchs als entscheidende und notwendige Voraussetzung die nachfolgende Ungleichung erfüllt sein:

$$W + E > F + U \quad (1)$$

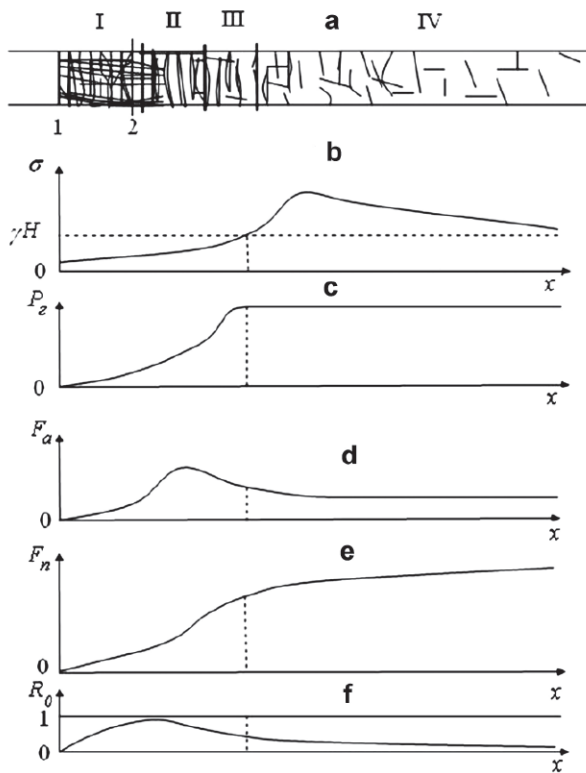


Fig. 1. Parameters of gasdynamic condition in coal massif of potential outburst hazard before coal pulling
 a - diagram of crack propagation in the massif, in the area of the mine opening influence;

b, c, d, e, f - curves for stresses σ , gas pressure P_z , outburst active force F_a , outburst counterforce F_n and outburst safety index R_0 in the mine opening influence area.

Bild 1: Parameter des gasdynamischen Zustands im Gebirge für das potentielle Ausbruchsrisiko vor Kohlegewinnung
 a - Diagramm des Risswachstums im Gebirge im Einflussbereich des Grubenraums; b, c, d, e, f - Belastungskurven σ , Gasdruck P_z , aktive Ausbruchskraft F_a , Ausbruchsgegenkraft F_n und Ausbruchssicherheitsindex R_0 im Einflussbereich des Grubenraums.

the rocks, F is the work required to move the coal towards the face, U is the work required to brake the coal in course of the outburst.

In the left part the types of potential energy required for occurrence and progress of the phenomenon are shown, while in the right part are the types of work performed during the outburst, i.e. formula (1) is a particular application of the law of conversion of energy. The energy required for the outburst occurrence is converted into the energy which is resulting from the progress of the phenomenon, which means: the bigger energy has been spent for occurrence of the phenomenon, the bigger energy shall be released as the result of the outburst. In the condition of the outburst occurrence one can consider either one type of the phenomenon's properties or a number of types, i.e. mechanical, thermal, acoustic and other types of properties.

It should be remarked that condition (1) is given overgeneralized. The phenomenon under consideration is known to have a number of stages in its progress. And occurrence of each stage requires its individual condition.

The gas and coal outbursts may occur when in the mine opening area the coal seam includes tectonical deformation of the coal texture deep enough to condition occurrence of the phenomenon.

For the outburst-prone area of the seam, which is characterized by low strength of coal and high gas content, it is characteristic to have prominent area with the massif elements quaziparallel to the face, significant amount of free gas in the cracks between the massif elements with high pressure of such gas in the mine influence area in the vicinity of the opening (Figure 1 a) (5, 6).

Part of the massif under consideration is a porous-fractured body of elastic and plastic properties with permanent occurrence of deformations. In the physical body of such texture local distortions shall occur in places where the active force exceeds the passive one.

wobei W die potentielle Energie der Kohle und E die kinetische Energie des Gebirges ist, F die Arbeit, die während des Ausbruchs benötigt wird, um die Kohle aus dem Flöz zu brechen und U die Arbeit, die benötigt wird, um die Kohle während des Ausbruchs zu zerkleinern.

Auf der linken Seite sind die für Eintritt und Entwicklung des Phänomens erforderlichen potentiellen Energieformen angegeben, während rechts die während des Ausbruchs stattfindenden Typen von Arbeit stehen, d.h. Formel (1) ist eine spezielle Anwendung des Energieerhaltungssatzes. Die für das Zustandekommen eines Ausbruchs erforderliche Energie wird in die Energie umgewandelt, die durch das Auftreten des Ausbruchs entsteht, und das bedeutet: Je größer der für den Eintritt des Phänomens notwendige Energieeinsatz, desto mehr Energie wird infolge des Ausbruchs freigesetzt. Unter den Merkmalen eines Ausbruchs kann man entweder seine generelle Eigenschaftsklasse betrachten oder mehrere, d.h. mechanische, thermische, akustische und sonstige Eigenschaften.

Es ist zu beachten, dass Ersteres zu stark verallgemeinert dargestellt ist. Man weiß, dass das hier betrachtete Phänomen in mehreren Phasen abläuft. Dabei müssen vor Eintritt jeder einzelnen Phase spezielle Voraussetzungen erfüllt sein.

Gas- und Kohleausbrüche können sich ereignen, wenn das Kohleflöz ausreichend tiefe tektonische Störungen des Kohlegefüges im Gewinnungsbereich aufweist und somit die Voraussetzungen für den Eintritt dieses Phänomens gegeben sind.

Für den zu Ausbrüchen neigenden Bereich des Flözes, der sich durch eine geringe Festigkeit des Kohlegefüges und einen hohen Gasgehalt auszeichnet, sind folgende Merkmale charakteristisch: quasi parallel zum Abbaustoß verlaufende Schlechten und Klüfte, eine signifikant hohe Menge freien Gases in den Rissen zwischen den Gebirgselementen sowie hohe Gasdrücke in den von der Gewinnung beeinflussten Gebirgsbereichen in der Nähe des offe-

Obviously, this process (propagation of cracks) goes permanently in the whole mine influence area. Foremost it goes where the massif has been significantly released from overburden and gas pressure while preserving high pressure of gas. At the same time, due to the crack propagation and gas pressure decrease inside the crack, such crack may be compressed back to some extent as effected by a higher force in the adjacent crack, though, generally the cracks will grow as far as the massif is released due to shifting of the face to the mine opening. In the immediate vicinity of the face the massif is degassed and released from overburden and gas pressure to high extent, hence, the active force here is close to zero. That is why the area adjacent to the face is inert. It is damping the effect of active forces applied to the part of massif under consideration at a higher depth.

In the face area of the massif the gas permanently ingresses the mine opening, the cracks are growing oscillatory and, consequently, sorption hysteresis of methane with coal occurs (7). That is why high gradient of gas pressure is preserved in the face area of the massif in the disturbed coal, in the immediate vicinity from the face.

As the result of permanent primary development of the cracks quaziparallel to the crop, the super-multilayer system with pressurized free gas between the layers is formed in the the disturbed bands. Gas pressure gradient grows rapidly to the depth of the massif.

Due to the processes described the face area of the massif is permanently in "live", dynamic condition with growing forces in the developed systems of cracks. Kinetic energy of the massif displacement and the methane sorption energy are converted into the potential energy of the disturbed band or set of bands in the massif. The term "potentially outburst hazardous band of coal" suits excellently to such band (set of bands).

From the experience of mining the outburst hazardous coal seams in Donbass the cases are known when the outburst occurred in course of drilling 42 mm diameter pilot holes – including the test holes to predict the current outburst hazards. These cases surprised the researchers, because such holes produce minimal influence on the face area of the massif. Applying the above ideas to explain such cases one can conclude as follows. When the tectonically disturbed coal texture in the face area of the massif is saturated with energy due to permanent distortions, cracking quaziparallel to the face and sorption hysteresis of methane, at certain moment a qualitative change (or quantum leap) will take place resulting in a transfer to the new condition of the massif – the outburst readiness. Due to over-saturation with energy it is a sort of "overexcited", and a minor impact, the smallest hole drilled this case, can lead to the back reaction in the shape of the coal and gas outburst. It is like needle punching of a balloon, which results in inevitable bursting. In this case the outburst can be prevented only by anti-outburst impact on the face area of the massif performed early and from sufficient distance.

The processes going on in the face area of the massif at the outburst preparatory stage are designated with the term "saturation with the outburst energy" (5, 6). The higher is the extent of charging, the bigger number of cracks will open getting saturated with pressurized gas, the better manifestation all the stages of coal and gas outburst will have in case it happens.

nen Grubenraums (Bild 1 a) (5, 6).

Bei einem Teil des betrachteten Gebirges handelt es sich um eine porös-fragmentierte Struktur mit elastischen bzw. plastischen Eigenschaften und Gebirgsstörungen. Im Innern einer solchen Textur sind lokale Verwerfungen dort zu finden, wo die aktive Kraft größer ist als die passive.

Natürlich läuft dieser Prozess der Rissbildung im gesamten, vom Abbau beeinflussten Bereich ständig ab. Zuerst entstehen Risse dort, wo das Gebirge in bedeutendem Umfang von Deckgebirge und Gasdruck befreit wurden, während der hohe Gasdruck im Unverritzten erhalten bleibt. Gleichzeitig kann ein solcher Riss aufgrund des Risswachstums und des sinkenden Gasdrucks im Riss selbst in gewissem Umfang durch die größere Kraft in einem benachbarten Riss wieder zusammengepresst werden. I.A. weiten sich Risse jedoch in dem Maße aus, wie das Gebirge aufgrund des Fortschreitens der Abbaufont im Grubenraum entlastet wird. In der unmittelbaren Nähe des Stoßes wird das Gebirge entgast und stark von Deckgebirgs- und Gasdruck befreit, wodurch die aktive Kraft hier nahe Null liegt. Aus diesem Grund ist der neben der Abbaufont liegende Bereich inert und dämpft die Wirkung der aktiven Kräfte, die in größerer Teufe auf einen Teil des betrachteten Gebirges einwirken.

Im Abbaufontbereich dringt das Gas ständig in den Grubenraum ein, die Risse wachsen oszillierend, als Folge tritt eine Sorptionshysteresis von Methan und Kohle ein (7). Aus diesem Grund bleibt in der anstehenden Kohle unmittelbar neben dem Kohlestoß ein hoher Gasdruckgradient im Abbaufontbereich bestehen.

Als Ergebnis der andauernden Neuentstehung von quasi parallel zum Kohlestoß verlaufenden Rissen bildet sich im Hangenden ein Mehrschichtsystem mit zwischen den Schichten komprimiertem, ungebundenem Gas in den durch den Abbau gestörten Bändern. Der Gasdruckgradient nimmt dabei in Tiefenrichtung des Gebirges, also in Richtung unverritzten Gebirges, schnell zu.

Auf Grund der oben beschriebenen Prozesse befindet sich der Abbaufontbereich des Gebirges dauernd in einem „lebenden“, dynamischen Zustand mit zunehmenden Kräften in den bereits entstandenen Rissystemen. Die kinetische Energie der Gebirgsverschiebung und die Methanabsorptionsenergie werden in der beeinflussten Schicht- bzw. Schichtstruktur im Gebirge in potentielle Energie umgewandelt. Der Begriff „potentiell ausbruchgefährdete Kohleschicht“ beschreibt eine solche Schicht (Schichtbündel) hervorragend.

Aus der Erfahrung des Abbaus von ausbruchgefährdeten Kohleflözen im Donbass-Revier sind Fälle bekannt, in denen das Einbringen von Pilotbohrungen mit 42 mm Durchmesser – einschließlich Probebohrungen zur Prognose der vorliegenden Ausbruchsriskien – zum Ausbruch führte. Diese Fälle überraschten die Forscher, da solche Bohrlöcher in der Regel nur einen minimalen Einfluss auf die Oberfläche des Gebirges im Bereich der Bohrung haben. Zieht man die obigen Erwägungen zur Erklärung dieser Fälle heran, können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden: Wenn die tektonisch angegriffene Textur der Abbaufont aufgrund von permanenten Gebirgsstörungen, quasi parallel zur Abbaufont verlaufenden Rissbildungen oder auf Grund von Methansorptions-hysteresis mit Energie gesättigt ist, erfolgt zu einem bestimmten Zeitpunkt eine qualitative Veränderung (oder ein Quantensprung), d.h. das Gebirge geht nun über in den Bedingungs-zustand „aus-

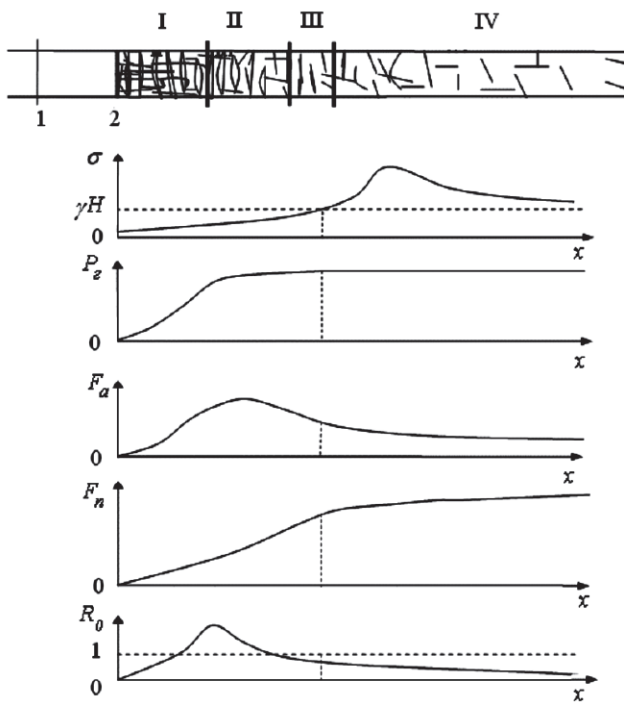


Fig. 2. Parameters of gasdynamic condition in coal massif of potential outburst hazard when the face adjacent layer of coal is destroyed.
 Bild 2. Parameter des gasdynamischen Zustands im kohleführenden Gebirge mit potentiellm Ausbruchrisiko im Falle der Zerstörung der sich an die Abbaufront anschließenden kohleführenden Schicht.

The possibility of destruction in the face area of the massif is determined by active force to passive force ration in each individual system of cracks. At the same time the maximum value of this ration shall not necessarily coincide with the active force maximum value. This aspect is visually demonstrated in figure 2, which shows the character of variations in areas I-IV depending on the distance to the face x , parameters which determine gasdynamic stability of the seam's face area: stresses in the massif σ , gas pressure in the seam P_2 , force F_a arising from the pressure applied by free gas on the cracks' walls and directed towards the mine opening (value average for the closed loop hydrodynamic system of cracks), F_n limit force counteracting the above force and F_a/F_n ration indicated with R_0 on the figure. As shown in the figure, the maximum value of F_a can exceed significantly the value of F_n in the adjacent area located closer to the face because the gas pressure in this area is decreasing by a quite small value in the direction of the face, while the surface of cracks' systems quaziparallel to the face is even increasing. At the same time the counteracting limit force can go down by a significantly greater value due to the more sharp decrease of stresses in such area, thus reducing strength of the coal in the direction of the coal crop, and thinning of the resisting coal layer, and F_a/F_n ration here can be higher in the section where the maximum active force is applied.

If the face is in a quiescent state, i.e. no physical impact has effect on the massif, then a quick coal spall due to the exceedance of the active force over the passive one shall be practically impos-

bruchsbereit“. Durch die Energieübersättigung ist es in gewisser Weise „übermäßig angespannt“, und selbst eine geringfügige Einwirkung, in diesem Fall die Einbringung einer kleinen Bohrung, kann eine Gegenreaktion in Form eines Kohle- und Gasausbruchs zur Folge haben. Es ist, als ob man eine Nadel in einen Ballon steckt, was unausweichlich dazu führt, dass der Ballon platzt. In diesem Fall kann ein Ausbruch nur verhindert werden, wenn schon frühzeitig und in ausreichender Entfernung ausbruchsverhindernde Maßnahmen im Bereich des Kohlestoßes vorgenommen werden.

Die im Nahbereich der Oberfläche des Gebirgskörpers (Ortsbrust/Strebfront) in der Vor-Ausbruchsphase stattfindenden Abläufe werden mit dem Begriff „Sättigung mit Ausbruchenergie“ (5, 6) bezeichnet. Je höher die Gasbeaufschlagung, desto mehr Risse öffnen und füllen sich mit komprimiertem Gas und desto größer die Ausprägung aller einzelnen Phasen des Kohle- und Gasausbruchs im Falle eines tatsächlichen Eintritts des Ausbruchs.

Die Möglichkeit einer Zerstörung im Bereich des Kohlestoßes wird durch das Verhältnis von aktiven Kräften zu passiven Kräften in den einzelnen Rissformationen bestimmt. Dabei fällt der Maximalwert dieses Verhältnisses nicht notwendigerweise mit dem jeweiligen Höchstwert der aktiven Kräfte zusammen. Dieser Aspekt wird visuell in Bild 2 dargestellt. Dort werden die Reaktionstypen in den Bereichen I-IV in Abhängigkeit von deren Entfernung zum Kohlestoß x dargestellt; d. h. Parameter, die die gasdynamische Stabilität im Abbaufontbereich des Flözes bestimmen: Gebirgsspannungen σ , Gasdruck im Flöz P_2 , die Kraft F_a , die aus von freiem Gas auf die Risswände erzeugtem und in Richtung Grubenraum verlaufendem Druck resultiert (Durchschnittswert des geschlossenen hydrodynamischen Rissystems), der Grenzwert der als Gegenkraft zur obigen Kraft wirkenden Kraft F_n , und das Verhältnis F_a/F_n , in der Abbildung als R_0 angegeben. Wie in der Abbildung gezeigt, kann der Höchstwert von F_a den Wert von F_n in einem benachbarten, näher an der Abbaufont liegenden Bereich deutlich übersteigen. Der Grund dafür ist, dass der Gasdruck hier in Richtung Abbaufont um einen recht geringen Wert abnimmt, während die Oberfläche des quasi parallel zur Abbaufont verlaufenden Rissystems weiter zunimmt. Gleichzeitig kann die gegenläufige Grenzkraft wegen der stärker abnehmenden Belastungen in diesem Bereich um einen signifikant höheren Wert sinken, wodurch die Festigkeit der Kohle in Richtung Abbaufont abnimmt und die kohleführende Schicht dünner wird; hier kann das Verhältnis F_a/F_n in dem Abschnitt größer sein, in dem die höchste aktive Kraft einwirkt.

Befindet sich die Abbaufont im sogenannten „ruhenden“ Zustand, d. h. keine physikalischen Kräfte wirken auf das Gebirge ein, ist ein schnelles Abplatzen von Kohle aufgrund der die passiven Kräfte übersteigenden aktiven Kräfte praktisch unmöglich, denn es wären bedeutende Energiemengen erforderlich, um neben der Abbaufont eine signifikante Menge entgaster Kohle zu bewegen. Gleichzeitig und wenn in der Entfernung x von der Abbaufont die aktive Kraft größer ist als die passive und eine auch nur geringe potentielle Energie entsteht, wird diese aufgrund der minimalen Verschiebung der Kohlemasse sofort in kinetische Energie umgewandelt. Dadurch wird der Überschuss der aktiven Kraft gegenüber der passiven Kraft unmittelbar geringfügig reduziert, weil die Rissgröße zu- und der Druck des flüchtigen Gases abnimmt. Außerdem nimmt die Gasdesorption in diese Risse zu, der Gasdruck wird wiederhergestellt und die aktive Kraft über-

sible because it would require a significant energy to move a significant mass of degassed coal adjacent to the face. At the same time, if the active force in distance x from the face slightly exceeds the passive one and some small potential energy appears, then it will be immediately converted into the kinetic energy due to the tiny displacement of the coal mass. This will result in immediate reduction of the active force by a small value of its exceedance over the passive force due to increase in the cracks gaping and decrease of the free gas pressure inside them. Besides, gas desorption to these cracks will rise up, gas pressure will be restored, and the active force will exceed the passive one again. But then again the displacement will occur reducing the active force back.

Excitation condition of coal and gas outburst

Beginning of the coal and gas outburst is induced by distortions and distraction at the stope heel in process of punching the working tool in unworked coal. At this moment the gas-stressed condition of the seam is changing sharply. The roadhead is moving from position 1 to position 2 (Figure 1, 2).

Stresses at the seam edge will grow sharply effecting intensive distortion and deterioration thereof until the stresses are lowered down to the value which the partially deteriorated coal can bear. The main part of the distortions is known to happen practically in an instance, in a split second. The stress curve moves to the new position corresponding to another position of the face. Gas pressure in contact with the free surface drops down to zero, while the gas pressure curve in the face area is changing slowly, as the gas is being drained to the mine opening rather slowly. In at least few minutes after the mine opening has been shifted to the new position a very high gas pressure gradient is created. Nearby the face the active force grows rapidly, while the passive force, to the contrary, is decreasing sharply as seen from comparison between figures 1 and 2.

In the seam part adjoining the face of the massif prepared for the outburst the active force will exceed the passive one significantly. Contrast to the preparatory stage, here the potential energy conditioned by this exceedance can be big enough to move a mass of coal over a significant distance, measurable in meters. This results in shifting of a V-layer of coal between the face and some nearby system of cracks (let us call it "the outbursts initiating crack system), where the maximum F_a/F_p ratio has been reached to initiate the coal and gas outburst.

The process of movement and to a great degree deterioration of coal is accompanied by sharp increase of gas desorption due to formation of the new crop surfaces in the energy saturated coal massif and increase of the massif's cavitation. Together they condition the following outburst stages: layer by layer detachment of coal, gas fragmentation of the stopes and pieces detached from the massif, generation of gas and coal flow in the mine opening.

Inequity (1) is the necessary condition for excitation and progress of the coal and gas outburst. However, satisfaction of this inequity does not mean that this phenomenon will occur necessarily.

V. V. Khodot has laid down two more conditions for occurrence of the outburst (1):

- The coal deterioration rate v_p must exceed the gas pressure drop rate in the coal cracks v_d .

steigt wieder die passive Kraft. Danach findet jedoch eine weitere Verschiebung statt und die aktive Kraft sinkt wieder.

Anregungsbedingung für einen Kohle- und Gasausbruch

Der Beginn des Kohle- und Gasausbruchs wird während des Eindringens des Abbaumeißels in die anstehende Kohle durch Verwerfungen und Ablenkung im Bereich der Gewinnungsoberfläche eingeleitet. Zu diesem Zeitpunkt ändert sich der Gasbelastungszustand des Flözes dramatisch. Der oberflächennahe Bereich bewegt sich von Position 1 zu Position 2 (Bilder 1, 2).

Die Belastungen an der Flözoberfläche nehmen stark zu und lösen dort intensive Verwerfungen und Verspannungen aus, bis die Belastung auf den Wert gestiegen ist, den die teilweise verschlechterte Kohle tragen kann. Es ist bekannt, dass der Hauptanteil der Verwerfungen praktisch im Bruchteil einer Sekunde erfolgt. Die Belastungskurve wird dabei auf eine neue Position in der Flözfront verschoben. Der Gasdruck an der freien Oberfläche geht auf Null zurück, während sich die Gasdruckkurve im Strebstoß langsam verändert, da das Gas relativ langsam in Richtung Grubenraum abfließt. Innerhalb weniger Minuten nach Neupositionierung der Strebfront im Grubenraum wird ein sehr hoher Gasdruckgradient erzeugt. In der Nähe des Kohlestoßes nimmt die aktive Kraft schnell zu, während die passive Kraft im Gegensatz dazu dramatisch abnimmt, wie man im Vergleich der Bilder 1 und 2 sehen kann.

Die aktive Kraft im Flözstoß eines vor einem Ausbruch stehenden Gebirges ist signifikant höher als die passive Kraft. Im Gegensatz zur Vorphase kann die durch diesen Überschuss bedingte potentielle Energie ausreichen, um eine Kohlemasse über eine signifikante, in Metern messbare Distanz zu bewegen. Das führt zur Verlagerung einer V-Kohleschicht zwischen dem Kohlestoß und einem nahe gelegenen Rissystem – nennen wir es das „ausbruchauslösende Rissystem“ – bei dem das maximale Verhältnis von F_a/F_p , erreicht wird und der Kohle- und Gasausbruch eingeleitet wird.

Der Prozess der Bewegung und weitgehenden Verschlechterung des Kohlegefüges geht mit einem Anstieg der Gasdesorption durch Bildung neuer Gewinnungsoberflächen im energiegesättigten kohleführenden Gebirge und einem Anstieg der Hohlraumbildung im Gebirge einher. Zusammen bilden sie die Voraussetzungen für die folgenden Ausbruchphasen: schichtweise Ablösung von Kohle, Gasfragmentierung der Flözschichten und sich vom Gebirge lösende Stücke, Entstehung von Gas- und Kohleströmen in Richtung des Grubenraums.

Ein Ungleichgewicht (1) ist die notwendige Voraussetzung für die Überspannung und Entwicklung des Kohle- und Gasausbruchs. Ein vorhandenes Ungleichgewicht bedeutet jedoch noch nicht, dass dieses Phänomen notwendigerweise auch eintritt.

V. V. Khodot hat zwei weitere Bedingungen für den Ausbruchseintritt formuliert (1):

- Die Kohleverschlechterungsrate v_p muss die Gasdruckabfallrate in den Kohlerissen v_d übersteigen.
- Bis zu dem Moment, in dem die Verschlechterung beendet ist, muss der Gasdruck weiterhin höher sein als der Widerstand der verschlechterten Kohle gegen den Ausbruch.

- By the moment when deterioration has finished the gas pressure must preserve the level higher than resistance of the deteriorated coal to the outburst.

Let us consider all the three coal and gas outburst occurrence and development conditions as stated by V. V. Khodot from the view point of possible application in evaluation of the outburst hazard in the current prediction.

The calculations made as per the manual (7) have shown that normally at the depth over 200-300m below datum during excavation of highly gaseous seams (approximately over 10 m³/t) condition (1) is satisfied. But satisfaction of condition (1) does not allow to declare possibility of the outburst, as two more conditions must be satisfied. However, the first one of these conditions, being notionally symbolic, is inapplicable in practice, because v_p and v_d are physically incomparable.

The second condition is expressed by V. V. Khodot as:

$$P_2 = \frac{m}{S} [g(f \cos \alpha \pm \sin \alpha) + v] \quad (2)$$

where P_2 is the gas pressure at the coal deterioration front; m is the mass of the deteriorated coal; S is the cross sectional area of the deteriorated coal stope; g is acceleration of gravity; f is the friction factor for coal movement along its slip surface; α is the coal slip surface tilt angle; v is the acceleration required to detach the coal.

It should be remarked that the parameters included in formula (2), except g and α , can not be known beforehand and, consequently, occurrence of the outburst can not be predicted.

Thus, the conditions obtained by V. V. Khodot do not allow to proceed with the evaluation of the outburst hazard in specific conditions of face advance and, hence, current predication of the outburst hazard.

Besides, the following should be remarked. Energy condition (1) suggests the value of potential energy which must be possessed by the massif for excitation and development of the coal and gas outburst. However, the outburst is a multi-staged process. The first stage is a preparatory one. On this stage the massif is being saturated with energy in the outburst influence area as described in the beginning hereof. The second stage is possible when the energy in the massif is enough to move the part of the massif adjoining the face between the first developed crack system and the new location of the face. The third stage which is a layer by layer detachment of coal from the massif is possible when the super-multilayer system of cracks quaziparallel to the face and filled up with pressurized free gas is sufficiently saturated with energy. The fourth stage which is a fracturing of the stopes and pieces of coal formed in course of the coal layers detachment from the massif shall be realized under sufficient gradient of the internal gas pressure in them. The fifth stage is a formation of the gas and coal flow through the mine opening and its intensity is proportional to the kinetic energy of the outburst products moving through the mine opening. Only the final stage of this phenomenon would not require additional energy because it is a termination of the outburst process due to exhausting of energy from the active face part of the massif.

Betrachten wir alle drei von V. V. Khodot für den Eintritt und die Entwicklung eines Kohle- und Gasausbruchs formulierten Voraussetzungen unter dem Aspekt einer möglichen Nutzung zur Einschätzung des Ausbruchsrisikos in der aktuellen Prognose.

Die Berechnungen gemäß Handbuch (7) haben gezeigt, dass normalerweise während des Abbaus stark gasführender Flöze (etwa mehr als 10 m³/t) in einer Teufe von 200 bis 300 m die angegebene Bedingung (1) erfüllt ist. Allein die Erfüllung von Bedingung (1) erlaubt es jedoch nicht, die Möglichkeit des Ausbruchs vorherzusagen, weil zwei weitere Bedingungen erfüllt sein müssen. Zumal die erste dieser Bedingungen eher symbolisch und in der Praxis nicht anwendbar ist, weil v_p und v_d physikalisch nicht vergleichbar sind.

Die zweite Bedingung wird von V. V. Khodot wie folgt ausgedrückt:

$$P_2 = \frac{m}{S} [g(f \cos \alpha \pm \sin \alpha) + v] \quad (2)$$

wobei P_2 der Gasdruck an der gestörten Abbaufont; m die Masse der beeinflussten Kohle; S der Querschnitt des beeinflussten Kohleabbauorts; g die Zunahme des spezifischen Gewichts; f der Reibungsbeiwert für die Kohlebewegung entlang der Abrutschfläche; α der Neigungswinkel der Rutschfläche der Kohle; und v die erforderliche Beschleunigung zur Ablösung der Kohle sind.

Es ist allerdings festzustellen, dass die in Formel (2) enthaltenen Parameter mit Ausnahme von g und α im Voraus nicht bekannt sein können und daher das Eintreten des Ausbruchs nicht prognostiziert werden kann.

Daher erlauben es die von V. V. Khodot formulierten Bedingungen nicht, eine Einschätzung des Ausbruchsrisikos unter den speziellen Bedingungen des Abbaufortschritts und somit eine aktuelle Prognose des Ausbruchsrisikos vorzunehmen.

Außerdem ist die folgende Tatsache zu bedenken. Die Energiebedingung (1) gibt den Wert der potentiellen Energie an, die im Gebirge für eine Anregung und Entwicklung eines Kohle- und Gasausbruchs vorhanden sein muss. Beim Ausbruch handelt es sich aber um einen mehrstufigen Prozess. Bei der ersten Stufe handelt es sich um eine Vorphase. In dieser Phase wird das Gebirge im Bereich der Ausbruchseinflusszone, wie bereits oben dargestellt, mit Energie gesättigt. Die zweite Phase tritt ein, sobald die Energie im umgebenden Gebirge ausreicht, um den Gebirgsteil neben der Abbaufont zwischen dem ersten entwickelten Rissystem und der neuen Oberfläche zu bewegen. In der folgenden dritten Phase tritt eine schichtweise Ablösung der Kohle aus dem Gebirge ein, sobald das überlagernde Mehrschichtsystem mit quasi parallel zur Abbaufont verlaufenden Rissen eine ausreichende Energiesättigung aufweist. Die vierte Phase führt zu einem Bruch der Schichtstrossen und zur Ausbildung von Kohlestücken während der Ablösung der Kohleschichten aus dem Gebirge, sobald der Gasdruckgradient in diesen Schichten ausreichend hoch ist. Die fünfte Phase umfasst die Bildung von Gas- und Kohleströmen durch den Grubenraum, deren Intensität proportional zur kinetischen Energie der Ausbruchprodukte ist, die sich durch den Grubenraum bewegen. Nur die letzte Phase dieses Phänomens erfordert keine zusätzliche Energie, denn es handelt sich um das Abklingen des Ausbruchs, da die Energie im aktiven Abbaufontbereich des Gebirges erschöpft ist.

Wir wissen, dass unter ungefähr identischen Bedingungen

We know that under conditions being approximately same the coal and gas outbursts may either occur or not occur. This allows to suggest that satisfaction of condition (1) and coal and gas outburst occurrence are quite widely separated events. This issue is quite explainable from the points of the outburst energy saturation process in the face area of the massif as described above. The problem is that for development of the outburst the unworked coal in the mine opening influence area must have not only the required energy but also conditions for the outburst development at each stage of the phenomenon.

If such conditions totally do not exist the phenomena would never occur. Only some stages of the phenomenon provided with energy and respective conditions for realization at the said stages can be observed.

Areas for improving the current predication of outburst hazard

For the current predication of the outburst hazard it would be sufficient to establish timely the possibility of the outburst progress up to its second stage. This stage is possible when the system of intensively developed cracks quaziparallel to the face and filled with pressurized free gas is already existing. Such system must be sufficiently saturated with energy already to make a coal spall happening.

Besides the outburst excitation and development conditions as established by V. V. Khodot, there are also conditions established in many years of researching these phenomena. Three of them are used directly in the functioning method for the current predication of the outburst hazard of a seam.

The first one is specific to the coal seam texture in the mine opening area. The coal and gas outbursts take place when tectonical deformation of the coal texture is there. At the same time the maximum normal thickness of a band or a cluster of the adjacent bands in this texture must be at least of critical value. In Kuzbass coal mines it makes 20 cm, and 10 cm in Pechora basin.

The second one. Strength of a band or a cluster of the adjacent bands in the tectonically deformed coal q as measured by strength meter P-1 (8-patent) must not exceed 75 (measured in conventional units). Normally they are lens shaped structures with earthy and an acinose texture (7).

The third one. The maximum initial rate of outgassing from the 1 m long intervals between test holes g_H shall be at least 4 l/min.

The seam area should be considered outburst-prone only when all three of the above conditions are suggesting that.

The method of current predication of the outburst hazard by the seam texture and initial rate of outgassing from the test holes as based on the regulatory documents allows to establish the areas where manifestation of the outburst hazard is possible. When undercut forward in the direction of the mine opening with holes the structures would release the gas intensively as recorded by the gas flow meters. By the gas flow value the area shall be classified as the outburst hazardous or unhazardous. However, in predictions the unhazardous areas are frequently classified as dangerous ones because the high level of outgassing can be recorded not only due to intensive development of cracks quaziparallel to the face but also due to high gas content and high gas perme-

Kohle- und Gasausbrüche entweder eintreten oder auch nicht eintreten können. Das lässt die Annahme zu, dass die Erfüllung von Bedingung (1) und der Eintritt eines Kohle- und Gasausbruchs recht deutlich voneinander getrennte Ereignisse sind. Diese Frage kann – wie bereits beschrieben – mit Hilfe des Energiesättigungsprozesses des Gebirges an der Abbaufont zum Zeitpunkt des Ausbruchs gut erklärt werden. Das Problem besteht darin, dass zur Entwicklung des Ausbruchs die unverritzte Kohle im Einflussbereich des Grubenraums nicht nur die erforderliche Energie enthalten muss, sondern dass auch in jeder Phase des Phänomens die Bedingungen für die Ausbruchsentwicklung erfüllt sein müssen.

Liegen derartige Bedingungen insgesamt nicht vor, tritt ein Ausbruch niemals ein. Es können ausschließlich vereinzelte Phasen der Energieanreicherung und die jeweiligen Eintrittsbedingungen in den entsprechenden Phasen beobachtet werden.

Verbesserungsmöglichkeiten der aktuellen Ausbruchsriskoproggnose

Zur aktuellen Ausbruchsriskoproggnose wäre es ausreichend, frühzeitig den möglichen Fortschritt eines Ausbruchs bis zur zweiten Phase festzustellen. Diese Phase kann entstehen, wenn ein System von intensiv entwickelten, quasi parallel zur Abbaufont verlaufenden und mit komprimiertem freiem Gas gefüllten Rissen bereits vorhanden ist. Ein derartiges System muss bereits ausreichend energiegesättigt sein, um zu einer Kohleabplatzung zu führen.

Neben den von V. V. Khodot ermittelten Bedingungen für die Ausbruchsanzugung und -entwicklung gibt es weitere, in vielen Jahren der intensiven Forschung ermittelte Bedingungen. Drei davon fließen direkt in die Methodik der aktuellen Ausbruchsriskoproggnose eines Flözes ein.

Die erste Bedingung bezieht sich spezifisch auf die Textur des Kohleflözes im Bereich des Grubenraums. Kohle- und Gasausbrüche ereignen sich, wenn eine tektonische Störung der Kohletextur vorliegt. Gleichzeitig muss die maximale Normaldicke einer Schichtung oder eines Schichtpaketes mit dieser veränderten Textur mindestens den kritischen Wert erreichen. In den Kuzbass-Kohlegruben beträgt er 20 cm, und 10 cm im Pechora-Becken.

Bedingung 2: Die Festigkeit einer Schichtung oder eines Schichtpaketes in der tektonisch verformten Kohle q – wie vom Festigkeitsmessgerät P-1 (8-Patent) gemessen – darf den Wert 75 nicht übersteigen (in konventionellen Einheiten gemessen). Normalerweise handelt es sich um linsenförmige Strukturen mit einer erdigen und körnigen Textur. (7).

Bedingung 3: Die maximale anfängliche Ausgasungsrate aus den jeweils 1 m langen Abschlügen zwischen den Testbohrlöchern g_H muss mindestens 4 l/min betragen.

Der Flözbereich sollte nur dann als ausbruchsanfällig betrachtet werden, wenn alle drei Bedingungen darauf schließen lassen.

Die aktuelle Ausbruchsriskoproggnose auf Grundlage der Flöztextur und die anfängliche Ausgasungsrate aus den Testbohrlöchern gemäß Angaben in bergtechnischen Vorschriften ermöglichen eine Ermittlung der Bereiche, in denen sich das Ausbruchsrisiko möglicherweise manifestieren könnte. Würden diese nach vorn in Richtung des Grubenraums mit Löchern hinterbohrt, würden die Strukturen intensiv Gas freisetzen. Dies würden Messgeräte für den Gasvolumenstrom entsprechend anzeigen. Je nach Gasvolumenstrom wird der Bereich als ausbruchgefährdet oder nicht gefährdet

ability of the massif, where significant pressure of free gas in the mine opening influence area is not built and the outbursts are not threatening. That is why the additional parameters are required to distinguish between two types of areas considered.

A meaningful step to increasing of the current prediction accuracy was made by development of the outburst hazard factor, where instead of the maximum measured initial rate of outgassing in the intervals between the test holes the gradient of corrected initial outgassing rate along the hole length was used (5, 6):

$$B = \frac{cm_{\theta}(g^{*}_{H,max} - g^{*}_{H,\theta})}{f_{\theta}l_{g^{*}}}, \quad (3)$$

where c is a constant factor, min./l ; m_{θ} is a thickness of the potentially outbursting band (a cluster of adjacent bands) in the drilling points, m ; f_{θ} is M. M. Protodyakonov scale of hardness for the given band (a cluster of adjacent bands) in the same points; $l_{g^{*}}$ is a distance to the middle of $g^{*}_{H,max,M}$ hole.

This factor when applied rises the current outburst prediction accuracy about 2 times due to rejection of the practically unhazardous areas which otherwise would be classified as outburst hazardous in the prediction. However, further increase in the prediction accuracy is required to reduce the costs of excessive anti-outburst measures.

In process of the outburst hazard evaluation in the current prediction it is required to use some additional parameter for saturation of the massif with energy. First, here the gas pressure measurements in the areas of intensive cracking as determined by the interval values for the initial outgassing can be applied. This would rise accuracy in determination of the outburst hazardous areas, because the high pressure of gas with high maximum of the initial outgassing in many cases would suggest presence of the developed crack system filled with pressurized gas.

Gas pressure in the seam is one of the outburst hazard determinants. Beginning of the phenomenon's second stage, which is of highest interest, according to (6), can be expressed as follows:

$$\frac{P_x S_x \lambda_x \pm \gamma S_x X \sin \alpha}{\prod_x \int_0^x \tau_{\pi} d_x} \geq 1 \quad (4)$$

where P_x is an excessive gas pressure in the distance of X from the face; S_x is a cross sectional area of the potentially outburst-prone coal band; \prod is the band's perimeter; λ_x is a porosity of the coal band in the face parallel plane in the distance of X from the face; τ_{π} are stress tangent lines along perimeter \prod of the band; γ is a density of coal in the band; α is a tilt angle between the mine opening and horizon; X is a distance to the face.

To measure the gas pressure the operational method based on pre-calculation of gas pressure in the measurement chamber by pumping of water into this chamber (9) and the dedicated device (10). Application of this method decreases the time spent for measuring the seam gas pressure by two orders of magnitude down to 15 to 30 min.

The current predication of the outburst hazard of a seam improved this way seems to be rather challenging. First, an en-

gestuft. In den Prognosen werden jedoch die nicht gefährdeten Bereiche häufig als gefährdet eingestuft, da die Ausgasungsintensität nicht nur auf Grund einer schnellen Entwicklung von quasi parallel zur Abbaufont verlaufenden Rissen, sondern auch auf Grund von hoher Gaskonzentration und -durchlässigkeit des Gebirges gemessen wird. Im letzteren Fall baut sich aber kein signifikanter Druck durch freies Gas im Einflussbereich des Grubenraums auf und es drohen auch keine Ausbrüche. Aus diesem Grunde sind zusätzliche Parameter erforderlich, die eine Unterscheidung zwischen den beiden betrachteten Bereichstypen erlauben.

Ein aussagekräftiger Schritt zur Erhöhung der aktuellen Prognosegenauigkeit erfolgte durch die Entwicklung des Ausbruchsriskofaktors, bei dem anstelle der gemessenen höchsten anfänglichen Ausgasungsrate in den Abständen zwischen den Prüfbohrlöchern der Gradient der korrigierten anfänglichen Ausgasungsrate entlang der Bohrlochlänge verwendet wurde (5, 6):

$$B = \frac{cm_{\theta}(g^{*}_{H,max} - g^{*}_{H,\theta})}{f_{\theta}l_{g^{*}}}, \quad (3)$$

wobei c eine Konstante, min./l ; m_{θ} die Mächtigkeit einer Schicht (eines Pakets benachbarter Schichten) mit Ausbruchspotential an den Bohrungsstellen, m ; f_{θ} die von M. M. Protodyakonov entwickelte Härteskala der jeweiligen Schicht (eines Paketes benachbarter Schichten) an denselben Punkten und $l_{g^{*}}$ die Entfernung bis zur Mitte des Bohrloches $g^{*}_{H,max,M}$ sind.

Wird dieser Faktor eingesetzt, steigt die derzeitige Ausbruchprognosegenauigkeit etwa um das Doppelte, weil die praktisch ungefährdeten Bereiche herausfallen, die sonst in der Prognose als ausbruchgefährdet eingestuft werden würden. Eine weitere Erhöhung der Prognosegenauigkeit ist jedoch erforderlich, um die Kosten für übermäßige Schutzmaßnahmen gegen einen Ausbruch zu reduzieren.

Im Prozess der Ausbruchsriskoschätzung der aktuellen Prognose ist es erforderlich, einige weitere Parameter zur Energiesättigung des Gebirges zu verwenden. Zunächst können hier die anhand der anfänglichen in den Bohrlochabständen gemessenen Ausgasungswerte in den Bereichen mit intensiver Rissbildung eingesetzt werden. Damit würde die Ermittlungsgenauigkeit bei den ausbruchgefährdeten Bereichen erhöht, weil hoher Gasdruck zusammen mit einem hohen anfänglichen Ausgasungsmaximum in vielen Fällen auf die Tatsache hinweist, dass ein bereits entwickeltes System von mit komprimiertem Gas gefüllten Rissen vorhanden ist.

Der Gasdruck im Flöz ist einer der Parameter für das Ausbruchsrisiko. Der Anfang der besonders interessanten zweiten Phase des Phänomens kann gemäß Ungleichung (6) wie folgt ausgedrückt werden:

$$\frac{P_x S_x \lambda_x \pm \gamma S_x X \sin \alpha}{\prod_x \int_0^x \tau_{\pi} d_x} \geq 1 \quad (4)$$

wobei P_x ein übermäßiger Gasdruck in der Entfernung X von der Abbaufont; S_x ein Querschnittsbereich des potentiell ausbruchsanfälligen Kohlestreifens; \prod_x die Außengrenze des Streifens; λ_x

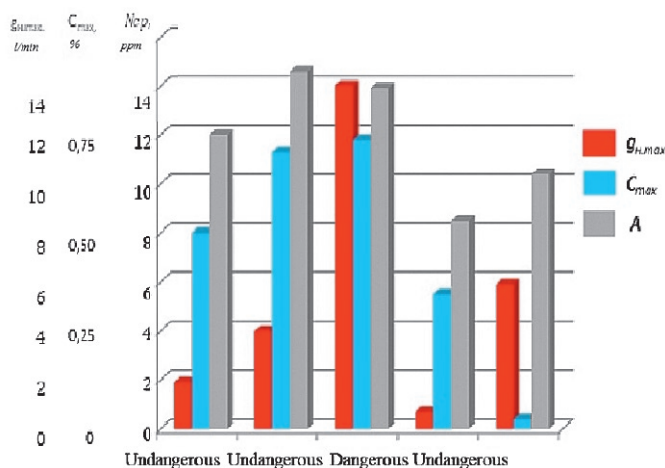


Fig. 3. Measurement of outburst hazard parameters as the outburst-prone area is approached and crossed

Bild 3. Messung der Ausbruchsriskoparameter bei Vordringen in und Kreuzen des ausbruchgefährdeten Bereichs

counter with the outburst-prone coal structure in process of bed mining is rather infrequent phenomenon. In absence of such structure the seam area being mined is considered outburst un-hazardous. I.e. in such areas only the seam texture monitoring to confirm, that it is still un-hazardous, is required. Such monitoring would require continues observation of the face by the gedynamic phenomena mitigation group with taking coal bands strength measurements every 4 m. This would not take much time in the mining work cycle.

Nevertheless, with parallel measurements of initial outgassing rate and gas pressure in the seam the areas with high gas content and just good gas permeability and none of the developed system of specific cracks can be classified as outburst hazardous. Besides, in the described predication of the outburst hazard the above mentioned special energetic condition of the area with intensive cracking is not recorded. The massif will be "armed" for the outburst only when that very system of cracks quaziparallel to the face, permanently moving and filled with pressurized gas is located ahead of the face.

Accordingly, some of the interesting results obtained in measuring of electromagnetic emission (EMI) activity N_{cp} , which is an average number of EMI pulses per minute occurring in the massif near by the face should be noticed. The results of such measurements have shown that activity of electromagnetic emission together with the standard indicator $g_{n,max}$ and maximum value of methane content on the mine opening face C_{max} would signal invasion in the hazardous area, where $g_{n,max} \geq 6$. At the same time the maximum value of EMI activity has been obtained before the maximum value of the initial outgassing, which is measured in the test holes drilled ahead of the face, i.e. 5 to 6 m ahead of the EMI measurement point (Figure 3).

Considering the above, this can be explained by the fact that even before invading the outburst-prone area the instrument would detect EMI pulses, conditioned by high energy condition of the area with cracks quaziparallel to the face in process of intensive development and saturated with free gas, i.e. this way readiness of the area to starting the outburst is registered.

die Porosität des Kohlestreifens in der parallel zur Abbaufont verlaufenden Ebene in Entfernung X vom Kohlestoß; τ_t Tangentialkurven der Belastung entlang der Außengrenze Π des Streifens; γ die Kohledichte im Streifen; α ein Neigungswinkel zwischen dem Grubenraum und dem Horizont und die X Entfernung zur Abbaufont sind.

Zur Messung des Gasdrucks setzt die betriebliche Methode auf die Vorausberechnung des Gasdrucks in der Messkammer, indem einerseits Wasser in diese Kammer (9) gepumpt wird und zum anderen entsprechende Spezialgeräte eingesetzt werden (10). Diese Verfahren verringern die zur Messung des Gasdrucks im Flöz erforderliche Zeit um den Faktor 2 auf 15 bis 30 Minuten.

Die aktuelle und so verbesserte Ausbruchsriskoprognose eines Flözes erscheint recht kompliziert. Zunächst ist ein Kontakt mit der ausbruchsanfälligen Kohlestruktur während des Flözabbaus ein recht selten eintretendes Phänomen. Ist eine solche Struktur nicht vorhanden, wird der anstehende Flözbereich als nicht ausbruchgefährdet eingestuft. D.h., in diesen Bereichen reicht eine Überwachung der Flöztextur aus, um eine zukünftige Gefährdung auszuschließen. Eine solche Überwachung würde eine kontinuierliche Beobachtung des Flözes durch die Experten-gruppe zur Minderung geodynamischer Phänomene sowie die Ermittlung der Festigkeit von Kohlestreifen im Abstand von jeweils 4 m erfordern. Dies würde im Arbeitsablauf der Grube nicht viel Zeit in Anspruch nehmen.

Trotzdem können mit Parallelmessungen der anfänglichen Ausgasungsrate und des Gasdrucks im Flöz die Bereiche mit hoher Gaskonzentration, mit nur ausreichender Gasdurchlässigkeit und ohne ein entwickeltes System spezieller Risse als ausbruchgefährdet klassifiziert werden. Zudem werden bei der beschriebenen Prognose des Ausbruchsriskos die oben genannten speziellen energetischen Bedingungen des Bereichs mit intensiver Rissbildung nicht aufgezeichnet. Das Gebirge ist für den Ausbruch nur „scharf gestellt“, wenn dieses spezielle System von quasi parallel zur Abbaufont verlaufenden, sich ständig bewegend und sich mit komprimiertem Gas füllenden Rissen vor dem Kohlestoß liegt.

Entsprechend sollten einige durchaus interessante Ergebnisse, die aus der Messung der Aktivität elektromagnetischer Störungen (EMI) N_{cp} resultieren, die als durchschnittliche Anzahl der EMI-Impulse pro Minute im Gebirge in der Nähe der Abbaufont definiert sind, in die Betrachtung mit einbezogen werden. Die Ergebnisse derartiger Messungen haben gezeigt, dass die Aktivität elektromagnetischer Störungen zusammen mit dem Standardindikator $g_{n,max}$ und einem Höchstwert C_{max} für den Methangehalt im Streib auf einen Übergang in den gefährdeten Bereich schließen lässt, wenn $g_{n,max} \geq 6$ ist. Gleichzeitig wurde der Höchstwert der EMI-Aktivität schon vor dem Höchstwert der anfänglichen Ausgasung erreicht, der mittels vor dem Kohlestoß eingebrachten Prüfbohrungen, d.h. 5 bis 6 m vor dem Messpunkt der EMI-Aktivität, gemessen wurde (Bild 3).

Unter Berücksichtigung der obigen Ausführungen lässt sich das Phänomen eines Ausbruchs durch die Tatsache erklären, dass schon vor dem Übergang in den ausbruchgefährdeten Bereich das Messinstrument EMI-Impulse empfangen würde, die durch den stark energiegesättigten Zustand des Gebirges mit quasi parallel zum bearbeiteten Kohlestoß verlaufenden Rissen, die zu-

During the mass deterioration electromagnetic emission is a rather well known phenomenon (11, 12 e.a.). More or less it occurs during opening and growth of crack in process of the seam's face area saturation with the outburst's energy.

It would be reasonable to continue the studies in this direction. If this theory is proved, it will be possible to develop a much better and more accurate method for the current predication of the outburst hazard.

sätzlich mit freiem Gas gesättigt sind, ausgelöst werden. So kann registriert werden, dass dieser Bereich vor einem Ausbruch steht.

Während der Zunahme von Gebirgsstörungen sind elektromagnetische Störungen ein recht gut bekanntes Phänomen (11, 12 e.a.). Es tritt im Sättigungsprozess mit Ausbruchenergie mehr oder weniger während der Rissöffnung und -erweiterung im Bereich des Kohlestoßes im Flöz auf.

Weitere Studien in diese Richtung sind angezeigt. Könnte diese Theorie bewiesen werden, wäre es möglich, viel bessere und genauere Verfahren zur Prognostizierung von Ausbruchsrisiken zu entwickeln.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Khodot, V. V. (1961): Coal and gas outburst (Vnezapnie vibrosi uglia i gasa) – Moscow: Gosgortechizdat, 363p.
- (2) Petrosian, A. E., Ivanov, B.M., Krupenia, V. G. (1983): The theory of sudden outbursts (Teoria vnezapnich vibrosoy) – Moscow: Nauka, 152p.
- (3) Bolshinskiy, M. I., Lysikov, B. A., Kapluchin, A. A. (2003): Gasdynamic phenomena in coal mines (Gazodinamicheskie yavleniya v shakhtakh).
- (4) Petukhov, I. M., Linkov, A. M. (1983): Mechanic of bursting and emissions in coal mines (Mekhanika gornyx udarov i vibrosoy) – Moscow: Nedra, 280p.
- (5) Zykov, V. S. (2006): Industrial geodynamic. Teaching aid (Tekhnogenaiy geodinamika. Uchebnoe posobie) – Kemerovo: Federal Educational Institution of Higher Prof. Education Kuzstu – 266p.
- (6) Zykov, V. S. (2010): Coal and gas outburst and other gasdynamic phenomena in coal mines (Vnezapnie vibrosi uglia i gasa i drugie gasodinamicheskie yavleniya v shakhtakh) – Kemerovo: OOO "Firma POLIGRAF" – 334p.
- (7) Zykov, V. S., Feit, G. N., Zheltkov, I. V. and others (2002): Guidance on coal and gas outburst in working faces of coal mines. Vol. 2 cor. (Rukovodstvo po preduprezhdeniyu vnezapnich vibrosoy uglia i gasa v ochistnikh zaboyakh ugolnikh shakht. 2 izd.ispr.) – Kemerovo: OAO NC Vostnii – 34p.
- (8) Feit G. N., Zykov V. S., Kondakov, V. M. (2002): Measuring device for rock strength (Ustroystvo dlia izmereniya prochnosti gornikh porod) – Patent RF, Byulleten "Izobreteniya" No. 29.
- (9) Zykov V. S., Slavoliubov V. V., Osokin, Y. P. (1993): Determination method of true initial gas pressure in gas-bearing formation (Sposob

- opredeleniya istinnogo nachalnogo davleniya gasa v gasonasishchennom ugolnom plaste) – Patent RF, "Izobreteniya". No. 18. p70.
- (10) Zykov, V. S., Kondakov, V. M. (2007): Pressure measuring device for massif (Ustroystvo dlia zamera davleniya gasa v massive) – Utility patent, Byulleten "Izobreteniya" No. 18.
- (11) Kurleniya, M. V., Kulakov, G. I., Yakovitskaiya, G. E. (1991): Stging of destruction process on the basis of EMI radiation research (Stadiynost' protsessa razrusheniya na osnove issledovaniya EMI izlucheniya)- FTRPI. No. 1. – pp. 12–21.
- (12) Yakovitskaiya, G. E. (2003): The forecast of dynamic developing process of massif in virtue of EMI radiation signal registration (Prognoz dinamicheskikh proyavleniy massiva gornikh porod ha osnovanii pegistratsii signalov elektromagnitnogo izlucheniya) – Physical problems of rock failure. Collected papers of 3d International Scientific Conference, September 9-14. 2002. – Novosibirsk: Nauka. pp. 98–103.

Authors / Autoren

Prof. Dr.-Ing. Viktor Semenovich Zykov
«IC SB RAS»
10, Leningradskiy ave. Kemerovo, Russia 650065
zykovvs@icc.kemsc.ru.

Prof. Dr.-Ing. Hee Un Lee
JSC «SC VostNII»
3, Institutskaya st. Kemerovo, Russia 650002