

UDC 550-837,3

Kovalev N.I., Ph.D., Professor Associado

Pukhliy V.A., Doutor em Ciências Técnicas, Professor

Soldatova S.V., pesquisadora

Universidade Nacional de Energia

Nuclear e Indústria de Sebastopol,

Sebastopol, Ucrânia

SOBRE O MECANISMO DE FORMAÇÃO DE EXPLOSÕES VOLUMÉTRICAS E DETONAÇÃO DE GASES DE HIDROCARBONETOS EM MINAS DE CARVÃO

As questões de autoignição, explosão volumétrica e detonação de misturas de hidrocarbonetos gasosos em minas de carvão. Apresenta método para detectar áreas de acumulações de gases de hidrocarbonetos com alta pressão ($>100 \text{ kg/cm}^2$), jazidas de carvão subjacentes. Fez você-água sobre as causas das explosões volumétricas. São propostas medidas preventivas para prevenção de explosões volumétricas em minas de carvão.

Palavras-chave: camadas de carvão, processos de autoignição de misturas gasosas hidrocarboneto-hidrogênio, explosões volumétricas, detonação

Introdução. O problema de segurança em minas perigosas para metano é muito relevante. Todos os anos, em empresas de carvão devido a explosões de gás mineiros morrem, as operações de mineração de carvão são interrompidas por um longo período e são causados danos materiais significativos.

Em conexão com a mineração de carvão térmico em grandes profundidades, os casos de explosões volumétricas de gás tornaram-se mais frequentes, resultando na morte de um grande número de mineiros e destruição de equipamentos de mineração (Ucrânia, Rússia). Apesar de as empresas estarem a tomar medidas sérias para a desgaseificação abrangente das minas, sistemas mais avançados de prevenção explosões, explosões volumétricas não param. Análise de acidentes em minas de carvão minas da Ucrânia, realizada sob a orientação de um membro correspondente da AGN Ucrânia, Doutor em Ciências Geológicas E. Rudneva [1] mostra que os principais motivos são (a partir de uma análise de 46 acidentes):

1. Explosões com perda de vidas devido à entrada repentina nas obras grandes volumes de metano e hidrocarbonetos pesados (40 acidentes), ou morte pessoas de ferimentos e asfixia com gás (6 acidentes).

Isto só pode acontecer devido à abertura instantânea de áreas com alta pressão de gás sob jazidas de carvão durante o desenvolvimento das jazidas (as jazidas de carvão são perfuradas antes do desenvolvimento, há volumes de gás nelas com não pode estar sob alta pressão). Além disso, estas explosões não foram iniciado por uma faísca, e a mistura de gás acendeu espontaneamente, e depois explosões volumétricas e detonação.

2. A presença de tectônica muito complexa e diversificada - primária (clássica) e secundária (gravidade) em toda a área da mina

uma linha através da qual gás com altas pressões e temperaturas pode fluir de grandes profundidades ($>1,5 \div 3,0$ km). 3.

Quando gases de hidrocarbonetos entram na mistura vindos de grandes profundidades que contém metano e hidrocarbonetos mais pesados, que podem levar à ignição espontânea e explosão da mistura se entrar instantaneamente zona de produção de ar (em concentrações de metano muito inferiores a 5%).

Metas e objetivos da pesquisa científica. Os principais objetivos do estudo são:

- Verificação da eficácia de equipamentos geofísicos remotos complexo para detectar acumulações de gás localizadas sob camadas de carvão e em falhas geológicas, caracterizadas por valores de pressão elevados (> 10 KGs/cm²) e localizados em profundidades de até 3000 m.
- Determinação das rotas de migração de gases de grandes profundidades ou de fontes localizadas fora dos limites dos campos minados (minas em homenagem a A.F. Zasyadko - Ucrânia, 2008; Mina Erunakovskaya – VIII, – JSC OUK "Yuzhkuzbasugol", (2009); minas – Zarechnaya, Oktyabrskaya, Sibirskaia, Polysaevskaya (2011, Rússia).
- Pesquisa e delimitação de fontes de gás com altos valores de pressão e temperatura localizadas sob camadas de carvão e além fronteira de campos minados; • Medição dos valores de pressão e temperatura de gases em falhas geológicas e em áreas de acumulações de hidrocarbonetos gasosos, bem como da espessura de horizontes de gás localizados sob camadas de carvão, utilizando equipamento de campo remoto "Search".
- Determinação das causas das explosões volumétricas de gases e propostas para prevenção dessas explosões em minas produtoras de energia carvões valiosos em grandes profundidades.

Métodos de pesquisa. Os seguintes métodos de pesquisa foram utilizados no trabalho. 1.

Para cumprir rapidamente as tarefas atribuídas, foram utilizados métodos de exploração cosmogeológica remota e equipamentos de teste de ressonância de campo do complexo de detecção geofísica remota do subsolo "Poisk" (desenvolvido pela SNUYAEiP). O equipamento permite detectar remotamente fontes de acumulações de gás em profundidades de até 5 quilômetros, delinear-las e determinar a direção da migração do gás, o número de horizontes de gás, a pressão do gás em cada horizonte, além de identificar os tipos de rochas de gás -reservatórios permeáveis.

A base para a utilização do equipamento Poisk para esses fins foi o trabalho bem-sucedido de detecção de anomalias de gases com alta pressão de gás nos mesmos, localizadas sob os corpos de minério de uma mina de urânio (Mina Novokonstantinovskaya, Ucrânia), estudo de características de ocorrência anomalias de gás em rochas de xisto (Texas, EUA) e remotas

descoberta de campos industriais de petróleo e gás (Austrália, Indonésia, EUA, Rússia, Ucrânia, Mongólia). A obra foi executada por especialistas do

SNUYAEiP em conjunto com estruturas comerciais que estiveram envolvidas na execução da obra, bem como

o instituto principal do Ministério de Combustíveis e Energia da Ucrânia (UkrNIPromtekhologii e Centro de Pesquisa IGN da Academia Nacional de Ciências da Ucrânia (NASU). O sucesso destes

trabalhos é evidenciado pela conclusão do Instituto de Engenharia Civil da Academia Nacional de Ciências da Ucrânia em viabilidade de usar equipamentos complexos remotos

“Busca” para realização de trabalhos de prospecção e geológicos[9]. 2. O

uso de perfuração exploratória de poços para identificar acumulações de gás, determinar com precisão as profundidades dos horizontes de gás, pressões e temperaturas dos gases neles. Esses trabalhos foram realizados

especialistas de minas e estruturas geológicas de minas ou empresas especializadas envolvidas pelos Clientes na realização de prospecções perfuração

3. Prospecção eléctrica e outros métodos geofísicos tradicionais para pesquisa de anomalias de gás ou análise de materiais geológicos disponíveis em minas (realizado por SRC IGN NASU, Kiev) para confirmação (ou comparação) dos resultados da detecção remota de anomalias de gás para início da perfuração exploratória.

4. Modelagem matemática dos processos de autoignição, explosões volumétricas e detonação de misturas de gases e cálculos para estabelecer condições de contorno para a autoignição dessas misturas com diversos gases hidrocarbonetos em condições próximas às condições reais de gás condições nas minas de carvão. Realizado sob a orientação do Doutor em Ciências Técnicas, Professor do SNUYAEiP VA Pukhliy [2-7].

Durante o período deste trabalho, foi examinado o campo minado de uma mina de carvão em homenagem a Zasyadko (Ucrânia) com equipamento de teste ressonante de campo do complexo “Pesquisa” por especialistas do SNUYAEiP (Sevastopol) em conjunto com a empresa comercial MGSP (Donetsk) e o Centro de Pesquisa Científica IGN NASU, e também realizou trabalhos de pesquisa em 5 minas de carvão do OJSC OCC “Yuzhkuz-bassugol” (região de Kemerovo, Rússia) – somente por especialistas SNUYAEiP [10].

Identificação remota (reconhecimento) de anomalias de gás em nas entranhas da terra (até profundidades de 5 km) utilizando o equipamento do complexo “Poisk” foi realizado utilizando os fenômenos de ressonância de substâncias sob a influência da radiação de radiofrequência em átomos de elementos (espectroscopia NMR) incluídos em um tipos específicos de hidrocarbonetos (petróleo, gás) e rochas petrolíferas e gasosas.coletores nasais [8]. Para enviar radiação

ressonante de radiofrequência a grandes profundidades, foram utilizados geradores de radiação de micro-ondas com campo eletromagnético rotativo. Os espectros de ressonância de frequência de átomos de elementos químicos de referência de rochas reservatório (Ni, V, C, P, Si, S, etc.) e os espectros de energia de informação foram modulados para a frequência de operação do gerador de microondas.

três amostras de petróleo, metano e gases de hidrocarbonetos superiores (etano, propano, butano).

Os espectros de ressonância (espectros de RMN) dos átomos metálicos incluídos na composição das substâncias identificadas e selecionados como elementos de referência foram registrados em instalações de RMN com frequência de 60 MHz e 250 MHz [11, 13], e seus espectros de energia de informação das substâncias foram gravado em espectrofotômetro de absorção atômica (atomização de substâncias em um queimador de gás) com acessório sensível de ampla frequência.

Informações e espectros de energia para identificação de gases e rochas [14] foram transferidas para portadores magnéticos "funcionais" ("matrizes de trabalho"), e os espectros atômicos de metais para "matrizes de teste" e foram usados para excitação ressonante dessas substâncias nas entranhas da terra (até as profundezas 3 km). A excitação ressonante de substâncias foi realizada por exposição neles os sinais dos geradores de microondas modulados pela frequência do ressonante Espectros de RMN (atômicos) ou por frequência de energia de informação espectros da substância desejada.

Para estudar a composição elementar das rochas reservatório, utilizamos método de ativação de nêutrons para determinar a concentração de metais e não metais neles. Composição elementar de amostras de amostra e amplitudes de suas características espectrais integrais (medição de informação espectros) foram inseridos no banco de dados do complexo estacionário de Poisk e foram utilizados como sinais de reconhecimento de hidrocarbonetos e rochas reservatório (localizadas em profundidades de até 5.000 m) no processamento dos resultados do trabalho de

campo [15]. Para configurar o equipamento e confirmar a detecção remota (identificação) de tipos de hidrocarbonetos, antes do início dos trabalhos de campo, foram realizados testes em condições laboratoriais de equipamentos estacionários e portáteis do complexo Poisk para registro seletivo de amostras (amostras) de gás e amostras de tipos de rochas reservatório de diferentes distâncias (25 m e 50 m).

Em condições de campo, um sinal modulado é enviado da unidade de alta frequência do gerador de micro-ondas usando uma antena estreitamente direcional em um certo ângulo profundamente na Terra para ressonância remota perturbações dos átomos de um elemento de referência ou de toda a substância identificável. Neste caso, sobre a área do campo de hidrocarbonetos, um campo eletromagnético de alta frequência característico de um tipo específico hidrocarbonetos e rochas. Este campo eletromagnético é registrado por um dispositivo receptor sensível sintonizado na frequência de ressonância um átomo específico de um elemento de referência ou o espectro integral de uma substância (tipo de rochas, gás hidrocarboneto). Isto proporcionou a identificação seletiva remota de uma substância específica localizada em várias profundidades. Com base nos resultados da

decodificação de fotografias de satélite usando tecnologias radioquímicas [16], os limites dos contornos de áreas com anomalias de hidrocarbonetos são determinados nesta fotografia. Dados

os limites são esclarecidos em campo usando equipamentos móveis e receptores GPS, e então traçados em um mapa da área de busca. O

o método de delimitação é praticamente semelhante aos métodos de sensoriamento remoto aerospacial existentes, porém, a probabilidade de identificação prática do tipo de hidrocarbonetos (gases de hidrocarbonetos) utilizando os equipamentos do complexo Poisk aumenta acentuadamente (mais confiável 95%).

Equipamento de campo de teste de ressonância permite calcular a profundidade ocorrência de horizontes de gás, sua espessura e pressão de gás neles.

Resultados do trabalho. Ao inspecionar o campo minado de uma mina de carvão nomeado após Zasyadko (Fig. 1) descobriu-se que é atravessado de oeste para leste 3 falhas geológicas de “canal” com aumento de pressão de gás nelas e um de norte a sul [17].



Figura 1. Contornos de anomalias geolétricas da ATZ e limites de gás permeável "canais" no mapa topográfico da área de loteamento da mina de carvão

nomeado em homenagem a AF Zasyadko [17].

Seções verticais permeáveis a gases (pilares) estavam localizadas fora do campo minado ($1 \div 1,5$ km antes de sua fronteira) e localizadas em cada uma das 3 falhas ("canais"). A migração ocorreu através de todos os "canais" gás de oeste para leste, o que garantiu uma certa pressão de gás em cada canal da casa.

A largura dos “canais” variou de 40 a 80 m. Cada “canal” possuía 4 horizontes permeáveis a gases, representando fraturados arenito de granulação média ocorrendo em cada canal em profundidades de 410 m a 1690 m. A espessura dos horizontes contendo gás variou de 20 a 80 m, o excesso de pressão de gás nos horizontes (dependendo das profundidades) foi de 16 kgf/cm² (horizonte superior de 160 kgf/cm² (horizonte inferior). Gás horizontes estavam localizados sob camadas de carvão. Principal fonte de gás com alta pressão estava localizado fora do campo minado (5 km de ele). O gás dele entrou no campo minado através de 3 falhas que cruzaram o campo minado. Além disso, a distribuição do gás no “canal” sob as camadas de carvão ocorreu a partir do horizonte inferior (1690 m) com alta pressão do gás (230 kgf/cm²) até o horizonte superior (16 kgf/cm²) ao longo da linha geral permeável a gases seção vertical “ pilar” de uma profundidade de 1690 m a uma profundidade de 410 m (Fig. 2).

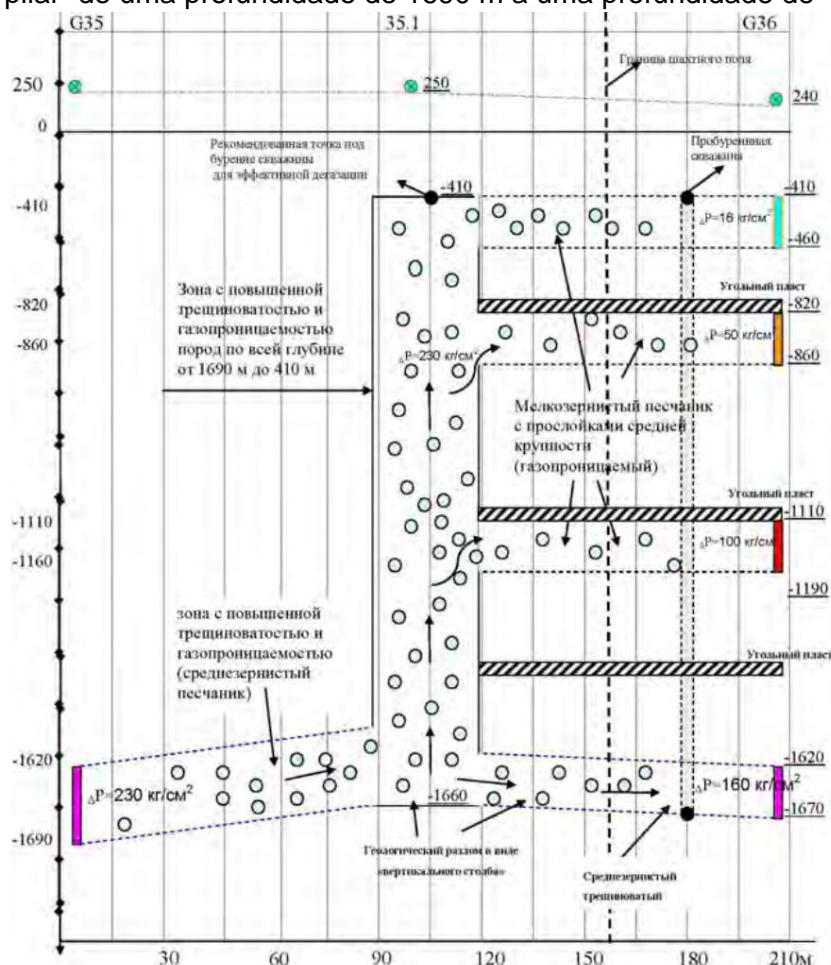


Figura 2. Seção de profundidade 035-036 do canal de gás no campo minado de uma mina de carvão. A

uma distância de ≈ 5 km a oeste do campo minado, um grande depósito contendo gás (diâmetro ≈ 4 km) com uma pressão de gás de 350 kgf/cm², de onde se originaram os “canais” de fluxo de gás sob as camadas de carvão. À medida que nos aproximávamos do campo minado, a pressão do gás nos reservatórios contendo gás diminuiu (estrangulada para 230 kg/cm²). Uma análise dos locais de acidentes em minas com explosões (e mortes) de metano mostrou que as explosões ocorreram

ao desenvolver camadas de carvão acima de “canais” contendo gás (falhas) com alta pressão de gás neles ($>50 \text{ kgf/cm}^2$). Um poço perfurado no

“canal 1” de gás do norte em todos os 4 horizontes confirmou a presença de influxos naturais de hidrocarbonetos (e não “carvão”) com pressões de gás correspondentes significativamente maiores ($P_{\text{g}} \approx 160 \text{ kgf/cm}^2$) pressão de gás em camadas de carvão (geralmente $5-10 \text{ kgf/cm}^2$). Que. foram confirmados dados da determinação remota dos parâmetros dos “canais” de gás (coletores), suas profundidades e pressão do gás neles. Conseqüentemente, se você perfurar poços de desgaseificação

diretamente em “pilares” ou “canais” verticais permeáveis a gases, então isso

reduzirá drasticamente a pressão total do gás que se aproxima do campo minado, o que significa a situação sob as jazidas de carvão em todo o campo minado irá melhorar.

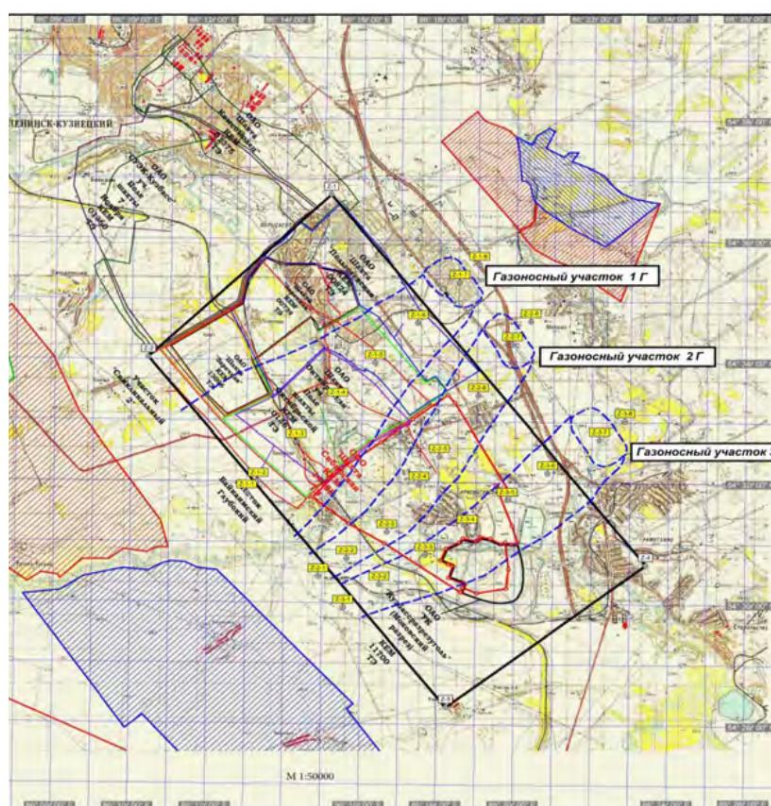


Figura 3. Limites das anomalias de gás identificadas no território dos loteamentos mineiros minas de carvão Polysaevskaya, Zarechnaya, Oktyabrskaya e Sibirskaya ($S = 99 \text{ km}^2$).

É vantajoso utilizar o gás desse poço com afluência industrial e pressão de 160 kg/cm^2 para as necessidades técnicas da cidade, em vez de desgaseificá-lo no sistema operacional. Uma imagem semelhante foi revelada em vários sites russos minas (Fig. 3, Fig. 4). Foram dadas recomendações para a desgaseificação da perfuração poços em “coletores” contendo gás com alta pressão de gás, o que pode reduzir significativamente o perigo do gás em todo o campo minado.

Trabalho semelhante realizado em 5 minas de carvão na Rússia confirmou uma situação semelhante pela presença de vários “canais” de entrada

>1000 m/seg, que é um fator inicial adicional para uma explosão volumétrica.

Detonação. Deve-se notar que a propagação da chama e a rápida combustão de misturas de hidrocarbonetos são determinadas por reações químicas que mantêm gradientes de concentração, bem como por processos de transporte molecular que fazem com que esses gradientes se movam para espaço. Em

contraste com estes processos, a propagação da detonação é causada por uma onda de pressão, que é alimentada por reações químicas e pela consequente libertação de calor. Uma propriedade característica da detonação é $\dot{\gamma}$ 1000v m/s, a velocidade de propagação da onda de ordem de grandeza maior que a velocidade de propagação da chama de detonação é da combustão da mistura de hidrocarbonetos (geralmente 0,5 m/s). Velocidade de propagação da onda de detonação v

pressão p_p de gases queimados é calculado de acordo com a teoria de Chapman-Jouguet [4]. Eles dependem da pressão p_u e da densidade dos gases não queimados, do calor específico reação q e no valor de $\dot{\gamma}$, determinado pela razão das capacidades térmicas em volume e pressão constantes ($\dot{\gamma} = \frac{C_p}{C_v}$).

Equações básicas de detonação de Chapman-Jouguet: $\dot{\gamma}$

$$q) \frac{1}{2} (2v \dot{\gamma} \dot{\gamma} ; ^2 \quad \frac{v}{\dot{\gamma}} \dot{\gamma} ; 1 \quad \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}} \dot{\gamma}) \frac{1}{2} \frac{q}{p}$$

Deve ser enfatizado que a questão da transição da combustão rápida (deflagração) para a detonação é muito importante para muitas aplicações práticas, em particular é muito importante para as minas de carvão. A modelagem matemática permite analisar tais processos. A Figura 5 mostra a transição

à detonação em um ambiente de hidrogênio-oxigênio. A deflagração acelera e se transforma em detonação. Ressalta-se que,

via de regra, as ondas de detonação não são planas, sendo observada experimentalmente a formação de uma estrutura celular da frente de detonação.

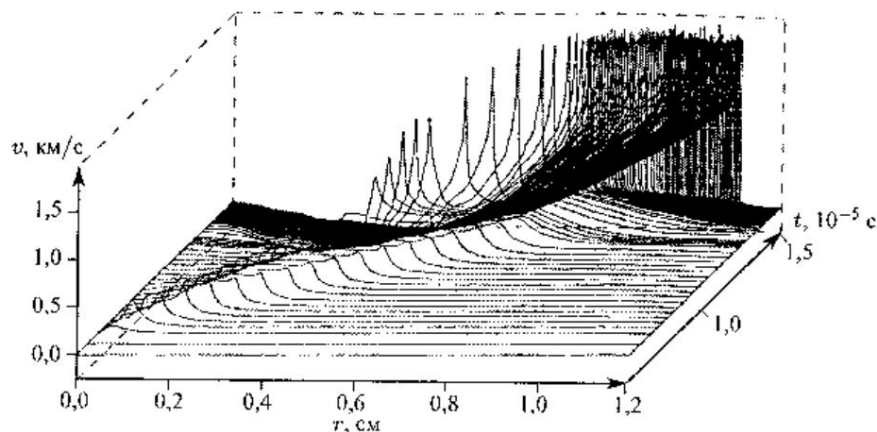


Figura 5. Perfis de velocidade durante a formação de uma onda de detonação em mistura hidrogênio-oxigênio H₂-O₂ a uma pressão inicial $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$ [17].

Concluindo, notamos que para a descrição cinética dos processos de combustão mesmo de um combustível tão simples como o hidrogênio (a reação total $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$) é necessário um mecanismo que inclua cerca de 40 reações elementares. Para uma descrição cinética dos processos de combustão, especialmente processos autoignição do combustível hidrocarboneto mais simples - metano (CH₄), o número total de reações levando em consideração as reações de superfície em produtos químicos O mecanismo inclui vários milhares de reações elementares. Todas estas questões, nomeadamente cinética química, mecanismos de reação, simplificação de mecanismos de reação, etc., foram previamente consideradas nos trabalhos dos autores [2-7].

- Conclusões**
1. Sob jazidas de carvão em zonas de maior fraturamento existem áreas de acumulação de gases de hidrocarbonetos, que "instantaneamente são abertos" no momento da remoção das camadas de carvão, e há uma liberação instantânea de gás com altas pressões e temperaturas em produção com o conteúdo de oxigênio e produtos constantes no ar oxidação do metano, embora seu conteúdo esteja abaixo da norma permitida (2÷3%), onde ocorre uma explosão volumétrica.
 2. Devido ao influxo de gases hidrocarbonetos com frações pesadas em alta pressão e temperatura, ocorre uma ejeção instantânea de rocha e a mistura inflama espontaneamente em uma concentração de gás muito menor 5% seguido de explosão volumétrica e detonação. Se isso acontece fornecimento de gás em pequenos volumes (devido à menor pressão do gás em horizonte), então não ocorre uma explosão volumétrica, mas é possível o envenenamento dos mineiros com gás.
 3. A presença de áreas de acumulação de gases de hidrocarbonetos com alta pressão e temperatura sob camadas de carvão cria condições para a entrada instantânea de gás na operação com subsequentes explosões volumétricas gás e detonação.
 4. As emissões de gases (instantâneas), explosões volumétricas e detonações mais perigosas podem ocorrer durante o desenvolvimento de camadas de carvão em profundidades de carvão térmico de 500 m ou mais.

Ofertas

1. Devem ser tomadas medidas adicionais para garantir segurança do trabalho em minas de carvão térmico, especialmente ao desenvolvê-los em grandes profundidades (>500 m).
2. O equipamento do complexo Poisk pode ser usado com sucesso para detecção de áreas de acumulação de gás com alta pressão e temperatura sob camadas de carvão e em falhas geológicas, garantindo

selecionar pontos para perfuração de poços para desgaseificação eficaz de gás atrás.

3. As medidas mais eficazes para evitar a entrada instantânea de gás sob alta pressão podem ser a detecção oportuna de gás nas falhas dos campos minados e sua desgaseificação através de poços perfurados, bem como a detecção de gás próximo aos campos minados. depósitos. Perto de campos minados com carvão térmico, sempre há depósitos de gás localizados em grandes profundidades conectadas por falhas com depósitos de carvão. Antes de desenvolver jazidas de carvão em profundidades próximas a 500 m, é necessário abrir depósitos de gás perto de minas de carvão para reduzir pressão neles e, assim, melhorando o perigo do gás nas minas.

Lista de literatura usada

1. Rudnev E.N. , Doutor em Geol. Ciências (Academia de Ciências Mineiras da Ucrânia) Sobre o assunto combate ao metano nas minas de carvão da Ucrânia // Carvão da Ucrânia. -2009. - Nº 1.-p.40-46
2. Pukhliy V.A. Combustão de poeira orgânica em filtro de tambor, levando em consideração ativação da membrana à prova de explosão. – Física Química, RAS, 1997, volume 16, nº 11, pp.
3. Pukhliy V.A. Estudo de incêndios secundários durante explosão de poeira orgânica. – Física da combustão e explosão, RAS, 2000, volume 36, nº 3, páginas 60-64. 4. Pukhliy V.A. Termodinâmica. Capítulos adicionais. – Sebastopol: Editora "Instituto Científico e Técnico Central Cherkasy", 2009. – 523 p.
5. Pukhliy V.A., Kovalev N.I., Sofiysky I.Yu. Sobre alguns problemas de cinética química no Mar Negro. – Em coleção: Trabalhos científicos SNUYAEiP, edição 2(38), 2011, pp.
6. Pukhliy V.A., Kovalev N.I., Sofiysky I.Yu. Modelagem matemática de processos de ignição e autoignição de hidrocarbonetos em cinética química. – In: Trabalhos científicos do SNUYAEiP, edição 4(40), 2011, pp.153-162.
7. Pukhliy V.A., Kovalev N.I. Mecanismos e vias de processos de combustão de hidrocarbonetos em cinética química. – In: Trabalhos científicos do SNUYAEiP, edição 1(41), 2012, pp.144-153.
8. Kovalev N.I., Pukhliy V.A. e outros. Ressonância magnética nuclear. Teoria e formulários. Sebastopol, 2010. Cap. IX.-S. 610. 9. Conclusão sobre a metodologia de prospecção e exploração de minerais utilizando o complexo de hardware Poisk NMR. NASU 2009. 10. Kovalev N.I., Filippov E.M., Soldatova S.V. "Experimental e metodológico fornecendo um método remoto para identificar falhas de carvão formação no campo minado nas minas de OJSC OUK "Yuzhkuzbassugol"", Relatório sobre Pesquisa, SNUYaEiP.-Novokuznetsk, 2009, 60 pp.
11. Belyavsky G.A., Kovalev N.I., Lavrentieva O.N. Tecnologia de aplicação Equipamento NMR para detecção remota de objetos subterrâneos e

- sob a água. – Relatório na 4ª Conferência Internacional de Resgate. NTSB Ministério de Situações de Emergência da Ucrânia.-Kyiv, 2003, pp. 12. Kovalev N.I., Gokh V.A., Soldatova S.V. e outros Utilização do complexo geoholográfico remoto "Poisk" para detecção e delimitação de depósitos de hidrocarbonetos // Geoinformática. - 2009. - N° 3. - S. 83-87.
13. Bakai Z.A., Ivashchenko P.N., Kovalev N.I. O método de busca de depósitos úteis fósseis // Pat. 35122 Ucrânia. A partir de 26/08/2008 14. Pat. RF, nº 227-2305 de 20 de março de 2006, Ki. Gokh V.A., Akimov A.M., Kova-lev N.I., requerentes e detentores de patentes, "Método para exploração de recursos minerais", pedido nº 2004 132 154 datado de 11.05.2004, registrado B Registro Estadual de Invenções da Federação Russa 20/04/2006 Validade até 05/11/2024 15. Kovalev N.I., Belyavsky G.A., Filippov E.M., Soldatova S.V. e outros Determinação de anomalias de gás natural no campo minado da mina Erunakovskaya-8: Relatório de pesquisa, SNUYAEiP. - Novokuznetsk, 2010. - 36 p.
16. Tecnologia química de radiação em 1-25.M, 1979-1989 17. Kovalev N.I., Gokh V.A., Kotelyanets I.I. etc. Seleção de pontos para perfuração poços de gás contendo gás usando equipamento remoto do complexo Poisk no campo minado da mina de carvão Zasyadko: Relatório de pesquisa, sh. Zasyadko / SNUYAEiP., GGN. - Donetsk, 2009. - 48 p.
18. Goyal G., Warnatz J., Maas U. Estudos numéricos de ignição por ponto quente em H₂-O₂ e CH₄ – misturas de ar. – 23º Simpl. Comb.-Pittsburgh, 1990, p.1767-1776.

Publicado: Coleção de artigos da Conferência Científica e Prática Internacional "Desenvolvimento Inovador da Ciência Moderna", Ufa, 2014, pp.