

UDC 550-837.3

Kovalev N.I., 博士, 副教授  
Pukhliy V.A., 技术科学博士, 教授  
Soldatova S.V., 研究员  
塞瓦斯托波尔国立核能与工业大学, 塞  
瓦斯托波尔, 乌克兰

煤矿井下烃类气体体积爆炸和起爆机理探讨

自燃、体积爆炸等问题  
煤矿中烃类气体混合物的爆炸。提出  
一种高浓度烃类气体聚集区的探测方法  
压力 ( $>100$  公斤/厘米<sup>2</sup>), 下伏煤层。让你-  
水有关体积爆炸的原因。建议采取预防措施  
防止煤矿中的体积爆炸。

关键词: 煤层, 烃-氢气体混合物自燃过程, 体积爆炸, 爆轰

介绍。甲烷危害矿井的安全问题  
非常相关。煤炭企业每年都会发生瓦斯爆炸事故  
矿工死亡, 煤炭开采作业长期停止, 造成重大物质损失。

随着深部动力煤开采, 体积瓦斯爆炸事件日益频繁, 导致大量矿工和人员死亡。

毁坏采矿设备 (乌克兰、俄罗斯)。尽管企业正在认真采取矿山综合除气措施, 但更先进的防排  
系统仍不完善。

爆炸, 体积爆炸不会停止。煤矿事故分析  
乌克兰的地雷, 在 AGN 相应成员的指导下进行  
乌克兰, 地质科学博士 E. Rudneva [1] 表明, 主要原因是 (对 46 起事故的分析): 1. 突然  
进入工作区发生爆炸并造成人员伤亡

大量甲烷和重碳氢化合物 (40 起事故), 或死亡  
人员免受伤害和气体窒息 (6 起事故)。这只能  
发生在具有以下特征的区域的同时开放的情况下:  
煤层开发过程中煤层瓦斯压力高 (煤层在开发前已钻探, 里面含有大量瓦斯)

不能承受高压)。而且, 这些爆炸并不是  
由火花引发, 气体混合物自燃, 并且  
然后是体积爆炸和爆炸。

2. 存在非常复杂和多样化的构造 主要构造  
(经典) 和次要 (重力) 覆盖整个矿区

高压高温气体可以从很深的地方 (>1.5 ÷ 3.0 km)流过的管线。 3. 当碳氢化合物气体从深处进入混合物时

含有甲烷和较重的碳氢化合物,如果立即进入,会导致混合物自燃和爆炸

空气生产区(甲烷浓度远低于5%)。科学研究的目的是目标。研究的主要目标

是:

检查远程地球物理设备的有效性

用于检测位于下方的气体聚集的综合体

煤层和地质断层,其特点是

高压值 (> 10 KGs/cm<sup>2</sup>)并且位于深度达 3000 m 的地方。

确定来自大深度或来自矿场边界之外的来源的瓦斯运移路径(矿场)

以 A.F. Zasyadko 命名 - 乌克兰,2008 年; Erunakovskaya 矿 - VIII, - JSC

OUK "Yuzhkuzbasugol", (2009); 矿山 - Zarechnaya, Oktyabrskaya, Sibirskaya, Polysaevskaya (2011 年,俄罗斯)。

搜索和圈定煤层下及以外具有高压和高温值的气源

雷区边界; 使用远程现场

设备“搜索”测量地质断层和碳氢化合物气体聚集区域的气体压力和温度值,以及煤层下气层的厚度。

确定体积瓦斯爆炸的原因并提出防止能源矿井发生此类爆炸的建议

在很深的地方蕴藏着宝贵的煤炭。

研究方法。工作中使用了以下研究方法。 1. 为了快速完成指定任务,使用了远程地球物理地下传感综合

体“Poisk”(由SNUYAEiP开发)的远程宇宙地质勘探方法和场共振测试设备。该设备可以远程探测深度达5公里的天然气聚集源,圈定其并确定天然气运移方向、气层数、每个层位的天然气压力,并识别天然气岩石的类型-渗透性储层。

Poisk 设备用于这些目的的基础是成功检测位于铀矿矿体下方的高气压气体异常。

(乌克兰Novokonstantinovskaya 矿),产状特征研究  
页岩中的气体异常(美国德克萨斯州)和偏远地区

发现工业油气田（澳大利亚、印度尼西亚、美国、俄罗斯、乌克兰、蒙古）。这项工作是由 SNUYAEiP 的专家与参与提供这项工作的商业机构以及

乌克兰燃料和能源部总研究所 (UkrNIPromtekhologii and 乌克兰国家科学院 (NASU) 研究中心 IGN。乌克兰国家科学院土木工程研究所关于使用远程复杂设备的可行性进行勘探和地质工作的“搜索”[9]。2.利用钻探井查明天然气聚集情况，准确确定气层深度、气层压力和气温。这些工作已开展

矿山采矿和地质结构专家或客户参与勘探的专业公司

钻孔3. 电

法勘探和其他传统地球物理方法寻找气体异常或分析现有地质材料

地雷（由基辅 SRC IGN NASU 进行）进行确认（或气体异常远程检测结果的比较）

开始勘探钻探。4. 气体混合物自

燃、体积爆炸和爆轰过程的数学建模和计算，以建立这些混合物与各种烃类气体在接近真实气体条件下自燃的边界条件

煤矿井下的条件。在 SNUYAEiP V.A. Pukhliy 教授技术科学博士的指导下进行[2-7]。

工作期间，对某煤矿矿区进行了检查

以 Zasyadko（乌克兰）命名，配有综合体的现场谐振测试设备

SNUYAEiP（塞瓦斯托波尔）的专家与商业企业 MGSP（顿涅茨克）和科学研究中心 IGN NASU 一起进行“搜索”，还在 OJSC OCC “Yuzhkuz-bassugol”（俄罗斯克麦罗沃地区）的 5 个煤矿进行了研究工作）- 仅由 SNUYAEiP 专家提供

[10]。

远程识别（识别）气体异常

使用“Poisk”综合体的设备在地球内部（最深5公里）进行了利用射频辐射对元素原子（核磁共振波谱）影响下物质的共振现象，其中包括特定类型的碳氢化合物（石油、天然气）和油气岩石。鼻收集器 [8]。为了将射频谐振辐射发送到很深的地方，使用了具有旋转电磁场的微波辐射发生器。将储层岩石参考化学元素（Ni、V、C、P、Si、S 等）的原子频率共振谱和信息能谱调制到微波发生器的工作频率。

石油、甲烷和高级烃气体（乙烷、丙烷、丁烷）的三个样品。

在频率为 60 MHz 和 250 MHz 的 NMR 装置上记录了已识别物质的成分中包含的并被选为参考元素的金属原子的共振谱（NMR 谱）[11, 13],并将其信息能谱表示为记录于

原子吸收分光光度计（气体燃烧器中的物质雾化），带有灵敏的宽频附件。识别气体的信息和能谱

岩石[14]被转移到“工作”磁性载体（“工作矩阵”），金属原子光谱被转移到“测试矩阵”，并用于地球内部（至深处）这些物质的共振激发

3公里）。通过曝光进行物质的共振激发  
在它们上面,微波发生器的信号由谐振频率调制  
（原子）核磁共振谱或信息能量频率  
所需物质的光谱。

为了研究储层岩石的元素组成,我们使用  
中子活化法测定其中金属和非金属的浓度。样品的基本组成及其积分光谱特性的幅度（信息测量

光谱）被输入 Poisk 固定综合体的数据库,并在处理野外工作结果时用作碳氢化合物和储层岩石（位于深度达 5000 m）的识别标志 [15]。为了安装设备并确认碳氢化合物类型的远程检测（识别），在现场工作开始之前,在 Poisk 综合体的固定式和便携式设备的实验室条件下进行了测试,用于选择性登记碳氢化合物的样品（样品）。不同距离（25 m 和 50 m）的气体和  
储层岩石类型样品。

在现场条件下,使用窄定向天线从微波发生器的高频单元发送调制信号

以一定角度深入地球进行远程共振  
参考元素或整个可识别物质的原子的扰动。在这种情况下,在油气田区域,

特定类型的高频电磁场特性  
碳氢化合物和岩石。该电磁场由调谐到谐振频率的灵敏接收器设备记录

参考元素的特定原子或物质的积分光谱  
（岩石类型、碳氢化合物气体）。这提供了对位于不同深度的特定物质的远程选择性识别。根据使用辐射化学技术解码卫星照片的结果[16],在该照片中确定了碳氢化合物异常区域的轮廓边界。数据

使用移动设备和 GPS 接收器在现场明确边界,然后将其绘制在搜索区域的地图上。这

该圈定方法实际上与现有的航空航天遥感方法类似,但是,使用 Poisk 综合体的设备实际识别碳氢化合物 (碳氢化合物气体)类型的概率急剧增加 (更可靠

95%)。

共振测试现场设备可让您计算深度气层的出现情况、厚度和其中的气压。

工作成果。巡查煤矿矿场时以 Zasyadko 命名 (图 1),发现它是从西向东穿过的 3 个地质“通道”断层,其中气体压力增加,从北到南各一个[17]。

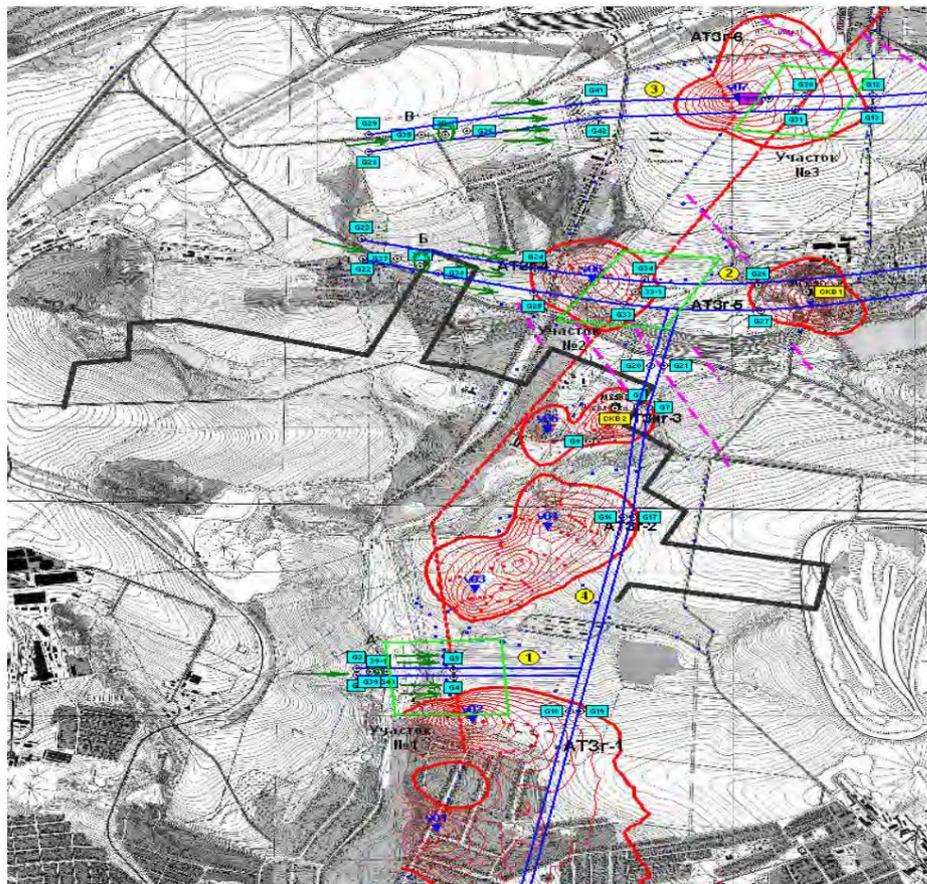


图.1。ATZ地电异常等值线及透气边界  
煤矿采矿分配区地形图上的“通道”

以 A.F. Zasyadko 命名 [17]。

垂直透气部分 (支柱)位于矿场外部 (其边界前 1 ÷ 1.5 公里),分别位于 3 个断层 (“通道”)上。移民通过所有“渠道”发生

天然气由西向东输送,保证了各区域有一定的瓦斯压力。  
房屋频道。

“通道”宽度为40~80 m,每个“通道”有4个透气层,代表裂缝

各河道深度 410 m~1 690 m 发育中粒砂岩,含气层位厚度 20~80 m,层位剩余瓦斯压力(视深度而定)为

16 kgf/cm<sup>2</sup> (上层位)起 160 kgf/cm<sup>2</sup> (下层位)起。气体地平线位于煤层之下。主要气体来源  
高压位于雷场外(距离 5 公里)  
他)。其瓦斯通过3条穿越矿区的断层进入矿区。而且,煤层下“通道”中瓦斯的分布发生在较低层位(1690 m),瓦斯压力较高。

(230 kgf/cm<sup>2</sup>)至上地平线(16 kgf/cm<sup>2</sup>)沿一般透气  
从深度1690m到深度410m的垂直剖面“柱子”(图2)。

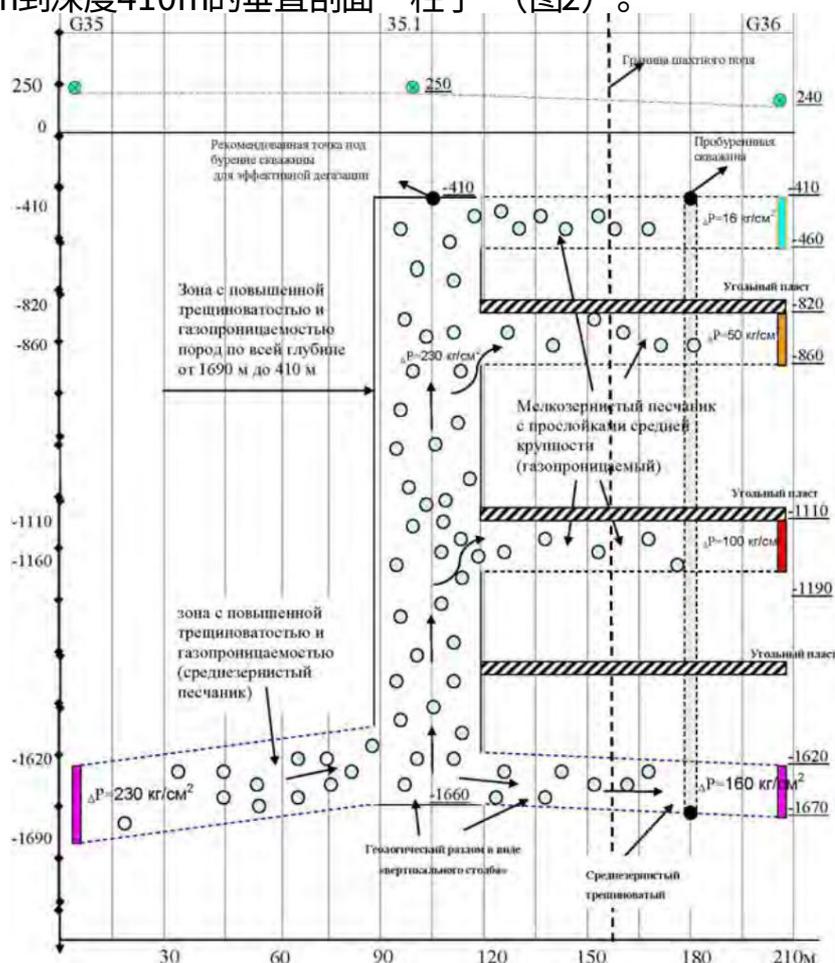


图2.某煤矿矿区瓦斯通道深度剖面035-036。距矿区以西 5 公里处,有一大型

含气矿床(直径 4 公里),气压为 350 kgf/cm<sup>2</sup>,从  
煤层下瓦斯流动的“通道”就起源于此。当我们接近矿区时,含气层中的瓦斯压力下降(节流至 230 kg/cm<sup>2</sup>)。对煤矿甲烷爆炸(和死亡)事故现场的分析表明,发生了爆炸

当在含瓦斯“通道”(断层)上方开发具有高瓦斯压力 ( $>50 \text{ kgf/cm}^2$ ) 的煤层时。在北部天然气“channel-1”所有 4 个层位中钻探的一口井证实存在天然碳氢化合物流入(而不是

“煤”)瓦斯,相应的瓦斯压力显著高于 ( $P_4 = 160 \text{ kgf/cm}^2$ ) 煤层瓦斯压力(通常为  $5-10 \text{ kgf/cm}^2$ )。那。远程确定气体“通道”(收集器)参数、深度和气体压力的数据得到了确认。因此,如果直接在垂直透气“柱”或“通道”中钻脱气井,那么这

接近矿场的瓦斯总压力会急剧降低,这意味着整个矿区煤层下的情况将得到改善。

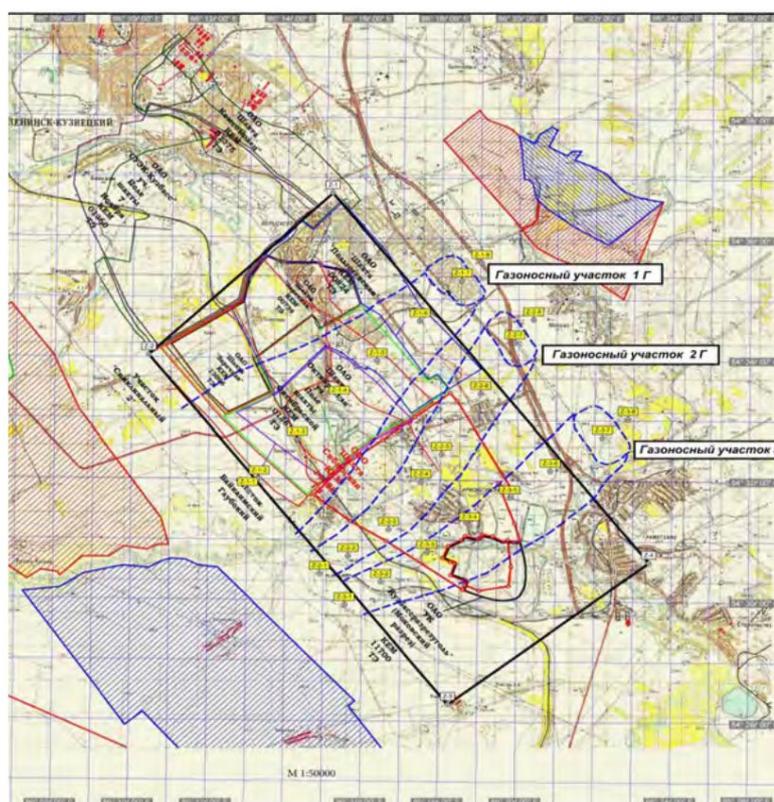


图3.采矿区范围内已发现的气体异常边界

Polysaevskaya、Zarechnaya、Oktyabrskaya 和 Sibirskaya 煤矿 ( $S=99 \text{ 公里}^2$ )。

对于城市的技术需求,使用来自工业流入、压力为  $160 \text{ kg/cm}^2$  的井中的气体而不是脱气是有利的

它在操作系统中。类似的图片也曾在几家俄罗斯网站上曝光过。

地雷(图3、图4)。给出了钻井除气的建议

瓦斯压力高的瓦斯“收集器”井,可以显著降低整个矿区的瓦斯危险。

俄罗斯 5 个煤矿也进行了类似工作  
通过多个“渠道”的存在证实了类似的情况

从位于较深处和更远的煤层下注入高压  $> 350 \text{ kg/cm}^2$  的气体

雷区。

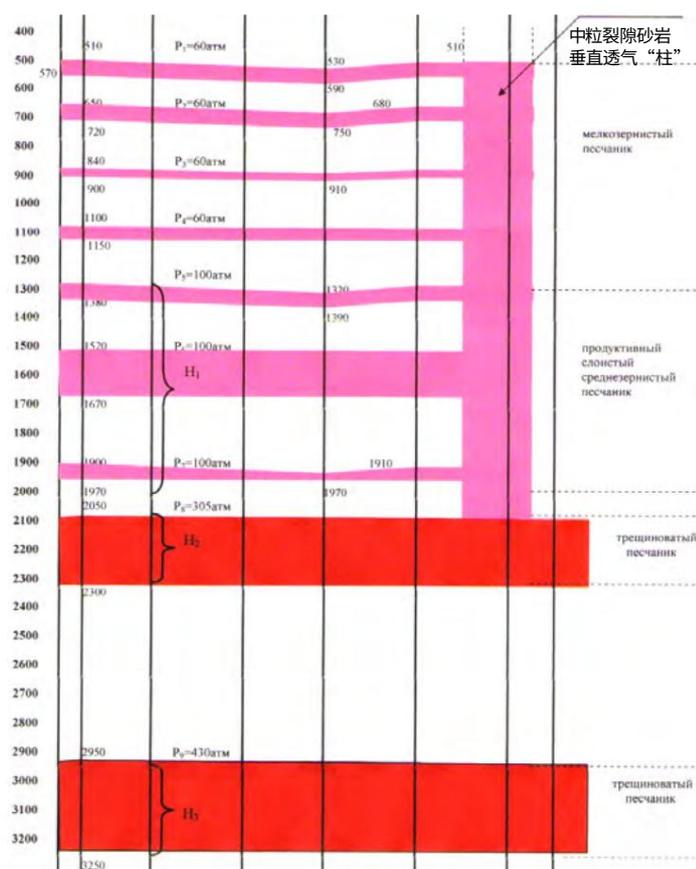


图4.矿区1G瓦斯断面深度剖面（矿井“Zarechnaya”, 俄罗斯

斯）。记录到煤层下的高瓦斯压力

深度 500 m。高压瓦斯积聚 ( $> 50 \text{ kg/cm}^2$ ) 在采矿作业中构成巨大危险,因为当这些煤层附近的煤层被打开时,大量的气体混合物会立即释放到巷道的空气-氧气环境中,其中不断存在具有一定甲烷浓度的甲烷-气体混合物。

低于允许的标准 (  $3 \div 4\%$  )。由于气体不断氧化漂移空气中含有有一定浓度甲烷的混合物,该混合物具有一定程度的“激发”点燃准备。在

当注入大量甲烷含量高的气体混合物时,碳氢化合物气体会立即自燃,

即使在工作漂移中的  $\text{CH}_4$  浓度下,它们的体积爆炸也小于

5%。自动警告系统甚至没有时间对混合物中甲烷浓度的增加做出反应。自燃和爆炸过程的数学模型结果也证实了体积爆炸的可能性

大量气体突然涌入工作巷道。在这种情况下,冲击波前还可以以一定速度形成

>1000 m/sec,这是体积爆炸的另一个引发因素。

爆炸。应该指出的是,碳氢化合物混合物的火焰传播和快速燃烧是由维持浓度梯度的化学反应以及导致这些梯度进入浓度梯度的分子传输过程决定的。

空间。与这些过程

相反,爆炸的传播是由压力波引起的,压力波是由化学反应和伴随的热量释放推动的。爆轰的特性为 $\geq 1000v \cdot m/s$ ,爆轰波的传播速度比烃类混合物的燃烧火焰的传播速度(通常为0.5m/s)大一个数量级。爆轰波传播速度 $v$

孩子们

孩子们, 密度  $\rho$ 和

压力 燃烧气体的  $p$ 根据 Chapman-Jouguet 理论计算 [4]。他们

取决于压力 $p_u$ 和未燃烧气体的密度,取决于比热

反应  $q$  和  $\gamma$  值,由热容比确定

恒定体积和压力 ( $= CC$

副總裁 )。

基本 Chapman-Jouguet 爆炸方程:

$$q)1(2v \sqrt{\frac{2}{\rho}} \frac{v}{\rho} ;1 \frac{v}{\rho} )1(2 \frac{q}{\rho} )$$

需要强调的是,从快速燃烧(爆燃)到爆轰的过渡问题对于许多实际应用来说非常重要,特别是对于煤矿来说非常重要。数学建模使得分析此类过程成为可能。图 5 显示了转换过程

在氢氧环境中发生爆炸。爆燃加速并转变为爆炸。应该指出的是,通常,爆炸波不是平面的;爆炸前沿的蜂窝结构的形成是通过实验观察到的。

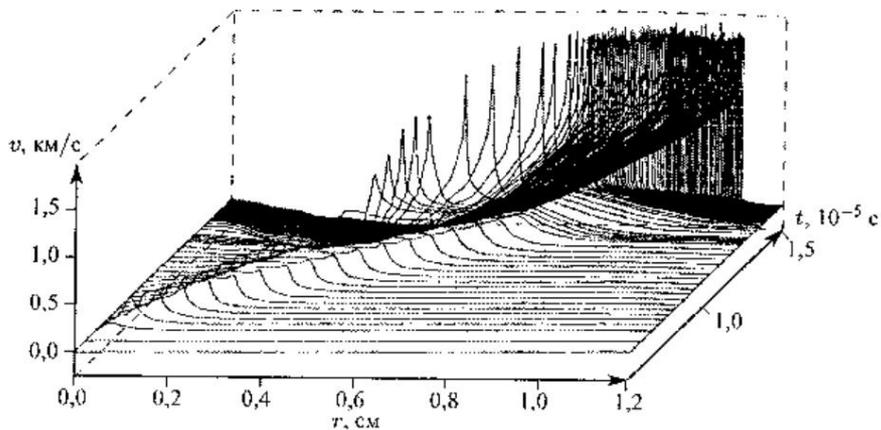


图5。爆震波形成过程中的速度分布

氢氧混合物H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> ,初始压力  $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$  [17]。

总之,我们注意到,即使是氢这样简单的燃料 (总反应  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ )的燃烧过程的动力学描述也需要一个包括大约 40 个基本反应的机制。用于燃烧过程的动力学描述,特别是过程

最简单的碳氢化合物燃料 甲烷 (CH<sub>4</sub>)的自燃,考虑化学中表面反应的反应总数

该机制包括数千个基本反应。所有这些问题,即化学动力学、反应机制、反应机制的简化等,在作者的作品中都被考虑过[2-7]。

### 结论1、裂

缝增加区煤层下存在烃类气体聚集区,“瞬间

在煤层拆除的瞬间“打开”,煤层中瞬间释放出高压高温瓦斯。

空气中氧气含量和恒定产物的生产

甲烷氧化,尽管其含量低于允许标准 (2 ÷ 3%),但会发生体积爆炸。 2、由于高压高温下重馏分烃类气体涌入,发生岩石瞬时喷出,混合物在气体浓度低得多的情况下自燃

5% 随后发生体积爆炸和爆炸。如果发生的话

少量供气 (由于气体压力较低

地平线),则不会发生体积爆炸,但矿工可能会被气体中毒。 3、煤层下存在高压、高温烃类气体聚集区,为瓦斯瞬间

进入井内发生体积爆炸创造了条件

气体和爆炸。

4. 最危险的 (瞬时)瓦斯排放、体积爆炸和爆炸可能发生在动力煤深度 500 m 或以上的煤层开发过程中。

### 优惠

1. 应采取额外措施以确保

动力煤矿作业安全,特别是

当在很深的地方 (>500 m)开发它们时。

2. Poisk联合体的设备可成功用于

探测煤层下和地质断层中高压高温瓦斯聚集区域,确保

选择钻井点以进行有效的气体脱气

在后面。

3、防止高压下瓦斯瞬时进入的最有效措施是及时检测矿区断层瓦斯并通过钻井排除瓦斯,以及对矿区附近瓦斯进行检测

存款。在动力煤矿区附近,大面积的天然气矿藏总是存在的。

由断层与煤矿床相连的深度。近500 m深度煤层开发前,需

开采煤矿附近的天然气矿藏以减少压力,从而改善矿井中的瓦斯危险。

#### 使用文献清单

1. 鲁德涅夫 E.N. 地质博士。科学 (乌克兰矿业科学院)关于这个问题对抗乌克兰煤矿中的甲烷//乌克兰煤炭。 -2009年。 - 第 1 期-第 40-46 页
2. Pukhliy V.A.有机粉尘在转鼓过滤器中的燃烧,考虑到防爆膜的激活。 - 化学物理学,RAS,1997 年,第 16 卷,第 11 期,第 133-139 页。
3. Pukhliy V.A.有机粉尘爆炸过程中二次火灾的研究。 - 燃烧和爆炸物理学,RAS,2000 年,第 36 卷,第 3 期,第 60-64 页。 4. Pukhliy V.A.热力学。附加章节。 - 塞瓦斯托波尔:出版社“切尔卡瑟中央科学技术学院”,2009 年。 - 523 页。
5. Pukhliy V.A.,Kovalev N.I.,Sofiysky I.Yu.关于黑海化学动力学的一些问题。 - 收藏:科学著作 SNUYAEiP,第 2(38) 期,2011 年,第 137-144 页。
6. Pukhliy V.A.,Kovalev N.I.,Sofiysky I.Yu.碳氢化合物着火和自燃过程的数学模型化学动力学。 - 见:SNUYAEiP 科学著作,第 4(40) 期,2011 年,第 153-162 页。 7. Pukhliy V.A.,Kovalev N.I.化学动力学中碳氢化合物燃烧过程的机理和途径。 - 见:SNUYAEiP 科学著作,第 1(41) 期,2012 年,第 144-153 页。
8. Kovalev N.I.,Pukhliy V.A.等。核磁共振。理论与应用程序。塞瓦斯托波尔,2010 年。 IX.-S。 610. 9. 关于使用 Poisk NMR 硬件综合体进行矿物勘探和勘探的方法的结论。那须2009。 10. Kovalev N.I.,Filippov E.M.,Soldatova S.V. “实验和方法论提供一种远程识别煤矿故障的方法 OJSC OUK “Yuzhkuzbassugol”矿井中的地层”,报告研究,SNUYaEiP.-Novokuznetsk,2009 年,60 页。
11. Belyavsky G.A.,Kovalev N.I.,Lavrentieva O.N.应用技术核磁共振设备用于远程检测地下物体和

- 在水下。 - 第四届国际救援会议报告。美国国家运输安全委员会  
乌克兰紧急情况部。 - 基辅, 2003年, 第  
32-35页。 12. Kovalev N.I., Gokh V.A., Soldatova S.V. 使用远程地质全息复合体 “Poisk” 来  
检测和描绘碳氢化合物矿床 // 地理信息学。 - 2009年。 - 第3期。 - 第83-87页。
13. Bakai Z.A., Ivashchenko P.N., Kovalev N.I. 寻找有用矿床的方法  
化石 // 帕特。 35122 乌克兰。从 08/26/2008 14. 帕特。 RF, 2006年  
3月20日第 227-2305号, Ki. Gokh V.A., Akimov A.M., Kova-lev N.I., 申请人和专利持有人,  
“矿产资源勘探方法”, 申请号 2004 132 154, 日期为 2004年11月5日, 注册为B  
俄罗斯联邦国家发明登记册 2006年4月20日有效期至 2024年5月11日 15. Kovalev  
N.I., Belyavsky G.A., Filippov E.M., Soldatova S.V. Erunakovskaya-8 矿井区天然气异常的  
确定: 研究报告, SNUYAEiP。 - 新库兹涅茨克, 2010年。 - 36页。
16. 1-25.M 的辐射化学技术, 1979-1989 17. Kovalev N.I., Gokh V.A.,  
Kotelyanets I.I. 钻孔点的选择  
使用 Zasyadko 煤矿矿场 Poisk 综合体远程设备的含气气井: 研究报告, sh. Zasyadko /  
SNUYAEiP., GGN。 - 顿涅茨克, 2009年。 - 48页。
18. Goyal G., Warnatz J., Maas U. H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> 中热点点火的数值研究  
CH<sub>4</sub> - 空气混合物。 - 第23卷。 Comb.-匹兹堡, 1990年, 第1767-1776页。
- 出版: 国际科学与实践会议论文集《现代科学的创新发展》, 乌法, 2014年, 第153-162页。