



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

## PROYECTO DE INVESTIGACION DE DERRABES DE CARBON

### ANEJO XI

#### Revisión del estado actual de conocimientos sobre los derrabes en la Unión Soviética

*Ingenieros de Minas Consultores, S.A.- Proyecto de derrabes de carbón*



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

01115

*PROYECTO DE INVESTIGACION DE  
DERRABES DE CARBON*

*REVISION DEL ESTADO ACTUAL DE  
LOS CONOCIMIENTOS SOBRE  
DERRABES EN LA UNION SOVIETICA*

*DICIEMBRE 1. 990*



INGENIEROS DE MINAS CONSULTORES. S. A.

PROYECTO DE INVESTIGACION DE DERRABES DE CARBON

REVISION DEL ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS  
SOBRE DERRABES EN LA UNION SOVIETICA

INTRODUCCION

El objetivo del presente trabajo consiste en revisar cuanto, relacionado con la problemática de derrabes, es conocido en la Unión Soviética y, a su vez, puede ser de interés para el Proyecto de Investigación de Derrabes de Carbón.

Para lograr tal objetivo se ha realizado un viaje a la URSS, del que se ha efectuado el correspondiente informe, dando a conocer las visitas realizadas, así como lo tratado con cada uno de los Institutos visitados.

Complementariamente, y este es el objeto del presente trabajo, se decidió redactar un resumen de síntesis de cuanto en España es conocido de la literatura científica soviética, relacionado con el proyecto que nos ocupa.

Por tanto, en lo que sigue se realiza tal resumen, recogiendo también la bibliografía en que está apoyado.

Durante la visita efectuada a la Unión Soviética, se recogió una documentación sobre:

- Catálogo de desprendimientos instantáneos del carbón y gas en las minas.
- Catálogo de capas carboníferas, expuestas al peligro como consecuencia de los impactos de las rocas en los yacimientos de la URSS.

Por parte de HUNOSA, se ha mandado traducir lo que ha parecido más interesante de los citados catálogos y se acompaña como anexo, tal traducción, al presente trabajo, significando que no está revisada por personal técnico, por lo que, en algunos puntos, podrían haberse deslizado errores no deseados.

RECONOCIMIENTO Y EVALUACION DEL RIESGO DE FENOMENOS  
DINAMICOS.

El reconocimiento y evaluación del riesgo de generación de un Fenómeno Dinámico, que en general y en adelante denominamos pronóstico, tiene como finalidad los siguientes objetivos:

- Caracterizar el tipo de fenómeno, con vistas a la clasificación administrativa de los trabajos mineros.
- Determinar las zonas donde existe riesgo para adoptar en dicho tramo las medidas de prevención más adecuadas.
- Valorar la eficacia de las medidas de prevención adoptadas.

En general los métodos de pronóstico solo estudian los DI, pues no se conocen sistemas para determinar el riesgo de derrabes, de soplos de gas, etc. En la práctica se pueden utilizar los siguientes métodos de pronóstico del peligro de desprendimiento de las capas de carbón:

- 1) El método de pronóstico regional que permite valorar el peligro de desprendimiento de las capas de diferentes regiones geológicas. El fin principal del método es determinar las capas cuya explotación no tiene riesgo de desprendimientos de carbón y gas.
- 2) El método de pronóstico por los datos de la investigación geológica previa y detallada, de cada yacimiento particular.
- 3) Los métodos de pronóstico durante la ejecución de los trabajos mineros, en el corte de capas desde las galerías en roca, en el avance de las galerías en la capa de carbón y en los frentes de arranque.

El pronóstico permite con seguridad y a tiempo determinar, durante la explotación, los tramos en los que es necesario aplicar medidas contra los desprendimientos de carbón y gas, para lograr la seguridad del trabajo.

Los métodos de pronóstico se basan en determinar la características estructurales del carbón, el contenido de gas y la cinética inicial de desprendimiento de gas y evaluación de las características tensionales.

CARACTERISTICAS FISICO MECANICAS DEL CARBON.

METODOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES  
DEL CARBON.

Para determinar el potencial gaseodinámico de un carbón (facilidad para desprender el gas desencadenando el fenómeno), se determina la estructura geológica y el grado de fisuración. Como medidas indirectas de la fisuración, más fáciles de realizar tanto desde el punto de vista de muestreo como de ejecución en el laboratorio, se utilizan los índices basados en la medidas de absorción, desorción de gas y de adsorción de yodo, además de una valoración geológica del "medio".

**Estructura geológica del carbón.**

La clasificación de la estructura del carbón desde el punto de vista geológico, según el reglamento soviético NEDRA, ya esta a disposición del proyecto de Derrabes.

*Caracterización según la fisuración del carbón.*

*La fisuración de un carbón se mide por el número de fisuras por centímetro que se pueden contar con un microscopio en una placa pulida de una muestra.*

*De acuerdo con la normativa soviética se establece la siguiente clasificación de carbones:*

| <u>Clase</u> | <u>Distancia media entre<br/>fisuras</u> | <u>Número de fisuras<br/>por cm.</u> |
|--------------|--|--------------------------------------|
| I            | 1,6 mm                                   | 0 - 6,25                             |
| II           | 0,5 mm                                   | 6,25 - 20,00                         |
| III          | 0,14 mm                                  | 20,00 - 71,40                        |
| IV           | 0,05 mm                                  | 71,40 - 200,00                       |
| V            | 0,008 mm                                 | 200,00 - 225,00                      |

*Se observó que el límite entre carbones susceptibles de Fenómeno Dinámico y carbones no susceptibles estaba en 30 fisuras/cm. Es decir, entre los carbones*

de clase I y II no se observó ninguno susceptible de Fenómeno Dinámico. Los carbones susceptibles de Fenómeno Dinámico estaban en las clases III, IV ó V. Evidentemente esto no quiere decir que todos los carbones de las clases III a V sean susceptibles; depende, como es lógico, de otros factores que se han de manifestar conjuntamente como, por ejemplo, una elevada concentración en gas.

La estructura de estratificación de la capa y la fisuración disminuyen considerablemente la capacidad portante de la capa, comunicando al carbón del frente un carácter plástico. Cuando existen en los contactos de las capas superficies de desplazamiento y fisuras de clivaje, orientadas paralelamente al frente, la capacidad portante del frente disminuye aproximadamente en 1.5 veces, en relación al clivaje situado perpendicularmente al frente, y las deformaciones aumentan antes del derrabe.

Entre la capacidad portante de la capa y la magnitud del ángulo, formado por la dirección de las fisuras y la línea del frente, se observa, aproximadamente, una dependencia lineal.

Durante el estudio de las propiedades mecánicas de las capas de carbón peligrosas en las minas del Kuzbass por medio de la prensa, se determinó que la

capacidad portante del frente libre del macizo de carbón y el carácter de su deformación, dependen de la orientación del clivaje en relación al afloramiento.

El VNIMI realiza investigaciones más profundas de este problema, por medio de la metodología mencionada anteriormente. En este caso se determinó la influencia del ángulo de buzamiento de las fisuras en la capacidad portante y el carácter de deformación del frente libre del macizo de carbón; del ángulo de giro en dirección del afloramiento en relación a la dirección de las fisuras en la capacidad portante y carácter de deformación del frente libre del macizo. Las pruebas se realizaron con la prensa en condiciones de un plano libre (fig.1.1) y dimensiones de las placas de apoyo 50x50, 50x25 y 50x15 cm.

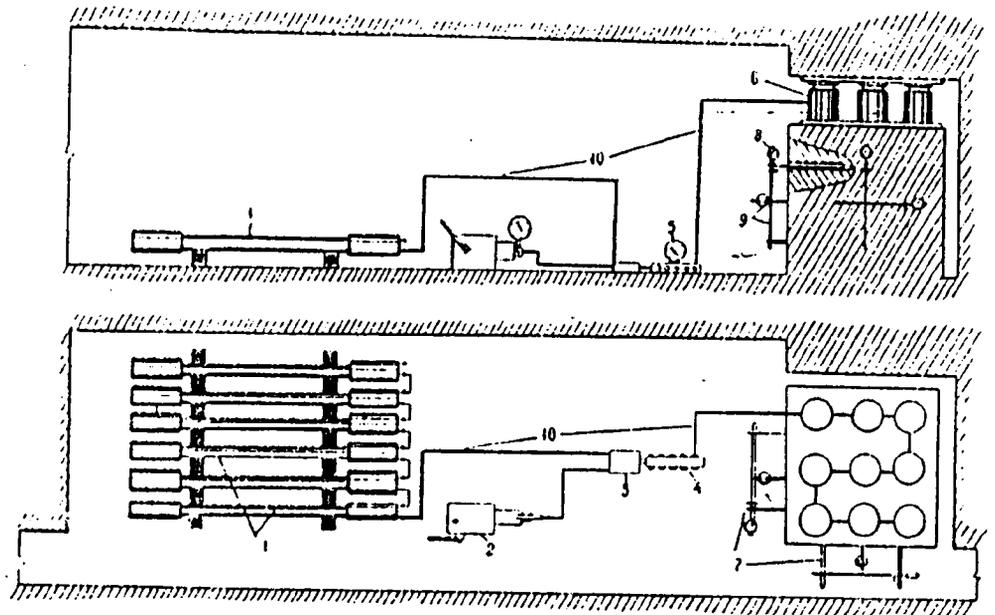


Figura 1.1

Los resultados de los experimentos realizados demostraron que el carácter de la deformación y la capacidad portante de las partes extremas del macizo de carbón, son aproximadamente equivalentes en todas las capas sometidas a pruebas con ángulos iguales de buzamiento de las fisuras y de giro en dirección del afloramiento, en relación a la dirección de las fisuras.

Se determinó que la parte extrema del macizo de carbón se deforma elásticamente hasta la destrucción, con ángulos de buzamiento de las fisuras de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . La rotura es de carácter frágil. El macizo se destruye por fisuras nuevas, independientemente del sistema principal existente y, como regla, la destrucción es de carácter violento (fig.1.5).

Las deformaciones residuales significativas surgen con ángulo de buzamiento de las fisuras de  $60^\circ$ . La parte extrema del macizo pasa a estado pseudoplástico, cuando las cargas específicas son insignificantes (1.5-1.8 MPa) y el ángulo de buzamiento de las fisuras es de  $30^\circ$ . La deformación y destrucción del macizo ocurre, en este caso, sólo por el sistema de fisuras existente.

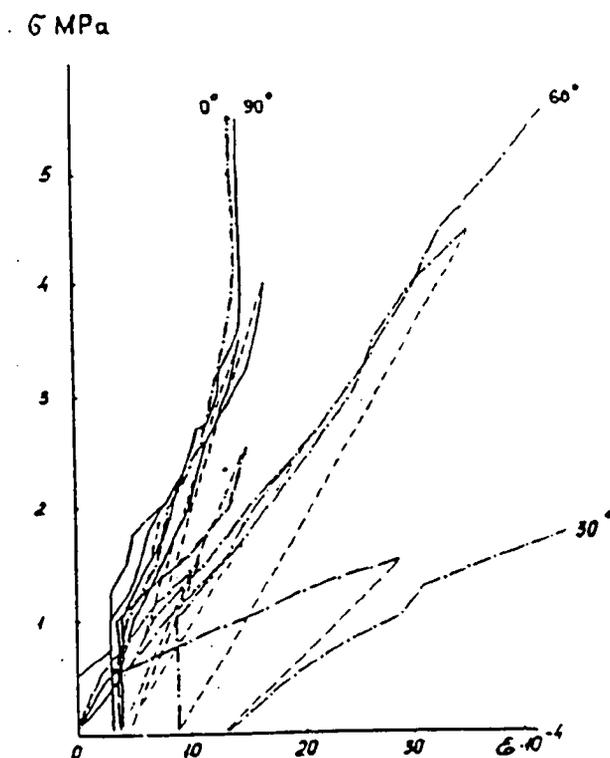


Figura 1.5

$\sigma$  - esfuerzo de carga;  $\epsilon$  - valor de la deformación relativa (deformación de la capa en relación a la base de medición).

Para el examen de la influencia del ángulo de giro en dirección del afloramiento, en relación a la dirección de las fisuras y el carácter de deformación y la capacidad portante de la parte extrema del macizo, se realizaron 8 tipos de ensayos. El ángulo de buzamiento del sistema de fisuras fué de  $55-60^\circ$ . Se reveló que el macizo se deforma elásticamente con ángulos de giro entre  $90$  y  $60^\circ$  (fig.1.6).

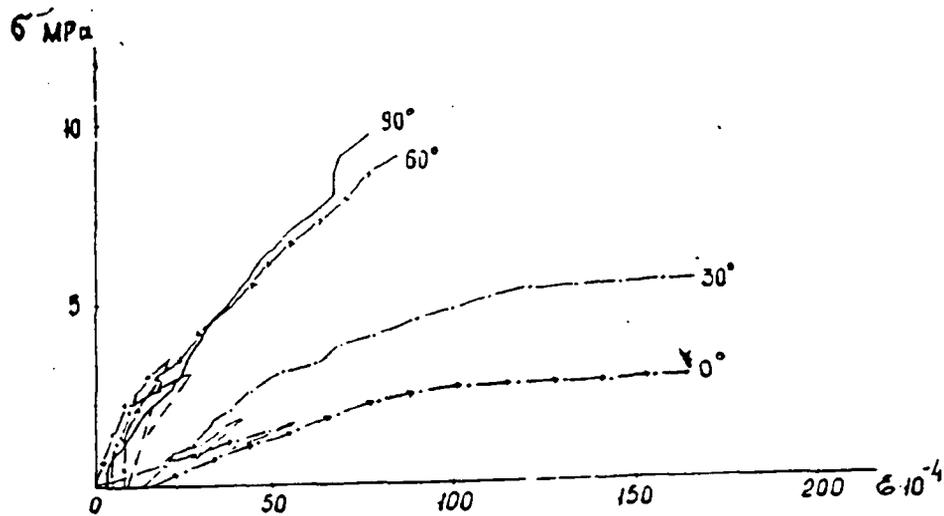


Figura 1.6

Deformación del macizo de carbón a diversos ángulos de giro del afloramiento (buzamiento de las fisuras hacia el macizo)

La rotura es de carácter frágil. La parte extrema del macizo pasa a estadoseudoplástico, cuando las cargas específicas son de 5 a 2.5 MPa y los ángulos entre 30 y 0° respectivamente. La deformación y la destrucción ocurren por el sistema de fisuras existente.

En la fig. 1.7. están presentados los diagramas de deformación del macizo de carbón con ángulos de giro 90, 60 y 0°, en el caso de buzamiento de las fisuras hacia el afloramiento.

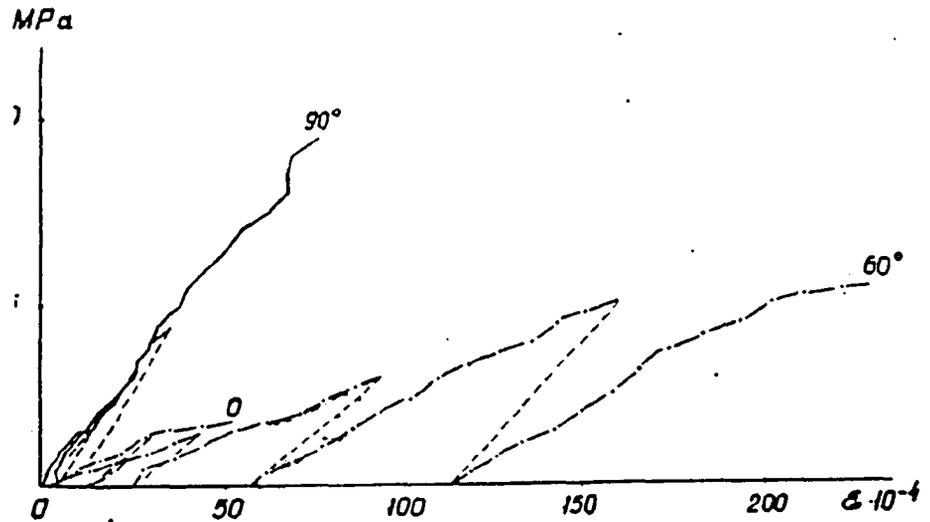


Figura 1.7

Deformación del macizo de carbón a varios ángulos de giro del afloramiento (buzamiento de las fisuras hacia el afloramiento)

En los diagramas se observa que, con el ángulo de giro de 90°, el borde del macizo se deforma elásticamente y la rotura es frágil. A 60° surgen deformaciones residuales significativas y a 0° la parte extrema del macizo pasa a estado pseudoplástico, bajo cargas insignificantes del orden 1.2-1.5 MPa. La destrucción ocurre por el sistema principal de fisuras.

La resistencia mínima, de la parte extrema del macizo, se observa en todos los casos cuando los ángulos de buzamiento de las fisuras están entre 30° y 60°. Cuando los ángulos de buzamiento de las fisuras son 90 o 0°, la resistencia de la parte extrema del

macizo aproximadamente es igual. El macizo posee resistencia máxima, cuando las fisuras están colocadas perpendicularmente en relación al afloramiento y mínima, cuando las fisuras y el afloramiento son paralelos.

En relación cualitativa, los resultados obtenidos coinciden básicamente con los datos de las investigaciones teóricas y experimentales realizadas por otros autores. Sin embargo y según los datos cuantitativos los resultados se diferencian.

Según los ensayos in situ, la resistencia máxima y mínima de la parte extrema del macizo de carbón se diferencian en un 30% y, según Knoll y Denchauss en el 40 y el 100%, con arreglo a las muestras de rocas. Esa diferencia es muchísimo mayor, ante todo porque las pruebas en las muestras se realizaron en condiciones de compresión uniaxial, durante la cual la influencia de la fisuración se manifiesta considerablemente más que en los ensayos in situ (esquema-de carga 1.1).

Además, cuando los ángulos de buzamiento de las fisuras son de  $30^\circ$ , la rotura de las rocas ocurre exclusivamente por las fisuras existentes en forma de un estrato en relación con otro.

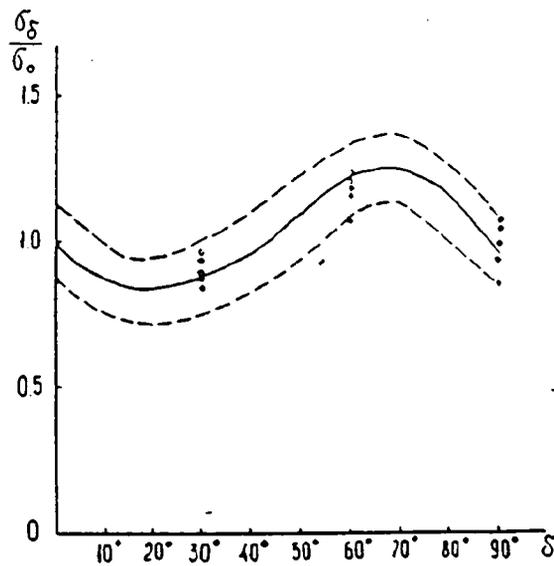
El desplazamiento puede ser diverso, debido a las condiciones de rozamiento entre estratos por los planos de debilidad.

Para encontrar la relación entre la variación de la resistencia del frente del macizo de carbón en relación con el ángulo de buzamiento de las fisuras ( $\delta$ ) y el ángulo de giro del afloramiento ( $\beta$ ), se realizó un tratamiento estadístico de todos los datos de los experimentos.

La resistencia de las capas sometidas a prueba fue desde 5.4 hasta 10.2 MPa, con  $\delta=0$  (dirección de la carga perpendicular a la estratificación del macizo) y  $\beta = \text{constante}$ , en función de las dimensiones de las placas de apoyo de la prensa, y con  $\beta=0$  y  $\delta=\text{constante}$  entre - 2.5 - 7.1 MPa. La dimensión de las placas de apoyo fue de 50x50, 50x25 y 50x15 cm.

En la fig. 1.8. está presentada la curva generalizada de la variación de los valores medios de la resistencia relativa de la parte extrema del macizo, en función del ángulo de buzamiento de las fisuras ( $\delta$ ) y están trazados los límites de variación. En la curva podemos observar que se conserva la regularidad general, independientemente de la resistencia del macizo y dimensiones de las placas de apoyo. La resistencia relativa mínima del macizo, a partir de los valores

medios, se observa en el ángulo de buzamiento de las fisuras límites de variación. La exactitud máxima se registra con  $\delta = 70$ , límites de variación entre 50 y 80.



**Figura 1.8**

Resistencia del macizo en función del ángulo de buzamiento de las fisuras.

$\sigma$  - Resistencia en función del ángulo de buzamiento asignado ( $\delta$ )

En la fig.1.9. están representadas las curvas generalizadas de variación de los valores medios de la resistencia relativa del macizo en función el ángulo de giro ( $\beta$ ) para dos dimensiones de las placas de apoyo de la

prensa. Las curvas 1 y 2 reflejan la variación de la resistencia relativa del macizo con buzamiento de las fisuras hacia el macizo, y las curvas 3 y 4 - con buzamiento de las fisuras desde el macizo.

El macizo posee resistencia mínima con  $\beta = 0^\circ$  (dirección de las fisuras paralelamente al afloramiento). Con el aumento del ángulo , aumenta la resistencia relativa del macizo y con  $\beta = 90^\circ$  (dirección de las fisuras perpendicularmente al afloramiento), obtiene el valor máximo.

El valor de la resistencia relativa depende de la anchura de la franja cargada del macizo y del buzamiento de las fisuras en relación al afloramiento. Con el aumento de la anchura de la franja, aumenta la resistencia, porque la influencia de la fisuración se manifiesta en menor grado. Con buzamiento de las fisuras hacia el macizo y resto de condiciones iguales, la resistencia relativa es mayor que con buzamiento de las fisuras desde el macizo.

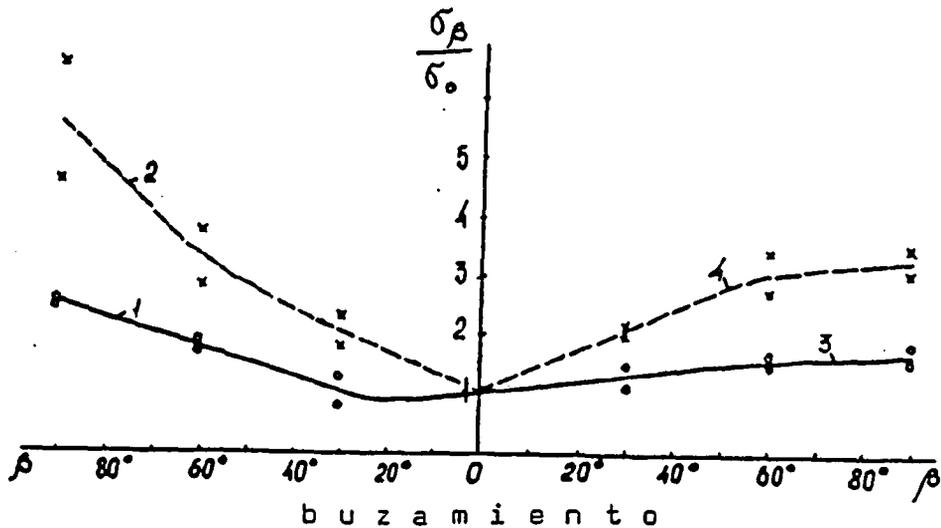


Figura 1.9

Resistencia del macizo en función del ángulo de giro del afloramiento y diferente buzamiento de las fisuras.

1 y 3 - Pruebas con dimensiones de las placas de apoyo 50 x 50.

2 y 4 - Placas de apoyo 50 x 25 cm.

*Ejemplo de influencia de la fisuración de la parte extrema del macizo de carbón en el estado tensional.*

En las minas "Oruschba" V.I.Chapaev de la Agrupación Donbassantrazit, se explota la capa de antracita h8, peligrosa por golpe. Potencia media de la capa 1-1.1 m, buzamiento 18", profundidad de explotación 500 m. La capa se distingue por una macroestructura inestable. En algunos tramos la capa

está formada, principalmente, por carbón homogéneo de resistencia a la compresión uniaxial 11.5 a 26 MPa. En algunos tramos de la capa, bajo el techo, yace un paquete blando de carbón rico en cenizas, de potencia 0.4 m y resistencia 1.5 MPa. En los límites de los campos mineros, se encuentran tramos de fisuración intensiva de la capa. En 3 tramos, de condiciones minero-técnicas aproximadamente equivalentes pero que se diferencian por la macroestructura de la capa, se realizó la valoración del estado tensional de la parte extrema del macizo de carbón. La valoración se realizó a base de medición de la cantidad de detritos, obtenidos de la perforación. En la fig.1.10. están presentados los diagramas que ilustran los resultados obtenidos. Las columnas estructurales de la capa están presentadas con indicación: a la izquierda - potencia, a la derecha - resistencia. En los diagramas presentados, la cantidad de detritos (litros), perforados en cada metro del sondeo, está trazada en el eje de ordenadas y en el eje de abscisas - la profundidad del sondeo en metros. Como podemos observar de la figura la zona de altas tensiones del macizo homogéneo (y, conformemente la salida máxima de detritos) comienza a la distancia de 2.5 m del afloramiento y cuando tiene lugar la fisuración - a 4 m de la boca del sondeo (curva II). Cuanto más cerca del afloramiento se encuentra la zona de altas tensiones, tanto mayor es el grado de peligro por golpe.

al umbral de referencia. Las muestras que superan el umbral deben ser sometidas al análisis del delta-P normal.

#### *Indice delta-I*

ETTINGER et al, han comprobado que existe una relación entre la estructura física del carbón y su tendencia a presentar fenómenos gaseodinámicos. El método del índice yodo pone de manifiesto esta relación.

- Carbones con estructura trastornada e índice delta-I mayor de 3,5 mg., de yodo por 1 g, se consideran carbones inestables de estructura potencialmente peligrosa.
  
- Carbones con estructura poco trastornada e índice yodo  $\leq$  3,5 mg de yodo por 1 g de carbón, están relacionados con estructuras estables.

La metodología para determinar el índice está descrita en el trabajo de MORENO y colaboradores.

a 14 ó 15 mm de mercurio es un indicador de riesgo potencial de DI.

El índice delta-P no solamente es un indicador de la velocidad de desorción: también caracteriza otras dos propiedades del carbón. En primer lugar su resistencia mecánica: Cuanto más elevado es el delta-P, el carbón está más fisurado y por lo tanto es menos resistente que un carbón con un delta-P más bajo.

#### **Indice "delta-P rápido".**

Dada la complejidad de las medidas del índice delta-P, se ideó un aparato que hace una preclasificación de las muestras en dos clases: las de índice de delta-P alto y las de índice delta-P bajo. El límite que separa ambas clases es delta-P = 14 mm Hg (1,8 kPa).

El método se basa en que si un carbón adsorbe rápidamente el metano, también adsorberá rápidamente otro gas. El gas elegido fue el NO<sub>2</sub>, por la comodidad de empleo y por no encontrarse entre los componentes del carbón natural, que podrían enmascarar la prueba. A partir del índice delta-p rápido se eliminan las muestras que con seguridad tienen un delta-P inferior

## CONTROL DEL GAS

### *Indice delta-P.*

*El índice delta-P fue desarrollado por ETTINGER y se obtiene de la siguiente forma:*

*Se toma una muestra y se desgasifica al vacío durante 1 hora y 30 minutos. A continuación se satura con metano durante el mismo tiempo; después se pone en comunicación con un recinto fijo en el cual previamente se ha hecho el vacío. Al cabo de 60 segundos se mide el aumento de presión en el recinto, tras la desorción del gas. La lectura del manómetro expresada en mm. de mercurio es el valor del índice delta-P.*

*El índice refleja el grado de microfisuración o milonitización, y por tanto caracteriza la velocidad de desorción media en condiciones idénticas para todas las muestras; el contenido en cenizas de la muestra afecta al valor del índice.*

*El método requiere un alto número de muestras para obtener una valoración objetiva. Los resultados obtenidos en Francia (Belin) y las disposiciones vigentes en Alemania, determinan que un índice superior*

$$W_{et} = \frac{E_e}{E_p} = \frac{\int_{\epsilon_p}^{\epsilon_t} f_1(\epsilon) d\epsilon}{\int_{\epsilon_0}^{\epsilon_t} f(\epsilon) d\epsilon - \int_{\epsilon_p}^{\epsilon_t} f_1(\epsilon) d\epsilon}$$

donde:

$\epsilon_t$  = deformación total

$\epsilon_p$  = deformación permanente

$\epsilon_e$  = deformación elástica

$E_t$  = energía total

$E_p$  = energía de deformación permanente

$E_e$  = energía de deformación elástica

La energía total aplicada a una muestra  $E_t$ , se compone de la energía de deformación elástica  $E_e$ , la cual se libera totalmente al suprimir la tensión aplicada, y la energía de deformación permanente  $E_p$ , que no se recupera al eliminar la carga aplicada. La energía de deformación permanente es la energía utilizada en la disgregación de los granos, en la propagación de las fracturas, en la fricción intergranular, etc.

Los valores de  $W_{et}$  pueden obtenerse a partir de experimentos de laboratorio o de evaluación "in situ". Se ha encontrado que los carbones con  $W_{et}$  mayor que cinco son muy propensos a los estallidos; de 2 a 5 lo son ligeramente y con menos de 2 no son propensos a los estallidos.

### *Determinación del estado tensional.*

*Para determinar el estado tensional de las capas de carbón se utilizó el método de la presión crítica, el cual da la posibilidad de determinar la componente menor del tensor de las tensiones, que actúa a la profundidad de la capa.*

*Para determinar el valor de la presión crítica en la capa de carbón, se sondean barrenos de 5 m., los cuales se hermetizan con cierres hidráulicos, conectados a la bomba de alta presión. Aumentando en la cámara del sondeo la presión del agua, se registra su mayor valor. Por los valores máximos, obtenidos de la presión del agua en el sondeo, se determina el valor de la presión crítica.*

### *Indice Wet.*

*El índice de energía de deformación Wet se define como la relación entre la energía de deformación elástica acumulada y la energía de deformación permanente. Se expresa por la fórmula:*

$$R1 = 0,006 (q - 40) + 0,01 \text{ MPa.}$$

$$R2' = 0,07 (q - 20) + 0,5 \text{ MPa.}$$

$$R2'' = 0,2 (q - 20) + 0,5 \text{ MPa.}$$

$$R3 = 0,008 q \text{ MPa.}$$

$$f = \frac{q - 50}{20} + 0,1$$

En caso de que  $q < a_i$ , donde  $a_i = 20, 40, 50$  la fórmula  $(q - a_i)$  se considera igual a cero.

Cuando la capa de carbón tiene una estructura complicada, o sea, está compuesta por muchas venas, como índice de resistencia se considera la resistencia ponderada media de la capa, determinada por la fórmula:

$$q_{rp} = \frac{q_1 m_1 + q_2 m_2 + \dots + q_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

donde

$q_{rp}$  = Resistencia ponderada de la capa.

$q_1, \dots, q_n$  = Indices de resistencia de las venas.

$m_1, \dots, m_n$  = Potencia de las venas.

realizaron no menos de tres medidas de la profundidad de penetración del cono a una distancia de 5 - 10 cm. una de otra. El valor aritmético medio de cinco mediciones se considera como resistencia del carbón en el lugar de la medición. El índice de la resistencia es la magnitud

$$q = 100 - h$$

donde:

$q$  = Índice de la resistencia.

$h$  = Profundidad de penetración del cono, mm.

Según los datos obtenidos, a base del análisis de correlación, se determina la relación entre el índice de la resistencia  $q$  y el límite de rotura de los carbones durante la tracción,  $R1$ , compresión de un eje,  $R2$ , compresión volumétrica,  $R2'$ , desplazamiento,  $R3$ , así como el coeficiente de resistencia  $f$ , determinado por el método de machacado, (índice de Protodia Konov).

El cálculo de los límites de la resistencia del carbón durante la tracción ( $R1$ ), compresión de un eje ( $R2'$ ), compresión volumétrica ( $R2''$ ), desplazamiento ( $R3$ ) y del coeficiente de la resistencia ( $f$ ) se realizó mediante las fórmulas:

carbón homogéneo por la resistencia y deformación, separados entre sí por intercalaciones delgadas de material débil y superficie lisa en los contactos. Tal estructura de las capas de antracita predetermina las propiedades de la rotura del frente del macizo de carbón. El macizo, a profundidad 0.5-0.6 m, se rompe en bloques aislados, los cuales por las superficies lisas, bajo la acción de la presión de apoyo, instantáneamente se extrusionan a la galería. El carbón en cada bloque aislado puede conservar la resistencia e integridad. El tipo de rotura de la capa influye fuertemente en la dinámica de variación del estado tensional de la parte extrema del macizo, por delante del frente de arranque. En función de las condiciones minero-técnicas concretas, el valor y alejamiento del máximo de la presión de apoyo en el macizo, pueden cambiar durante un espacio de tiempo corto, por lo que es necesario tenerlos en consideración, durante la elección de los métodos racionales de control del estado del macizo.

#### **Determinación de la resistencia del carbón.**

La determinación de las propiedades de resistencia de las capas de carbón se realizó con el medidor de la resistencia P-1. Para la determinación de la resistencia del carbón, en el lugar de medición se

Cuando la potencia del paquete débil es mayor, con los mismos valores de 'a' la capacidad portante de la parte extrema del macizo se determina por el límite de fluencia. Esta conclusión coincide con los resultados de múltiples pruebas in situ de capas, realizadas por el VNIMI en todos los yacimientos del país. De esta manera, se pueden aceptar los siguientes límites de la resistencia relativa y de la potencia mínima del paquete débil de carbón trastornado, en el cual la parte extrema de la capa se deforma plásticamente:

1. cuando  $a \geq 0.2$ ,  $m/M \geq 0.1$

2. cuando  $a \geq 0.05$ ,  $m/M \geq 0.2$

En los dos casos  $\sigma_c/\sigma_f \geq 0.2$

Como conclusión, concentremos la atención en las capas de carbón, las cuales por su macroestructura deben atribuirse al 3<sub>er</sub> grupo de macizos. Los representantes más típicos de este grupo son las capas de antracita del Donbass Oriental. Algunas de ellas son propensas a golpes de techo (por ejemplo, en las minas 'Yushnaya' Agrupación "Rostovugol", Druschba Agrupación "Antrazit" y otras).

Las capas de la región citada del Donbass, en tramos aislados se componen de dos y más paquetes de

la resistencia de los paquetes débiles de carbón trastornado, independientemente del yacimiento, en la mayoría de los casos no superan los 10-15 kg/cm<sup>2</sup>, lo que es 10-20 veces menor a la resistencia de los paquetes firmes. Por eso, en los macizos existentes realmente del segundo tipo nos encontramos con las condiciones, en las cuales  $a < 0.125$ . Del diagrama (ver fig.1.11) observamos que cuando  $a=0.01-0.05$  y  $m/M=0.2$ , la resistencia relativa de la capa no supera 0.2. En los limites determinados de la variación 'a', con una potencia del paquete débil trastornado, equivalente a 20% de la potencia total, el carácter de la deformación de la parte extrema del macizo, prácticamente se distingue poco del carácter de la deformación del paquete débil.

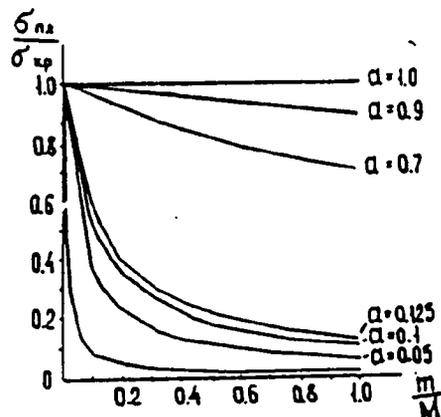


Figura 1.11

Variación de la resistencia relativa de la muestra de dos capas.

$\sigma_d$  - límite de resistencia a la compresión del paquete débil;

$m$  - potencia de la capa débil;

$M$  - potencia de toda la muestra.

La comparación de los resultados de los ensayos in situ y los cálculos, según la fórmula de F.P. Bublik, manifiesta una convergencia totalmente satisfactoria. Si en la fórmula anterior  $\sigma_d/\sigma_f = a$ ,  $R = \sigma_c$  y dividimos las dos partes de la igualdad por  $\sigma_f$ , entonces:

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_f} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{a} - 1\right) \cdot \frac{m}{M}}$$

Examinamos el cambio del valor de la relación, cuando varia 'a' y  $m/M$  desde 0 hasta 1. Cuando  $a=1$ , la resistencia de la capa débil es equivalente a la resistencia de la capa firme, o sea la capa es homogénea y entonces  $\sigma_c/\sigma_f=1$ . Cuando  $m/M = 1$ , la potencia de la capa débil es equivalente a la potencia de toda la capa. Todos los demás casos son intermedios.

Con los resultados de los cálculos realizados, se trazaron los diagramas de variación de la resistencia relativa  $\sigma_c/\sigma_f$  (fig. 1.11). Cuando  $a = 0.125$ , la influencia de la capa débil en la disminución de la resistencia de la capa se manifiesta bastante bruscamente. Los ensayos in situ del carbón demostraron que

3. El macizo se compone de dos o más estratos semejantes por la resistencia y carácter de deformación, separados entre si por intercalaciones delgadas de carbón arcilloso débil y triturado, de superficie lisa en los contactos.

Examinemos el problema de la influencia de la potencia del paquete de carbón débil trastornado, en la resistencia y el carácter de deformación del frente de carbón. Los ensayos in situ determinaron que, cuando existe un paquete débil trastornado, el frente del macizo se deforma bajo la carga equivalente al límite de fluencia del carbón de ese paquete. Surge la pregunta:

¿En que gama de relaciones de potencias entre los paquetes débil y firme dicha afirmación es correcta?

Utilizamos la fórmula de F.P. Bublik, propuesta para la valoración de la capacidad portante de pilares homogéneos :

$$R = \frac{\sigma_f}{1 + \left( \frac{\sigma_f}{\sigma_d} - 1 \right) \cdot \frac{m}{M}}$$

donde:

$R$  - resistencia de la muestra de dos capas;

$\sigma_f$  - límite de resistencia a la compresión del paquete firme;

De esa manera, la fisuración de las capas de carbón influye considerablemente en el carácter de deformación, destrucción y estado tensional de la parte extrema del macizo. El desarrollo de las deformaciones pseudoplásticas de las rocas, provocadas por las fisuras naturales cerca del afloramiento, disminuyen la posibilidad de la formación de focos de golpes de techo en la profundidad del macizo, pero crean condiciones más complicadas de mantenimiento de las galerías. Además de la fisuración, las propiedades mecánicas de algunos componentes de las rocas franqueadas por las galerías, influyen en la resistencia, carácter de deformación y estado tensional del macizo.

Las ensayos in situ, demostraron que se pueden destacar 3 tipos de macizos fisurados, según las propiedades de la macroestructura :

1. El macizo se compone de uno o varios estratos de rocas poco diferenciados por la resistencia (no más de 1.5-2 veces) y carácter de deformación. Esos macizos se consideran homogéneos;
2. El macizo se compone de estratos aislados diferenciados considerablemente por la resistencia (en 10-20 veces) y carácter de deformación. Esos macizos se deben considerar heterogéneos, estratificados;

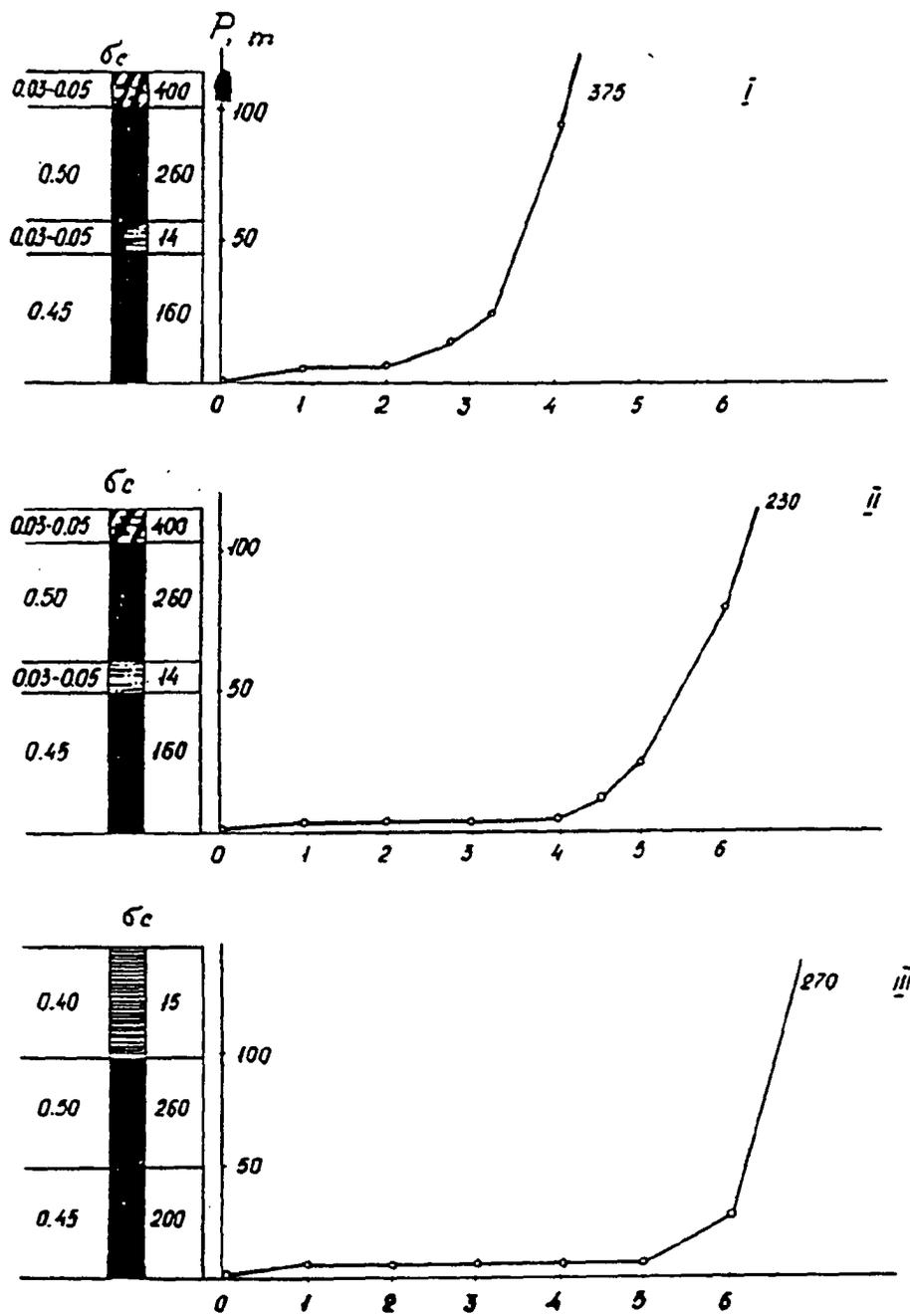


Figura 1.10

Valoración del estado de tensión de la capa en función de la macroestructura.

I-Carbón; II-intercalación de roca; III-paquete blando de carbón alto en cenizas.

### CONTENIDO Y EMISION DEL GRISU.

El parámetro más importante para caracterizar el riesgo de desprendimientos de una capa de carbón, es la cantidad o concentración de gas en la capa y el modo en que el gas es emitido desde la misma, es decir la velocidad de desorción.

Los índices de desorción caracterizan el impulso para iniciar el desprendimiento en tanto que la concentración determina la energía debida al gas.

#### Velocidad de desorción.

La forma y velocidad de desorción del gas depende de los siguientes parámetros físicos: Concentración de gas en el instante inicial, del grado de microfisuración o milonitización del carbón, de la viscosidad del gas al pasar a través de las microfisuras, del tiempo transcurrido entre la obtención de la muestra y la ejecución de la medida, y de la naturaleza del gas (el dióxido de carbono se desorbe más rápidamente que el metano).

Algunos índices referentes a la emisión de gas se basan en la desorción del gas residual que queda en una muestra; inmediatamente después de extraerla del macizo, otros, en la adsorción del gas por parte de

muestras desgasificadas.

La velocidad de la separación del gas se caracteriza por los índices de la desorción  $\text{L}_F$  y  $\text{L}_J$ , los cuales se determinan en los laboratorios, y por la velocidad inicial del desprendimiento de gas de los sondeos en capa.

La velocidad inicial del desprendimiento de gas se determina de la manera siguiente:

Después de finalizar el sondeo lo hermetizan con un cierre de gas. La velocidad inicial se mide con micromanómetro PG-2MA, conectado al cierre de gas. Para determinar el estado gaseodinámico del frente de la capa de carbón, la medición de la velocidad inicial del desprendimiento de gas se realiza en diferentes profundidades del frente. Esto da la posibilidad de valorar el grado de descarga y de desgasificación de la zona del frente de la capa de carbón.

Los métodos de valoración relativa del estado tensional se basan en los sondeos de prueba y en las técnicas de emisión sísmica, con el fin de determinar el acercamiento del frente a una zona de elevadas tensiones o el grado de inestabilidad existente en el macizo.

Desde el punto de vista de la planificación técnica de la mina deben determinarse las zonas de sobretensión inducida por los límites de explotación y por los macizos residuales abandonados por las dificultades locales de la explotación, de las que trataremos más adelante.

*Índice  $g_i$ .*

El índice  $g_i$  es uno de los métodos de caracterización de la susceptibilidad de un macizo de carbón frente a fenómenos dinámicos empleado en la Unión Soviética.

Con el índice  $g_i$  se determina el caudal de gas desprendido de una cámara de 500 mm., a profundidades crecientes de perforación.

AIRUNI y BOLSCHINSCY 1981, establecen que la capa de carbón es peligrosa en función de  $g_i$  y el contenido de materias volátiles (MV), a saber:

para  $MV < 15\%$  si  $g_i \geq 5$  l/min

para  $15\% \leq MV \leq 20\%$  si  $g_i \geq 4,5$  l/min

para  $20\% \leq MV \leq 30\%$  si  $g_i \geq 4,0$  l/min

*Contenido de gas.*

*Para determinar el contenido de gas de las capas de carbón en las condiciones de los pozos y del laboratorio se realizan las determinaciones de los siguientes índices:*

- 1. La presión del gas en la capa de carbón.*
- 2. La temperatura de la capa.*
- 3. El contenido potencial de metano en el carbón.*
- 4. El análisis técnico del carbón.*
- 5. La densidad del carbón.*
- 6. La porosidad del carbón.*
- 7. El volumen de filtración del carbón.*

*Para medir la presión del gas se sondea un barreno a la capa de carbón por un tapón de roca. El sondeo se hermetiza en el límite "carbón-roca". Por el hermetizador se incluye previamente un tubo de cobre con el manómetro en el extremo para registrar la presión del gas en la capa.*

*La temperatura de la capa de carbón se mide con un termómetro de contacto en el sondeo de la capa de carbón. Los demás índices (el contenido potencial de metano, el análisis técnico, la densidad, la porosidad y el volumen de filtración) se determinan en el laboratorio sobre las muestras de carbón, seleccionadas en las capas investigadas.*

*Con los datos obtenidos en el laboratorio, se trazan isotermas experimentales de la adsorción del metano para cada capa de carbón. Con las isotermas de desorción, en correspondencia con la presión real del gas en la capa de carbón y su temperatura se determina la cantidad de gas en la capa.*

### *OTROS INDICES.*

*En este apartado se tratan aquellos índices que no están relacionados específicamente con un determinado parámetro individual como puede ser el gas o las tensiones, o que responden a varios de ellos.*

#### *Detección microsísmica.*

*Los desprendimientos vienen generalmente precedidos por una redistribución de tensiones en el carbón y en los estratos adyacentes, lo que da lugar a una fracturación tanto del carbón como de la roca.*

*Se ha demostrado que el proceso que conduce a la fracturación final es más bien la coincidencia de numerosas fracturas, que la propagación de una única fractura. Cada etapa del desarrollo de la fractura genera impulsos de energía microsísmica, que se irradian y propagan en un tren amortiguado de ondas sísmicas.*

*Dadas las características del método entendemos que su exposición no se corresponde con el presente subapartado, y teniendo en cuenta su importancia lo trataremos específicamente en un capítulo posterior.*

### *Cambio de temperatura.*

*Es un método que se utiliza en Polonia para predecir desprendimientos, basado en medir la temperatura del frente de carbón durante la perforación de sondeos en la capa. Un descenso en la temperatura se cree que indica una desorción intensa del gas del carbón, que tiene lugar en zonas de concentración de tensiones.*

### *Convergencia de los hastiales.*

*Parece que existe una relación entre la convergencia de los hastiales, fluencia-del carbón y susceptibilidad de Fenómeno Dinámico*

*Los retrasos en la convergencia de los hastiales pueden originar que se produzca de forma brusca, lo que lleva consigo una dislocación en el macizo que puede originar un Fenómeno Dinámico*

#### **METODOS DE CONTROL Y PREVENCIÓN.**

*En los yacimientos de carbón propensos a desprendimientos, hay que aplicar diversos métodos para reducir los riesgos durante la explotación. En primer lugar es necesario diseñar las labores mineras de manera que se puedan evitar altas concentraciones de tensiones y planificar las operaciones mineras de modo que la energía de deformación pueda disiparse de forma segura durante la extracción.*

*El método mas efectivo para la prevención es la explotación previa de las capas de defensa, también conocidas como protectoras o égidas. Cuando no es posible disponer de los beneficios de la explotación previa hay que adoptar otros métodos para reducir el contenido de gas, consisten en voladuras para inducir una fracturación, a veces junto con la inyección de agua en las capas, así como perforar sondeos para relajar presión de los estratos y liberar gas.*

*El éxito de los diversos métodos varía de un área a otra, existen diversos ejemplos en los que el desprendimiento ha tenido lugar, a pesar de haber dado todos los pasos para eliminar el riesgo. Es necesario comprobar la eficacia lograda por el método aplicado.*

*Explotación previa de las capas de protección.*

*La regla esencial de la distensión ha sido inscrita en primer lugar; ha de realizarse una investigación para lograr la distensión óptima con el fin de abordar con seguridad la explotación de un yacimiento sospechoso. La naturaleza de las rocas encajantes debe guiar la elección de la capa égida, en función de la estratigrafía del yacimiento.*

*Los principios advierten sobre el riesgo de las sobrecargas, netamente bajo la vertical de un taller o de un pilar residual. La experiencia determina en 15 m. la anchura límite por debajo de la cual un pilar deviene inofensivo.*

*La explotación previa de las capas de protección, también conocida como explotación égida, constituye el método más eficaz para prevenir los desprendimientos. Para emplear correctamente los métodos de extracción previa, hay que planificar la explotación de modo que su acción sea la más amplia posible y evitar las concentraciones residuales de tensiones, o al menos minimizar la posibilidad de tal situación.*

*Donde sea posible, la capa menos tensionada y gasificada, por tanto la menos propensa al desprendi-*

miento, debe ser explotada en primer lugar con el fin de distender los estratos en las capas adyacentes y liberar el gas. La "capa protectora" puede estar situada encima o debajo de las peligrosas, aunque explotar primero una capa infrayacente se debe considerar sólo cuando los problemas de desprendimientos son superiores a los que la explotación de la capa trae consigo.

Los trabajos en las capas propensas a desprendimientos se deben planificar en correspondencia con las labores en la capa protectora. Los cuarteles se deben explotar en la misma dirección y tener las mismas dimensiones.

Se debe dejar transcurrir un período de tiempo adecuado antes de trabajar sobre la capa peligrosa. BELIN, 1.981 sugiere que hay que esperar un mes; en algunas minas de Rusia, se deja que pasen 2 años antes de explotar la capa peligrosa.

La extensión del efecto de la capa protectora depende de la naturaleza de los estratos intermedios. Las cifras sugeridas por BELIN (1.981), para la explotación de una capa de 1 m., la zona distendida se extiende de 30 a 50 m. en el muro y de 60 a 90. en el techo. Si la distancia es superior a la admitida para la desgasificación natural de las capas situadas

al muro, se puede ampliar el efecto de protección mediante la captación del gas de la capa propensa a desprendimientos.

La experiencia soviética sobre la explotación égida de capas inclinadas es muy interesante, pues salvo los estudios realizados por D y E en Lorena, desconocemos otras aplicaciones en Europa occidental, siendo desde el punto de una explotación cualquiera, una ayuda muy importante, por lo que procede extractar las disposiciones generales.

Si todas las capas de una serie están sometidas a Fenómenos Dinámicos, se toma como capa protectora la que está menos sometida a ellos y la más favorable desde el punto de vista del efecto protector para ser explotada como una capa independiente.

Las capas de una serie pueden explotarse de forma descendente, ascendente o alternadamente.

La explotación de una capa protectora debe realizarse sin dejar pilares abandonados. En casos excepcionales, con la autorización del Director Técnico de la mina, se admite dejar macizos abandonados, con la obligación expresa de anotar su posición sobre los planos de labores y determinar previamente las zonas de sobretensión.

*Se pueden realizar labores en las capas sometidas a fenómenos dinámicos de carbón y de gas, entre los límites de las zonas protegidas, límites que se definen en los párrafos siguientes, sin la aplicación de medidas especiales.*

*La instrucción soviética define los límites del campo de influencia de la protección inducida por la explotación previa de una capa protectora, en función del buzamiento de la capa, la altura de explotación, el tratamiento del postaller, la naturaleza de las rocas encajantes.*

*Debe existir un desfase entre la posición de los frentes de la capa protectora y la defendida, los cuales dependen de la distancia entre capas. En el caso de una disposición en testeros de los frentes de arranque, en la capa protectora y en las capas propensas, se toma como límite de la labor de arranque en la capa protectora la zona más retrasada del frente y en la capa propensa, la zona más avanzada.*

*No se permite el paso de la línea del frente de arranque de la capa protectora por las labores mineras de la capa propensa.*

*En casos excepcionales se autoriza la aproximación de las labores mineras, en capas susceptibles, a*

la línea del frente de arranque de la capa protectora y el paso de esta línea. La aproximación y paso sólo se realiza después de parada del frente de la capa protectora. En los límites de influencia de la línea las labores mineras en la capa propensa se realizan como si se tratase de una zona especialmente peligrosa.

En ciertos casos particulares, cuando se ha establecido por la práctica la extensión de la acción protectora pendiente arriba o pendiente abajo de la capa, se admite el diseño de labores preparatorias en estas zonas con la condición de realizar un control continuo de la eficacia de la acción protectora.

Con el fin de aumentar el efecto de la acción protectora, conviene proceder a la desgasificación complementaria de la capa a proteger: esto se realiza en zonas de fracturas no comunicadas.

El servicio topográfico de la mina debe anotar, sistemáticamente, en los planos de labores mineras las zonas protegidas, las zonas no protegidas y las zonas de sobretensión. El Topógrafo debe informar al Ingeniero de la mina de entrada de labores mineras en zonas de sobretensión o en zonas no protegidas y también de la salida de las labores de estas zonas.

Las zonas de sobretensión pueden reducir

*considerablemente e incluso suprimir completamente el efecto de protección en ciertas zonas de la capa sujeta a fenómenos dinámicos; se ha establecido que un elevado porcentaje de los desprendimientos ocurren en dichas zonas.*

*Para determinar las zonas de sobrepresiones, se deben tener en cuenta los pilares cuyas dimensiones son superiores a  $0,1 L$  ( $L$  es la magnitud de la zona de sobretensión por delante del frente) y los límites de la explotación en las capas situadas a una distancia que puede alcanzar 200 m. al techo y 250 m. al muro de la capa examinada.*

*Cuando existan muchas capas, teniendo cada una de ellas pilares de carbón o límites de explotación, todas las zonas de apoyo se suman sobre la capa sometida a fenómenos dinámicos.*

#### *Inyección de agua.*

*En algunas minas de carbón, el éxito en la prevención de estos fenómenos, se ha conseguido mediante la inyección, en las capas propensas, de agua a presión, a través de una serie de sondeos largos (a menudo de 30 m. o más), perforados a partir de las galerías, en la zona delante del frente. La teoría es*

que según aumenta la humedad, la capacidad del carbón para acumular energía elástica de deformación decrece y la energía de deformación permanente no recuperable aumenta. Consecuentemente, el índice de energía que influye en la seguridad ante este tipo de fenómenos "húmedos", disminuye. Cuando se para la inyección, el metano tiende a hacer el proceso inverso y por tanto los efectos de la inyección no son duraderos.

En la cuenca de Pecs, Hungría y en la URSS, se ha probado una técnica llamada de "perforación". El carbón blando en el frente es arrancado con un chorro de agua, para crear cavidades de relajación.

En muchos países, sin embargo, la inyección de agua se evita deliberadamente, al pensar que el agua puede aumentar el riesgo del fenómeno, por retener los gases en el carbón e incrementar la presión en el techo y el muro.

Una extensión del método de inyección de agua es el conocido como los "barrenos bajo agua", pega de barrenos de 8 a 10 m. de profundidad rellenos con agua a presiones de 7 KPa aproximadamente. El objeto es transmitir la presión ejercida a través del agua a lo largo de toda la longitud del barreno y los planos de cruceo adyacentes.

### *Indice de paramagnetismo.*

*El índice de la concentración de los centros paramagnéticos en el carbón (C.P.M.) caracteriza la estructura molecular del carbón y la propensión de la destrucción autovoluntaria.*

*El índice C.P.M. se determina en el radioespectrómetro electrónico de resonancia paramagnética (R.E.P.) por una metodología standard.*

### *Resumen de la caracterización experimental.*

*Las capas de carbón susceptibles a los Fenómenos Dinámicos, se caracterizan por:*

- Resistencia reducida, que se diferencia significativamente no sólo en algunos tramos de la misma capa, si no en diferentes venas.*
- Tensiones elevadas en algunos tramos de las capas de carbón, que superan la presión de las rocas suprayacentes.*
- Contenido de gas potencial elevado, que alcanza 19-22 cm<sup>3</sup>/g.s.m.*
- Velocidades elevadas de desorción.*

- *Velocidades iniciales reducidas de desprendimiento de gas en la mayoría de los casos.*
- *Concentración elevada de los centros paramagnéticos, que alcanzan 3,37-6,99 c.p.m./g 10*
- *Estabilidad reducida de las paredes del sondeo y salida elevada de carbón en polvo.*

## METODOS SOVIETICOS DE CARACTERIZACION SISMICA.

### GENERALIDADES.

El control de la emisión acústica EA, por delante del frente del taller, en el macizo de carbón, se realiza por medio de aparatos de captación de sonido, que aseguran la recepción, transmisión y registro de las señales microsísmicas en la gama de frecuencia 200 - 1200 Hz.

El parámetro de control de la EA es su actividad (Ni), que es la cantidad de impulsos de EA (suceso ondulatorio amortiguado que se genera por la modificación, rotura, de la estructura del material) en la unidad de tiempo establecida.

Las metodologías de análisis de los impulsos de actividad de EA permiten evaluar los cambios de estado por delante del frente del taller, en el macizo, y realizar el pronóstico de sus modificaciones.

Los resultados del pronóstico tienen carácter alternativo, "peligro" o "sin peligro", y evalúan el riesgo potencial de las manifestaciones gaseodinámicas del macizo no previstas por la tecnología de

*explotación. En el caso general, por el análisis de los sucesos EA, se determinan los períodos de aumento y disminución de la tensión en la parte próxima del frente de carbón, inducidos por la tensión de las rocas encajantes.*

*Los parámetros del algoritmo de análisis de los sucesos y las reglas de interpretación de sus resultados, sólo pueden establecerse después del control de la EA del macizo, en las condiciones geológico-mineras locales, durante el avance del taller de arranque comprendido entre 100 y 150 m.*

*De la experiencia de empleo del método de pronóstico de manifestaciones peligrosas, debidas a la presión de la roca, por medio de la EA del macizo en el Donbass, se deduce que:*

- el método permite detectar las zonas potencialmente peligrosas, en cuyo laboreo pueden surgir fenómenos dinámicos de carbón y de gas, o golpes de rocas, o derrabe de las rocas del techo.*
- el pronóstico del peligro de derrabe de carbón, bajo la acción de su propio peso, se hace en función de los resultados del registro conjunto de anomalías negativas de la EA y del trastorno de la capa.*

- la probabilidad de que el fenómeno se genere en la zona potencialmente peligrosa que determina el pronóstico, observando la metodología de pronóstico y la tecnología de los trabajos mineros, es superior a 0,96.
- la frecuencia máxima de acontecimientos en los límites de la zona potencialmente peligrosa que determina el pronóstico, se encuentra en el 40 metro por delante del frente que se pronostica.

#### **Instalación de los receptores sísmicos.**

Para el control de EA del macizo se instalan en el pozo receptores sísmicos y los bloques de transmisión ZUA. El lugar y el método de instalación de los receptores sísmicos depende de la disposición mutua de las labores mineras, de las propiedades conductoras del carbón y de las rocas encajantes que se determinan in situ.

En el caso general, en el lugar y con el método de instalación de los receptores sísmicos, se debe asegurar la conversión de la onda sísmica, mediante el aparato receptor, en señal eléctrica sin distorsión de frecuencia, duración y amplitud, así como la cantidad mínima de perturbaciones derivadas de la

producción y el máximo radio de acción del receptor sísmico.

El sondeo para la instalación del receptor sísmico hay que perforarlo desde la galería avanzada y situarlo no más cerca de 1 m., y no más lejos de  $0,3 R$ , desde el frente del arranque en avance ( $l$  - dimensión de la zona de distensión;  $R$  - radio de acción del receptor sísmico).

En ausencia de galerías avanzadas, el receptor sísmico puede instalarse en un estempe especial, apretado entre las rocas del techo y del muro.

Si la longitud del tajo controlado es superior al radio de acción del receptor sísmico, hay que instalar dos receptores sísmicos, con sus propios canales de control.

Se denomina radio de acción del receptor sísmico, a la distancia máxima entre el receptor y la fuente normalizada de sonido con la que la señal normal en la salida de la vía de registro supera el nivel de fondo en 6 decibelios. El radio de acción del receptor sísmico se determina durante su instalación (en la capa) y no menos de una vez al mes cuando el receptor sísmico esté instalado en el estempe especial.

### *Transmisión de la información a la vía de registro.*

La información recibida y transformada por el receptor sísmico, debe ser transmitida por canales de comunicación independientes, a la vía de registro situada en la superficie del pozo. La distancia máxima, a la que puede ser transmitida la información por un aparato ZUA, sin adoptar medidas especiales, es de 10 km., para una resistencia del cable no mayor de 90 Ohm/km., una capacidad distribuida no mayor de 0,06 mkf/km., una resistencia de aislamiento cable-tierra no menor de 400 kOhm/km., una influencia de transitorios en el extremo del cable no menor de 36 decibeles. La transmisión y la recepción de la información se realiza por medio de un bloque subterráneo y un desmodulador, que forman parte del conjunto ZUA.

### *Recepción, registro y selección de la información sismoacústica.*

Al conjunto de señales de salida de los equipos de captación de sonido se le denomina información sismoacústica. Los dispositivos de salida de los ZUA son altavoces, por eso las señales transmitidas por los aparatos se reproducen en forma de imágenes audibles que corresponden a las fuentes de señales determinadas. En la lista de las imágenes sonoras más frecuentes que constituyen la información sísmica, aparecen las

imágenes correspondientes a los impulsos de emisión acústica (CI), al trabajo de los mecanismos de arranque (rozadora - R, martillo - M, cepillo - Cp), a los trabajos de entibación (en), al transporte del carbón arrancado y de la roca (oc), a otros mecanismos (ventilador - Vn, cabrestante - C, perforación en el carbón - PC, en la roca - PR, a las perturbaciones (de fondo - F, de impulso IF, del trabajo del hombre - TO, conversaciones - C, etc. La lista de las imágenes acústicas posibles (en el Donbass) enumera 26 tipos. La selección de la información sismoacústica por medio de las imágenes acústicas es la función profesional del operador.

La selección y el registro magnético de la información sísmica deben realizarse de forma continua. Los resultados de la selección se apuntan por el operador cada 10 minutos, en el diario de registro de la actividad de EA, y son el material básico para el cálculo del pronóstico.

No se puede hacer la selección y el registro de la información sísmica cuando la amplitud de las imágenes no informativas (F, IP, Oc, BT, PR) sobrepase la amplitud de las imágenes informativas (CI, R, OM, PK, Cp) o cuando las señales que se transmiten por el canal de comunicación estén perturbadas, debido a la sobremodulación de la portadora o a la sobrecarga de

los amplificadores.

El operador debe saber distinguir las imágenes acústicas citadas anteriormente. La imagen no reconocida del tipo impulso es necesario considerarla como un impulso sísmico. Para elevar la calidad en la selección de la información sísmica, el operador está obligado, antes del comienzo del turno, a escuchar la cinta de prueba. Los resultados de selección deben registrarse cada 10 minutos en el diario de registro de la actividad. Es obligatorio anotar la cantidad de CI, y la presencia en la situación de discernimiento de diez minutos. Independientemente de la duración del sonido, de las imágenes de M, PC, PR, R, Cp, En, Oc, TO, F, IP.

#### **Reglas de selección de la actividad.**

Para la actividad de la EA se emplea la notación  $N_i$ . Según la duración del intervalo de determinación diferenciamos:

- La actividad en diez minutos:  $N_i$  , 10
- La actividad en una hora:  $N_i = \sigma N_i$  , 10
- La actividad en 24 horas  $N_{id} = \sigma N_i$  , 10

- La actividad en un ciclo  $N_{i,c} = \sigma N_i, 10$

$t = n^{\circ}$  de intervalos en un ciclo.

En función del tipo de trabajo, en el cual se ha registrado la actividad, diferenciamos:

- Actividad con trabajos en la capa de carbón:  $N_i, 10$ . Registrados con M, TS, A, DV.
- Actividades con trabajos de arranque:  $N_{ib}, 10$ . Registrados con M, TS, A.
- Actividad sin trabajos de arranque en la capa de carbón:  $N_{io}, 10$ . Realizados en ausencia de M, TS, A, DV.

Los símbolos M, TS, A, DV son designaciones convencionales de las imágenes sonoras, que corresponden al funcionamiento del martillo picador, del cepillo, la rozadora y perforaciones en carbón, respectivamente.

La actividad se considera registrada durante los trabajos en la capa de carbón, si en el intervalo de diez minutos (de una hora) de su recálculo estuvieran presentes, independientemente de su duración, una o varias imágenes sonoras de las enumeradas.

*La actividad que se utiliza para calcular  $\bar{N}$ , en función de los tipos de labores controladas, se cita en la tabla I.*

TABLA I

## Actividad para el cálculo

| Acciones   | Tipo de labor | Símbolo     | Lectura   | Condiciones para la forma de trabajo                            |
|--|---------------|-------------|---|---|
| Pronóstico de zonas potencialmente peligrosas                            | de arranque   | $N_1^{py}$  | actividad en una hora con con trabajos en la capa de carbón.            | una o varias imágenes M, A, TS, BU, aunque sea en diez minutos. |
|  | preparatoria  | $N_{110}^b$ | actividad en 10 min.  | cualquier imagen  |
| Diferenciación de anomalías de la actividad por causas de su generación. | de arranque   | $N_1^b$     | actividad en una hora con trabajos de arranque                          | una o varias imágenes M, A, TS, BU aunque sea en diez minutos.  |
|  |               | $N_1^o$     | actividad en una hora con la ausencia de trabajos de arranque de carbón | ausencia de imágenes sonoras M. A. TS. BU.                      |

- TABLA II -

Valores del intervalo de apoyo "m", utilizados en el pronóstico de zonas potencialmente peligrosas.

| Parámetros del algoritmo de cálculo |  |                 |    |   |
|-------------------------------------|--|-----------------|----|---|
| Acciones                            | Tipos de labor (tecnología)  | Unid. de medida | m  | n   |
| 1                                   | 2  | 3               | 4  | 5   |
| Cálculo                             | tajo, chimenea   | horas           | 30 | cantidad de horas de trabajo de la capa de carbón - en el día |
|                                     | labor preparatoria que se realiza con el método de perforación y disparo | ciclos          | 10 | 1   |
|                                     | labor preparatoria que se realiza con rozadora                           | días            | 10 | 1   |

### *Indicios de anomalías y criterios de valoración.*

*El comienzo de la anomalía positiva (negativa) se determina por el segundo punto de aumento (de disminución) de la actividad media  $\bar{N}_k$  en un tanto por ciento dado ( $q\%$ ) en comparación con el valor anterior "criterio de los dos puntos".*

*El final de la anomalía de la actividad se determina cuando el taller controlado ha avanzado 6 m después del segundo punto de descenso (aumento) del valor medio de la actividad en  $q\%$ .*

*La segunda señal independiente del comienzo de la anomalía positiva de la actividad de la EA es el registro del valor  $\bar{N}_{kp}$ , que supera en "p" veces la actividad media en el día normal, "criterio de la superación crítica".*

*En la tabla III se citan los criterios seguidos en la cuenca del Donbass para determinar zonas potencialmente peligrosas, así como las condiciones de salida de estas zonas.*

*Cuando no hay telecomunicación durante una hora o más si no han sido suspendidos los trabajos en la capa de carbón el pronóstico se realizará después de obtener el nuevo intervalo de apoyo de valor medio (se considera que durante este tiempo la capa se elabora sin pronóstico).*

TABLA III

| Talleres                               | Condiciones de determinación del pronóstico "peligro".  | Condiciones de salida taller de la zona peligrosa   |
|--|---|---|
| arranque                               | <p>Criterio de "dos puntos"</p> $N_k > N_{k-1} \text{ en } \left. \begin{array}{l} ) \text{ q \% Con} \\ ) \\ ) N_{k-1, k, k+1} \geq \\ ) \\ N_{k+1} > N_k \end{array} \right\} 2 \text{ imp./h}$ <p><math>q \geq 5\%</math> con <math>N_{k-1, k+1} \geq 10 \text{ imp./h}</math></p> <p><math>q \geq 10\%</math> con <math>N_{k-1, k+1} &lt; 10 \text{ imp/h}</math></p> | <p>Después de la disminución de <math>\bar{N}</math> en dos puntos chimenea seguidos en <math>q</math> y más por ciento y el laboreo de la zona de reserva de seis metros.</p> <p>Después de obtener <math>N &lt; 2 \text{ imp./h.}</math> en dos días seguidos y trabajada la zona de reserva de seis metros</p> <p>Después de la primera disminución de <math>N</math> en <math>q</math> y más por ciento, la obtención del segundo punto de <math>N &lt; 2 \text{ imp./h.}</math> y trabajada la zona de reserva de seis metros.</p> |
|  | <p>Criterios de "superación crítica"</p> $N_{kp} \geq P N$ <p><math>P = 4,5</math> con <math>N = 2 \div 3,5 \text{ imp./h.}</math></p> <p><math>P = 4,0</math> con <math>N &gt; 3,5 \text{ imp./h.}</math></p>  | <p>Después de concretar el factor de hundimiento de la roca del techo o los trabajos de la zona de reserva de 6 metros.</p> <p>Si la superación crítica se confirmó por el criterio de "dos puntos" entonces el pronóstico de peligro lo eliminan por el criterio de "dos puntos".</p> <p>Después de los trabajos en la zona de reserva de seis metros.</p>   |
| preparatorios de perforación y disparo | $N_{kp} \geq pN$ <p><math>p = 4,0</math> con <math>N &gt; 2 \text{ imp/ciclo}</math><br/>con <math>N \leq 2 \text{ imp/ciclo}</math></p> <p><math>N_{kp} \geq 8 \text{ imp/ciclo}</math></p>  | <p>Después de los trabajos en la zona de reserva de seis metros.</p>  |
| preparatorios realizados con rozadora  | $N_{kp} \geq PN$ <p><math>P = 4,0</math> con <math>N &gt; 2 \text{ imp/ciclo}</math><br/>con <math>N \leq 2 \text{ imp/ciclo}</math></p> <p><math>N_{kp} \geq 8 \text{ imp/ciclo}</math></p>  | <p>Después de los trabajos en la zona de reserva de seis metros.</p>  |

### *Cálculo del pronóstico.*

El índice informativo principal para determinar el pronóstico de la actividad de EA es la cantidad de impulsos de EA registrados por el ZUA en la unidad de tiempo.

Para el pronóstico de las anomalías de la actividad de EA, al inicio de las 24 horas tecnológicas, se calcula el valor  $\bar{N}_k$  en el intervalo de apoyo de valor medio.

El cálculo de la actividad media se realiza por el método de la "media deslizando". El valor medio aritmético de la actividad en el intervalo de apoyo de valor medio, se determina por la fórmula:

$$\bar{N}_k = \frac{1}{m} \left( \sum_{i=1}^m N_i \right)$$

donde,

$N_i$  - actividad (impulso/hora, impulso/día, impulso/ciclo),

$k$  - número ordinal del intervalo de cálculo,

$m$  - cantidad de actividades en el intervalo de valor medio.

El valor de la actividad media después del desplazamiento del intervalo se determina de acuerdo con la fórmula:

$$\bar{N}_{k+1} = \frac{1}{m} \left( \sum_{i=1}^m N_i + \sum_{i=1}^{m+n} N_i - \sum_{i=1}^n N_i \right)$$

en donde,

$n$  - número de valores de la actividad, en que se desplaza el intervalo de apoyo de valor medio.

Utilizando las actividades en horas,  $n$  equivale a la cantidad de horas de trabajo en carbón; utilizando las actividades de 24 horas o de ciclo  $n = 1$ .

El indicio característico de la entrada del frente del taller en la anomalía positiva de presión de rocas es el aumento imprevisto de la actividad en "p" o más veces en comparación con su valor medio. Este índice se llama criterio de "superación crítica". Para determinar los valores críticos de la actividad se realiza su suma continua en el intervalo de cálculo.

El segundo índice de entrada del frente del taller en la zona de anomalía positiva de presión de rocas es la superación de  $\bar{N}$  en un "q" % en no menos de dos veces seguidas en comparación con el valor anterior. Este criterio se denomina de "dos puntos".

*DOKUKIN A.V., (Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias de la URSS). (Director del Instituto de la Minería "A.A. Skochinski").*

*"Explotación de yacimientos carboníferos en condiciones geológico-mineras complicadas empleando complejos mecanizados. 10º Congreso mundial de minería".*

*KOLESOV O. A., and BOLSHINSKY M.I.,*

*"The Effect of Mining Technology on the Behaviour of Outburst-Prone Coal Seams and Sandstones". Makeyevka Safety in Mines Research Institute. USSR.*

*KRIVITSKAYA R.M., ABRAMIAN L.A., and ETTINGER I.L.,*

*"Empleo del Índice de Iodo para Pronosticar el Peligro de Desprendimiento de Gas". Carbón de Ucrania, junio, 1972.*

*PETUKHOV I.M., (USSR),*

*"Forecasting and Combating Rockbursts: Recent Developments". pag. 1207 - 1210. VI CONGRESO INTERNACIONAL DE MECANICA DE ROCAS. MONTREAL, Canada 1987. Volumen 2.*

*SINITSYN A.P., SAMARIN V.V., and BORULEV A.D., (USSR),*

*"Rock Shock Rise by Seismic Action". pag. 1233 - 1236. VI CONGRESO INTERNACIONAL DE MECANICA DE ROCAS. MONTREAL, Canada 1987. Volumen 2.*

**BIBLIOGRAFIA.**

AIRUNI A.T., VERZILOV M.I., and BOLSHINSKY M.I.,  
 "Efficient Techniques of High-Rate Drivages in Out-  
 burst-Prone Coal Seams". 13<sup>o</sup> World Mining Congress.  
 Stookholm, Sweeden 1987.

AIRUNI A.T., ETTINGER I.L., ZVEREV I.V., and DOLGOVA  
 M.O., (URSS),  
 "The Part Played by the Sorption Pressure of Solid  
 Solutions of Methane in Coal in the Development of  
 Sudden Outbursts". 20<sup>o</sup> Conferenc Internacional de los  
 Institutos de Investigacion sobre la Seguridad de las  
 Minas. Congreso de Sheffield.

AIRUNI A.T., Prof.,  
 "Teoría y Práctica de la Desgasificación en la Explota-  
 ción de Carbón".

AITMATOV I.T., VDOVIN K.D., KOJOGULOVK.Ch., and  
 RYSKELDIEV U.A., (USSR).  
 "State of Stress in Rock-Burst Proneness in Seis-  
 miactive Folded Areas". pag. 749 - 752. VI CONGRESO  
 INTERNACIONAL DE MECANICA DE ROCAS. MONTREAL, Canada  
 1987. Volumen 2.

partitivo  $K_i$  se determina en el período de cálculo de la esperanza matemática de la actividad  $N$ .

Si en la zona potencialmente peligrosa, determinada por el criterio de "dos puntos", los coeficientes partitivos de dos días seguidos tienen valores menores de un 40 %, existe probabilidad de aparición de actividad gaseodinámica en la capa de carbón (situación "Bep Wbb").

Si en la zona potencialmente peligrosa, definida por el criterio de "dos puntos",  $K_i$  en dos días consecutivos tiene un valor mayor del 40 %, entonces la anomalía de la actividad está provocada por las cargas previas de las rocas encajantes (situación "Bep Won").

En la determinación de las zonas potencialmente peligrosas por el criterio de "superación crítica",  $K$  se calcula sólo para el día en que se ha registrado el valor crítico de la actividad. Con  $K \leq 40\%$  es probable la manifestación de la actividad gaseodinámica de la capa.

La certeza en la diferenciación de las anomalías de la actividad en función de resultados del cálculo de los coeficientes partitivos, según la experiencia de la cuenca carbonífera de Donetsk, es igual a 0,94.

$$K = \frac{N_{co}}{N_{co} + N_{cb}} \cdot 100$$

$$K_i = \frac{\frac{a}{1} \sigma N_{co}}{\frac{a}{1} \sigma N_{co} + \frac{a}{1} \sigma N_{cb}} \cdot 100$$

$$N_{co} = \sum_1^n N_{i,10} \cdot a \quad ; \quad N_{cb} = \sum_1^m N_{i,10} \cdot b$$

donde,

$n$  - número de intervalos de 10 minutos en el día, en los cuales no hubo trabajos de arranque del carbón;

$m$  - número de intervalos de 10 minutos en el día, en los cuales se realizó el arranque del carbón;

$a$  - número de días, que componen el intervalo de apoyo durante el cálculo de  $\bar{N}$ .

El coeficiente partitivo  $K$  se calcula para el día anterior al del valor de la superación crítica. El coeficiente  $K_i$  se calcula al comienzo del día tecnológico durante todo el período que se encuentre el tajo en la zona potencialmente peligrosa. El coeficiente

### *ESTIMACION DEL TIPO DE FENOMENO PROBABLE.*

*Para determinar el tipo de fenómeno probable en la labor de arranque, para la cual se hace el pronóstico de zonas potencialmente peligrosas, se realiza la diferenciación de las anomalías de la actividad de la EA por las causas de su generación. Cuando se obtiene la conclusión: "son probables los fenómenos dinámicos (Bep Wbb)" se recomienda introducir, en el ciclo tecnológico, la ejecución de medidas para evitar los fenómenos dinámicos; con la conclusión: "probabilidad del derrabe de rocas (Bep Won) se recomienda tomar medidas para eliminar el peligro de derrabe de rocas en el espacio útil del tajo de arranque.*

*Para diferenciar las anomalías por las causas de su aparición, en el período de explotación de la zona pronosticada como potencialmente peligrosa, se calcula el coeficiente partitivo de la EA "K" o  $K_i$ . En el pronóstico de zona potencialmente peligrosa por el criterio "superación crítica" se calcula "K", en el pronóstico de zonas peligrosas por el criterio de "dos puntos" se calcula  $K_i$ .*

*Los coeficientes partitivos de la actividad K y  $K_i$  se calculan por las siguientes fórmulas:*

*Los parámetros del algoritmo de cálculo de las evaluaciones de pronóstico, los valores de los criterios y la interpretación de anomalías de presión de rocas, desde el punto de vista de peligro potencial de actividad gaseodinámica de la capa de carbón y de las rocas encajantes, se precisan según los resultados de la observación de la EA.*