УДК 622.011.43:519.2

Д-р техн. наук Б.М. Усаченко,
канд. техн.. наук Г.Т. Рубец
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ СВЯЗЕЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ НА ОСНОВЕ ПОЛНОЙ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ

На основі позаграничної кривої напруження-деформація визначена функція імовірності руйнування структурних зв'язків по міцності, що дозволяє оцінювати накопичення пошкоджень в гірських породах, надійність та довготривалість підземних споруд.

THE DETERMINATION OF THE FUNCTION OF PROBABILITY FOR DESTRUCTION OF THE STRUCTURAL CONNECTIONS IN ROCKS ON THE BASE OF THE FULLE DEFORMATION'S DIAGRAM

On the base of the afterlimiting curve "stress-deformation" the function of probability for destruction of the structural connections on strength is determine, that give a possibility to appreciate the damages accumulation in rocks, the realibility and longevity of constructions

Установлено, что наиболее реальное представление о полном процессе разрушения в рамках статистической теории прочности дает модель классического «пучка» параллельно растягиваемых «связей», с помощью которой можно вычислять прочность горных пород по известным статистическим характеристикам связей и наоборот. Предпринята попытка теоретически описать деформирование и разрушение как процесс постепенного нагружения и разрыва параллельно растягиваемых, в общем случае, разножестких и разнопрочных связей, и перераспределение напряжений на уцелевшие связи. Решена обратная задача получения статистического распределения прочностных характеристик связей в материале, деформирование и разрушение которого описываются полной кривой «напряжение-деформация».

Возможность и масштабы повреждения и разрушения неоднородных трещиноватых материалов типа горных пород, их надежность и долговечность могут быть предсказаны методами физико-статистического моделирования [1] В известной классической модели слабого звена предполагается, что разрушение материала при растяжении определяется наименее прочной связью, т.е. неустойчивое развитие одной трещины приводит к разрушению всего объема. В этом случае для оценки прочности элементарного объема, согласно статистической теории экстремальных значений, применяют распределение Вейбулла. Однако такая модель, хотя и является эффективным средством решения некоторых практических задач [2], в большинстве случаев является ограниченной и не отражает физической сущности процесса деформирования и разрушения хаотически трещиноватых горных пород.

Для количественного описания этого процесса в рамках статистических представлений необходимы упрощающие предположения.

Полученные ранее результаты [3] показывают перспективность использования в первом приближении статистической модели т.н. классического пучка «нитей», которая достаточно полно качественно и количественно отражает условия разрушения горных пород отрывом при сжатии. Эта модель основана на следующих допущениях:

а) возникающий при сжатии рост напряжения σ распределяется на структурные связи пропорционально их жесткости;

б) разрушение начинается разрывом наиболее жестких связей и последовательно по мере увеличения нагрузки распространяется на менее жесткие до полного исчерпания несущей способности всего «пучка»;

в) по мере выхода из строя структурных связей напряжения перераспределяются на уцелевшие.

Множество элементарных связей образует статически неопределимую систему несущих элементов. Для такой системы оказывается, что нагрузки, соответствующие общей ее неустойчивости, значительно превышают нагрузки по модели слабого звена для идеально хрупкого материала, но являются всегда ниже нагрузок по модели обычного усреднения по всем элементам для пластической среды. Таким образом, модель пучка параллельных нитей является, в некотором роде, промежуточной между названными выше и позволяет учитывать как перераспределение напряжений на связях, так и коррелированность связей по прочности. До достижения материалом предельной прочностной несущей способности необходимо разрушить определенную часть связей, оставшаяся же часть целых способна нести нагрузку, однако меньшую, чем предельная. Результаты проведенного качественного анализа такой модели позволяют уточнить физический и статистический смысл полной кривой напряжение-деформация $\sigma = \sigma\,(\varepsilon)$ для горных пород [4], где ε - текущее значение деформации. Восходящая ветвь этой кривой до предела прочности материала отражает упругое деформирование и начальный постепенный характер разрушения отдельных связей; процесс при этом сохраняет устойчивость и в общем на этом участке $\sigma'\,(\varepsilon) > 0$ [5]. Нисходящая ветвь кривой (после предела прочности, где σ' $(\varepsilon) = 0$) соответствует разрушению оставшихся связей и для этой ветви т.н. модуль спада $\sigma'\,(\varepsilon) < 0$. В зависимости от его величины существует два класса материалов по способности накапливать и расходовать упругую энергию на саморазрушение: преимущественно хрупкого разрушения с двумя подклассами (с крутой и полной запредельной ветвью) и квазипластического характера со значительными затратами энергии.

Основное влияние на поведение материала и форму полной кривой $\sigma\,(\varepsilon)$ оказывают случайный характер распределения связей по прочности S (функция вероятности разрушения по прочности $P\,(s)$), степень их статистической неоднородности, упругие свойства (диаграмма деформирования $\sigma = \sigma\,(\varepsilon)$). Интересно отметить, что впервые, по-видимому, схематическое построение процесса разрушения горных пород, аналогичного плана на основе стержневой модели выполнено в работе [6], однако без попытки количественного рассмотрения и физико-статистического обоснования.

Для обоснования и построения функции вероятности разрушения структурных связей в горных породах на основе полной диаграммы процесса деформирования введем следующие предположения.

Будем считать, что неоднородный стахостически трещиноватый материал состоит из бесконечного количества структурных «связей» различной степени прочности с функцией вероятности разрушения $P\ (S<s) = P\ (s)$, с помощью которой определяется относительное количество разрушенных связей при напряжениях, не превышающих s. При $s = 0$ разрушение не происходит и $P\ (s) = 0$, а когда все связи разрушены, то $P\ (s) = 1$. Часть пучка (относительная площадь поперечного сечения), в котором связи уже разрушены, равна $P\ (s)$ и остаточная несущая способность зависит от количества неразрушенных $1 – \mathrm{P}\ (s)$. По существу, как это принято при разрушении образцов, вводим понятия условного и истинного напряжений, существенно различающихся между собой. Условное напряжение σ представляет собой нагрузку, отнесенную к постоянной (начальной) площади поперечного сечения образца, а истинное напряжение – это нагрузка, отнесенная к переменной площади вследствие образования трещин и разрыва сплошности. Если σ - условное напряжение в сечении неразрушенного пучка, то тогда истинное (действительное напряжение s запишется следующим образом):

$$s = \frac{\sigma}{1 - \mathrm{P}(s)}, \quad 0 \le \mathrm{P}(s) \le 1, \quad 0 \le s < \infty \tag{1}$$

Отсюда для полной кривой деформирования получаем зависимость условного напряжения σ от истинного напряжения s в виде:

$$\sigma = s\ [1\text{-}P\ (s)], \tag{2}$$

в которой $s = \varphi\ (\varepsilon)$ - диаграмма деформирования отдельных структурных связей.

Для упрощения математических вычислений полагаем структурные связи разнопрочными, равножесткими, идеально хрупкими и подчиняющимися закону Гука:

$$s = E\varepsilon, \tag{3}$$

где E - модуль упругости прочностных связей.

Предельные разрушающие напряжения и деформации разрушения являются в общем случае величинами случайными, а разножесткость усреднена путем введения эффективного модуля упругости E, равного для всех структурных связей.

Подставляя зависимость (3) в формулу (2), получаем непосредственно зависимость между напряжением σ и деформацией ε:

$$\sigma = E\varepsilon\ [1 – P\ (E\ \varepsilon)], \tag{4}$$

где $P(E\,\varepsilon)$ - представляет теперь функцию вероятности разрушения для элементарных связей по их предельным деформациям. Зависимость (4) описывает в первом приближении полный процесс деформирования и разрушения материала $\sigma(\varepsilon)$ как детермированный результат стохастического процесса накопления повреждений при последовательном разрыве идеально упругих структурных связей с функцией вероятности их разрушения $P(s)$ и с учетом перераспределения напряжений на неразрушенные связи.

Из экспериментов на жестких машинах [4] мы получаем полную кривую $\sigma(\varepsilon)$, из которой можно найти функцию вероятности разрушения структурных связей $P(s)$, и которая вместе с условиями деформирования $\sigma = E\varepsilon$ «порождает» (при заданном статистическом механизме разрушения материала как пучка параллельных нитей) конкретную зависимость $P(s)$. Путем варьирования функциональным видом кривой распределения элементарных связей по прочности $P(s)$, которая может принимать разнообразные конкретные выражения типа Гаусса, Вейбулла и др. и зависимостями напряжения – деформация $s = \varphi(\varepsilon)$ для совокупности связей, одновременно с выбором необходимого количества параметров в обеих зависимостях, можно с заданной точностью аппроксимировать полную диаграмму деформирования $\sigma(\varepsilon)$.

Производная выражения (4) по ε запишется:

$$\sigma'(\varepsilon) = E\,[1 - P(E\varepsilon) - E^2\,\varepsilon\,P'_\varepsilon(E\varepsilon)]. \qquad (5)$$

При $\varepsilon = 0$ получаем $\sigma'(0) = E$, т.е. тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ в начале координат соответствует модулю упругости связей E. Из условия $\sigma'(\varepsilon) = 0$ находим значение деформаций материала ε_m, при котором достигается максимум зависимости $\sigma(\varepsilon)$; это значение σ_m представляет собой предел прочности материала. Простейшими преобразованиями уравнение (5) упрощается и приводится к выражению для определения ε_m:

$$P(E\,\varepsilon_m) = 1 + \varepsilon_m\,. \qquad (6)$$

Если функция $P(s)$ имеет обратную, то решение уравнения (6) значительно упрощается и для значения ε_m можно получить явное выражение в конечном виде. Подставив найденное значение ε_m в уравнение (4) находим максимальное значение полной диаграммы деформирования

$$\sigma_m = E\,\varepsilon_m\,[1 - P(E\,\varepsilon_m)]. \qquad (7)$$

Условие (5) при $\sigma'(\varepsilon) = 0$ может быть справедливым не только в отдельной точке ε_i, но и на некотором интервале значений ε. В этом случае полная диаграмма деформирования после достижения предела прочности не имеет ниспадающей ветви, для которой $\sigma'(\varepsilon) < 0$, а параллельна оси ε и будет иметь горизонтальный участок [7]. Материал, обладающий такой зависимостью $\sigma(\varepsilon)$`

после достижения предела прочности имеет упругопластическое поведение. В этих условиях распределение прочности структурных связей удовлетворяет следующему дифференциальному уравнению.

$$1 - P\,(s) = s\,P'\,(s), \tag{8}$$

из которого находим конкретный вид для функции распределения прочности связей и ее плотности соответственно:

$$P\left(s\right) = 1 - \frac{1}{s}; \quad P'\left(s\right) = p\left(s\right) = \frac{1}{s^2}. \tag{9}$$

Таким образом, если «хвост» плотности распределения прочности структурных связей имеет порядок убывания при значениях ε, стремящихся к бесконечности, больше, чем s^{-2}, то диаграмма работы имеет ниспадающую ветвь, которая соответствует неустойчивому состоянию равновесия системы структурных связей материала.

Из уравнения (2) можно получить выражение для функции вероятности разрушения связей материала:

$$P\left(s\right) = 1 - \frac{\sigma}{\sigma'\left(0\right)\cdot\varepsilon}. \tag{10}$$

Плотность распределения для P (s) запишется в виде:

$$p\left(s\right) = P^1\left(s\right) = \frac{\sigma - \varepsilon\cdot\sigma'\left(s\right)}{\left[\sigma'\left(0\right)\cdot\varepsilon\right]^2}. \tag{11}$$

Для построения P (s) и p (s) необходим ряд представительных точек ε_i, σ_i на экспериментальной кривой напряжение-деформация.

В качестве функции вероятности разрушения связей примем закон Вейбулла [2]:

$$P\left(s\right) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{s}{b}\right)^c\right], \quad c > 0, \quad 0 < s < \infty, \tag{12}$$

в котором параметр представляет собой показатель однородности структурных связей материала по прочности, а b - параметр масштаба. Однородный по своей структуре материал имеет меньший разброс по прочности и большее значение параметра c. Обычно значение параметра однородности для углей и горных пород находится в пределах $1 \le c \le .5$.

Подставляя значение P (s) из (12) в зависимость (4), получаем теоретическое уравнение для диаграммы полного процесса деформирования и разрушения в виде.

$$\sigma(\varepsilon) = E\varepsilon \cdot \exp\left[-\left(\frac{E\varepsilon}{b}\right)^c\right], \qquad (13)$$

Уравнение (13) содержит три неизвестных параметра E, b и c, которые подлежат оцениванию на основании экспериментальной зависимости $\sigma(\varepsilon)$.

Оценка параметров уравнения полного процесса деформирования и одновременно параметров b и c функции вероятности разрушения структурных связей производится наиболее просто из требования совпадения теоретической кривой (13) с экспериментальной кривой в начале координат и точке максимума (ε_m, σ_m). Из условия $\sigma'(0) = E$ получаем первое уравнение для оценки параметра E путем численного определения через конечные разности вблизи начала координат кривой $\sigma(\varepsilon)$ или же графическим методом. Подставляя (12) в уравнение (6) находим теоретическое выражение для значений деформаций материала ε_m, при котором достигается максимум σ_m зависимости $\sigma(\varepsilon)$ (это легко можно осуществить графически из самой записи диаграммы деформирования):

$$\varepsilon_m = \frac{b}{E \cdot c^{1/c}}. \qquad (14)$$

Подставив (14) в выражение (7) находим уравнение, устанавливающее связь экспериментального значения σ_m с параметрами кривой (13):

$$\sigma_m = \frac{b}{(ec)^{1/c}}. \qquad (15)$$

Значения $\sigma'(o)$, ε_m и σ_m, определенные из полной диаграммы деформирования материала $\sigma(\varepsilon)$, позволяют составить систему трех уравнений с тремя неизвестными параметрами E, b и c:

$$\left.\begin{aligned} &E = \sigma'(o) \\ &\frac{b}{E \cdot c^{1/c}} = \varepsilon_m \\ &\frac{b}{(ec)^{1/c}} = \sigma_m \end{aligned}\right\}$$

Путем несложных преобразований находим выражение для определения параметров c и b:

$$c = \frac{1}{\ln\left(\dfrac{E \cdot \varepsilon_m}{\sigma_m}\right)}, \qquad (17)$$

$$b = \varepsilon_m \cdot E \cdot c^{1/c} \qquad (18)$$

Подстановкой b и c в (12), определяем интегральную кривую распределения прочности связей Вейбулла или функцию, позволяющую вычислять вероятность разрушения структурных связей при данном напряжении s.

Рассмотренный подход дает только приближенные оценки, так как теоретическая кривая совпадает с экспериментальной только лишь в двух точках, а поведение теоретической кривой в других точках, особенно в запредельной части, остается произвольным. Такие оценки могут быть использованы как первое приближение для нахождения более точных оценок, например, методом наименьших квадратов.

Выбор функции вероятности разрушения структурных связей сопряжен с несколькими противоречивыми требованиями, которым она должна удовлетворять. Она должна иметь простой аналитический вид с небольшим количеством параметров (не более 3-4), быть достаточно гибкой, иметь обратную, а при подстановке в зависимость напряжение-деформация (4) допускать простые методы оценки параметров без сложных вычислительных процедур.

Таким требованиям приближенно соответствует функция распределения Седракяна, которая была предложена для описания прочностных свойств материалов на основе теоретических представлений статистики экстремальных значений [8]. Если учесть, что прочность первичных элементов имеет масштабный уровень, меньший, чем у структурных связей, то распределение прочности получается в виде:

$$P(s) = 1 - \left[1 - \left(\frac{s}{b}\right)^p\right]^q, \tag{19}$$

где b - параметр масштаба кривой, p и q - параметры формы распределения.

Подстановка (19) в формулу (4) дает следующее выражение для полной кривой деформирования

$$\sigma(\varepsilon) = E\varepsilon\left[1 - \left(\frac{E\varepsilon}{b}\right)^p\right]^q, \tag{20}$$

которая имеет 4 неизвестных параметра. Вычисляя производную (20) и приравнивая ее нулю, находим уравнение для определения его корней:

$$\sigma'(\varepsilon) = E\left[1 - \left(\frac{E\varepsilon}{b}\right)^p\right]^{q-1} \cdot \left[1 - (1 + pq)\left(\frac{E\varepsilon}{b}\right)^p\right] = 0. \tag{21}$$

Из первого сомножителя (21) получаем уравнение для нахождения значения касания кривой $\sigma(\varepsilon)$ первого порядка; для него в этой точке обращается в нулю не только $\sigma(\varepsilon)$ (верхняя граница кривой), но и ее производная $\sigma'(\varepsilon)$. Это значение

$$\varepsilon_k = b/E, \tag{22}$$

и определяется из экспериментальной кривой, например, графическим методом сглаживания линейной зависимостью запредельной ветви кривой до пересечения с осью ε. Второй сомножитель из (21) дает уравнение для определения того значения деформаций ε_m, при котором достигается максимум кривой σ_m:

$$\varepsilon_m = \frac{b}{E\left(1+pq\right)^{1/p}}. \tag{23}$$

Подставляя значение ε_m из (23) в (20), находим максимум кривой $\sigma(\varepsilon)$

$$\sigma_m = \frac{b}{\left(1+pq\right)^{1/p}} \cdot \left(\frac{pq}{1+pq}\right)^q. \tag{24}$$

Уравнения (22)-(24) вместе с условием σ' (о) = E составляют систему четырех уравнений с четырьмя неизвестными E, b, p и q , подлежищими определению на основании экспериментальных данных σ' (о), ε_k, ε_m и σ_m для полной кривой деформирования:

$$\left.\begin{aligned} &E = \sigma'(o), \\ &\frac{b}{E\left(1+pq\right)^{1/q}} = \varepsilon_m \\ &\left(\frac{pq}{1+pq}\right)^q \cdot \frac{b}{\left(1+pq\right)^{1/p}} = \sigma_m \\ &\frac{b}{E} = \varepsilon_k \end{aligned}\right\} \tag{25}$$

Система (25) может быть решена только численными методами, поэтому для получения простого и явного решения ее необходимо упростить, положив, например, $p = 1$. В этом случае система (25) имеет решение в явном виде и для параметров получаем формулы:

$$q = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_m} - 1; \quad b = \frac{\sigma_m \left(q+1\right)^{q+1}}{q^q}; E = b/\varepsilon_k. \tag{26}$$

В таблице 1 в качестве примера приведены числовые значения полной диаграммы деформирования гипса Артемовского месторождения [9], полученные на жесткой испытательной машине.

Таблица 1 – Зависимость напряжений σ от деформаций ε для гипса

$\varepsilon \times 10^3$	2,2	2,6	5,0	7,4	9,3	11,1	13,5	15,9	18,4	20,8	23,1	25,2
σ, МПа	6,4	8,2	20,7	25,9	26,6	26,2	24,0	21,8	19,8	18,0	16,4	15,1

Для этой кривой получены графическим методом значения: $\varepsilon_k = 44{,}9 \cdot 10^{-3}$, $\varepsilon_m = 9{,}3 \cdot 10^{-3}$, $\sigma_m = 26{,}6$ МПа. Из уравнений (26) находим значения параметров:

$b = 312{,}2$ МПа, $q = 3{,}828$, $E = 6954$ МПа, подставляя которые в уравнение (19) получаем функцию вероятности разрушения структурных связей для гипса:

$$\mathrm{P}(s) = 1 - \left[1 - \left(\frac{s}{3122{,}4}\right)\right]^{3{,}828} \qquad (27)$$

Сопоставление теоретической функции распределения (27) с экспериментальной (10) показывает (таблица 2) их удовлетворительное совпадение даже с учетом только трех параметров E, b и q.

Таблица 2 – Сравнение теоретической и экспериментальной функций вероятности разрушения структурных связей

$\varepsilon \times 10^3$	2,2	2,6	5,0	7,4	9,3	11,1	13,5	15,9	18,4	20,8	23,1	25,2
s, МПа	15,3	18,1	34,8	51,4	64,7	77,2	93,9	110,6	127,9	144,6	160,6	175,2
P(s) по (27)	0,17	0,20	0,26	0,50	0,59	0,66	0,75	0,81	0,87	0,91	0,94	0,96
P(s) по (10)	-	-	0,41	0,50	0,59	0,66	0,74	0,80	0,85	0,88	0,90	0,91

Из таблицы следует, что для достижения предела прочности гипса на сжатие необходимо разрушить не менее 60 % структурных связей, так как показатель поврежденности при деформации $\varepsilon = 9{,}3 \cdot 10^{-3}$ составляет $P(s) = 0{,}59$.

Предложенная структурная модель накопления рассеянных повреждений в горных породах при их нагружении дает физически обоснованный, хотя и приближенный, подход к описанию всего процесса разрушения как стохастического процесса последовательного разрыва связей и соответствующего перераспределения напряжений на уцелевшие [10].

Функция вероятности разрушения структурных связей представляет собой фактически меру накапливаемой поврежденности, которая в процессе нагружения материала возрастает от нуля до единицы, если исходная поврежденность принята за нулевую [11].

Распределение прочности структурных связей, полученное при одном режиме нагружения, может быть пересчитано на другие (например, длительное, циклическое и др.) или на другие масштабные уровни разрушения, что позволяет непосредственно выйти на статистические методы расчета прочностной надежности и долговечности элементов подземных сооружений при различных режимах их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борщ-Компониец В.И., Макаров А.В. Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей.- М.: Недра, 1986. – 271 с.

2. Рубец Г.Т. Вероятностно-статистические методы оценки прочности пород и массива для совершенствования расчетных моделей надежности подземных сооружений: Автореф. дисс….канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1983. – 24 с.

3. Кирничанский Г.Т., Рубец Г.Т. Применение статистической модели для оценки степени накопления повреждений в горных породах/ Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников (Всес. научн.-техн. конф.).- М.: МГИ,1990. – с. 139-140.

4. Кирничанский Г.Т. Элементы теории деформирования и разрушения горных пород. – Киев: Наук. думка, 1989.- 184 с.

5. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990.- 448 с.

6. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: Автореф. дисс.… докт. техн. наук. – Днепропетровск, 1988.- 34 с.

7. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.

8. Моменты и оценка параметров кривой распределения Седракяна в статистической теории прочности / В.Т. Глушко, Г.Т. Рубец, Н.Т. Бобро, Л.И. Гажемон. / Надежность и прочность технических систем. – К.: Наук. думка, 1976. – с. 28-33.

9. Усаченко Б.М. Геомеханика подземной добычи гипса. – К.: Наук. думка, 1985. – 216 с.

10. Усаченко Б.М., Кириничанский Г.Т., Рубец Г.Т. Статистическая модель полного процесса деформирования и разрушения горных пород/ Надежность технических систем. – К.: Наук. думка, 1991. – с. 48-61.

11. Усаченко Б.М., Кириничанский Г.Т., Рубец Г.Т. Статистическая трактовка механизма деформирования и разрушения/ Повышение эффективности разрушения горных пород. – К.: Наук. думка, 1991. – с. 117-121.

УДК 622.831.312

Канд. техн. наук С.А. Курносов,
инж. И.Н. Слащёв (ИГТМ НАН Украины),
инж. А.А. Цикра (шахта им. А.Ф. Засядько)

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

На основі проведених досліджень вдосконалено спосіб закріплення сталево полімерного анкера у масиві гірських порід. Новий спосіб закріплення анкерів дозволяє на 22% підвищити стійкість гірничої виробки за рахунок збільшення роботи опору анкера силам гірського тиску. Випробування способу закріплення сталево полімерного анкера в складних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах шахти ім. О.Ф. Засядька підтвердили його ефективність.

INCREASE OF BEARING STRENGTH COMBINED FRAME-ANCHOR FASTEN IN DIFFICULT MINE – GEOLOGICAL TERMS

Thus, on the basis of the conducted researches the method of fixing of stalepolymernogo anchor in the array of mountain breeds is improved. A new method of fixing of anchors allows on 22 % to promote stability of the mountain making due to the increase of work of resistance of anchor to forces of mountain pressure. Test of method of fixing of stalepolymernogo anchor in the difficult горно-геологических and gornotekhnycheskykh terms of mine by him. А.Ф. Confirmed Zasyad'ko his efficiency.

Освоение больших глубин в угледобывающей промышленности качественно усложнило задачу крепления и поддержания в устойчивом состоянии подго-