

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2475648

### СПОСОБ ОТСТРОЙКИ НЕРАБОЧЕГО БОРТА КАРЬЕРА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011126452

Приоритет изобретения 27 июня 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 февраля 2013 г.

Срок действия патента истекает 27 июня 2031 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2475648**

(13) **C1**

(51) МПК  
*E21C41/26* (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2011126452/03, 27.06.2011**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: **27.06.2011**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **27.06.2011**

(45) Опубликовано: **20.02.2013**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2084633 C1, 20.07.1997. RU 2054549 C1, 20.02.1996. RU 2099528 C1, 20.12.1997. RU 2171893 C2, 10.08.2001. RU 2206748 C1, 20.06.2003. RU 2213223 C1, 27.09.2003.**

Адрес для переписки:

**199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2, ФГБОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный горный университет", отдел ИС и ТТ**

(72) Автор(ы):

**Семёнов Александр Сергеевич (RU),  
Кава Павел Борисович (RU),  
Пономарев Андрей Иванович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный университет" (RU)**

(54) СПОСОБ ОТСТРОЙКИ НЕРАБОЧЕГО БОРТА КАРЬЕРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к горной промышленности и может быть использовано для отстройки нерабочего борта карьера при открытой разработке крутопадающих и наклонных месторождений. Техническим результатом является повышение углов погашения бортов, сокращение объема вскрыши и оптимизация работы горнотранспортного оборудования. Способ включает формирование предохранительных берм, взаиморасположением и шириной которых обеспечивают равенство устойчивого и конструктивного углов откоса нерабочего борта в пределах выделенной по глубине карьера зоны, а также предусматривает размещение на берме осыпи и обрушенной породы, не подлежащей удалению в течение всего срока функционирования борта. Причем отработка верхней зоны карьера ведется продольными и поперечными панелями с развитием горных работ от центральной части карьера к его периферии и в направлении падения залежи с погашением бортов карьера под проектными углами, полученными с учетом поправки на кривизну борта в его нижней части без каких-либо ограничений по параметрам и форме карьерной выемки. При этом оптимизация соотношения удерживающих и сдвигающих сил, действующих по наиболее слабой поверхности возможного обрушения, обеспечивает уменьшение высотной зоны, обрабатываемой криволинейными в плане участками, до минимальной, но достаточной для обеспечения устойчивости нерабочего борта карьера. 6 ил.

Изобретение относится к горной промышленности и может быть использовано для отстройки нерабочего борта карьера.

Известен способ отстройки нерабочего борта карьера, включающий сооружение неочищаемых предохранительных берм, причем на участке примыкания к транспортной берме отстраивают их переменной ширины (патент РФ № 2084633, МПК E21C 41/26, 1997).

Недостатком известного способа является необходимость принятия такой ширины предохранительной бермы, которая была бы достаточной для размещения на ней осыпи и обрушенной породы на весь срок существования карьера, только тогда можно достичь поставленной цели, когда действительно предохранительная берма не будет подлежать к очистке от осыпей.

Известен также способ отстройки нерабочего борта карьера, включающий сооружение отдельных берм, разделенных улавливающими площадками, имеющих форму усеченных призм, формирующихся по всей длине трассы транспортной бермы (патент РФ № 2206748, МПК 7 E21C 41/26, 2001).

Недостатком известного способа являются большие объемы работ по сооружению отдельных берм сложной формы, а также улавливающие площадки расположены не так, чтобы изменить направление движения падающего камня.

Известен также способ отстройки нерабочего борта карьера, включающий деление витка транспортной бермы, сооружаемого со дна карьера на внутреннюю и внешнюю зоны, при этом внутреннюю зону витка сооружают с горизонтальными предохранительными бермами, переходящими во внешней зоне витка на наклонные предохранительные бермы (патент РФ 2171893, МПК E21C 41/26, 2001 г.).

Недостатком известного способа являются большие объемы горноподготовительных работ. В зависимости от геометрических параметров дна карьера увеличивается объем горноподготовительных работ и количество наклонных предохранительных берм, сооружаемых на каждом горизонте, а это ведет к существенному снижению угла наклона борта карьера.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности является способ отстройки нерабочего борта карьера, включающий формирование предохранительных берм, взаиморасположением и шириной которых обеспечивают равенство устойчивого и конструктивного углов откоса нерабочего борта в пределах выделенной по глубине карьера зоны, а также предусматривают размещение на берме осыпи и обрушенной породы, не подлежащей удалению в течение всего срока функционирования борта (патент РФ № 2084633, МПК E21C 41/26 от 20.07.1997 г.).

Недостатком известного способа являются увеличение объемов вскрышных работ при обеспечении равенства устойчивого и конструктивного углов откоса нерабочего борта и необходимость осуществления работы механизмов по очистке берм на узкой рабочей площадке у основания погашенного уступа и проблема удаления осыпи и обрушенной породы.

Технический результат достигается тем, что в способе отстройки нерабочего борта карьера, включающем формирование предохранительных берм, взаиморасположением и шириной которых обеспечивают равенство устойчивого и конструктивного углов откоса нерабочего борта в пределах выделенной по глубине карьера зоны, а также предусматривают размещение на берме осыпи и обрушенной породы, не подлежащей удалению в течение всего срока функционирования борта за счет оптимизации соотношения удерживающих и сдвигающих сил, действующих по наиболее слабой поверхности возможного обрушения, обеспечивают уменьшение высотной зоны, обрабатываемой криволинейными в плане участками, до минимальной, но достаточной для обеспечения устойчивости нерабочего борта карьера, погашаемого под проектными углами, полученными с учетом поправки на кривизну борта в его нижней части.

Технический результат достигается следующим образом.

В соответствии с рекомендациями (Галкин А.М., Галкин В.А., Попов В.И. Опыт проектирования и строительства карьеров с наклонными предохранительными бермами - М.: Цветметинформация, 1977. - 35 с.) для оконтуривания залежи на поперечных разрезах со стороны висячего бока залежи принят откос конечного борта  $\beta = 55^\circ$ . Угол откоса конечного борта, при оптимальной форме борта карьера определяется углом падения залежи, является переменным и варьируется от  $45^\circ$  до  $55^\circ$ .

Отработка нижних горизонтов карьера хотя и усложняет технологию отработки, но при этом дает сокращение объемов вскрыши и транспортных расходов.

При подходе к предельному контуру рабочие уступы страиваются, вследствие чего их высота увеличивается до 30 м.

При постановке борта в конечное положение углы заоткоски уступов принимаются:

- в верхней трещиноватой зоне -  $55^\circ$ ;
- в зоне средней трещиноватости -  $60^\circ$ ;
- глубже 150 м -  $65-70^\circ$ .

При построении границ карьера должно быть учтено выполаживание углов откосов бортов в конечном положении в связи с размещением в нерабочих бортах карьера систем вскрывающих выработок.

Учитывая, что в реальных условиях из-за осыпания верхняя часть уступа выполаживается в пределах раздробленного слоя до 38-400, фактические углы заоткоски будут несколько ниже проектных значений.

Устойчивость вогнутых в плане бортов карьеров выше, чем у прямолинейных. Это объясняется тем, что при криволинейной в плане форме выработки за счет сил бокового распора (защемления) пород возникают дополнительные удерживающие силы, создающие сопротивление смещению призмы обрушения.

Геологическое строение пород, слагающих борта карьеров и конфигурация карьерных выемок, определяет не только методы оценки их устойчивости, основные принципы и расчетные схемы которых разработаны в институте ВНИМИ (А.М.Демин, А.М.Иоффе, В.А.Зенкин. Рациональный профиль борта карьера. Горн.

инф.-аналит. бюлл. - № 1, 2002 г. - С.141-145), но также способы формирования бортов карьеров и технологию отработки месторождений, позволяющие в результате использования эффекта бокового заземления пород повысить углы откоса бортов на контуре погашения.

Наклонные и крутопадающие месторождения полезных ископаемых, при вытянутых по простиранию рудных телах, могут обрабатываться в проектных контурах карьера тремя участками.

Участкам придается криволинейная в плане форма, ограниченная прямолинейным фронтом горных работ между торцами карьера. При этом один из участков - первый, расположенный на фланге месторождения, обрабатывается в первую очередь, на втором, центральном участке, горные работы достигают рудной зоны, а на третьем, другом фланговом участке запасы дорабатываются. Вскрышные породы со второго и третьего участка транспортируются как во внешний, так и во внутренний отвал, расположенный в выработанном пространстве первого участка.

Таким образом, фронты работ фланговых участков карьера - первого и третьего - двигаются навстречу друг другу до сработки со средним участком. Средний участок карьера неподвижен, и отвал на нем не отсыпается. Отсыпка внутреннего отвала вскрышных пород производится вслед за продвижением горных работ по разноске с одинаковой скоростью. Внутренний отвал вскрышных пород предназначен для сохранения, поддержания установленной для карьера криволинейной формы. Обработка карьерного поля до предельной глубины в этом случае начинается с участка, расположенного у одного из торцов карьера, которому в плане придается криволинейная форма с радиусом

$$R_B = R_H + H \operatorname{ctg} \alpha, \quad (1)$$

где  $R_B$  - радиус кривой отработанного участка, м;

$R_H$  - средний радиус участка, м;

$H$  - предельная глубина участка, м;

$\alpha$  - угол откоса нерабочего борта для участка карьера, с учетом поправки на его кривизну, град.

При этом предельная глубина участка карьера

$$H = \frac{H_{90}}{\sqrt{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha + \varphi}{2}}} \text{ м} \quad (2)$$

где  $H_{90}$  - высота вертикальной трещины отрыва, м;

$\varphi$  - угол внутреннего трения пород, град.

В последующем криволинейность контура карьера при отработке участков должна сохраняться за счет регулирования объемов отсыпки вскрышных пород во внутренний отвал. Длина контролируемого

прямолинейного участка борта ( $L$ ), расположенного между торцами, должна быть  $0 \leq L \leq 2h$ . При  $L=0$  конфигурация карьера в плане приближается к круглой или эллиптической форме и действие сил бокового

распора максимальное, т.е., такое, как по всему контуру карьера. Оптимальное расстояние в пределах  $0 \leq L \leq 2h$  для каждого карьера выбирается на основе технико-экономического анализа.

При  $L > 2h$  теряет смысл использование криволинейности торцов карьера в плане для увеличения углов погашения бортов на этом прямолинейном участке, т.к. исключается дополнительное сопротивление призмы обрушения, создаваемое силами бокового распора.

Последовательная отработка месторождения с торца, вытянутой по простиранию рудной залежи, отдельными криволинейными в плане участками карьера, при указанной длине прямолинейного фронта горных работ с последующим заполнением выработанного пространства, повышает устойчивость нерабочих бортов карьера за счет дополнительного сопротивления смещению призмы обрушения, создаваемыми силами бокового распора путем поддержания установленной кривизны карьера в плане. Это позволяет увеличить углы погашения бортов между торцами на всем протяжении рудной залежи и, тем самым, сократить общие объемы удаления вскрышных пород.

В подобных условиях практически невозможно создать стационарные транспортные коммуникации, эффективно использовать конвейерный транспорт, циклично-поточную технологию и без чего, как показывает практика, невозможно обеспечить эффективную отработку глубоких рудных карьеров большой производительности.

Реализация способа представлена на фиг.1-3.

Крутопадающие вытянутые по простиранию залежи руды (1) обрабатывают в проектных контурах карьера (2) до конечной отметки дна карьера (3) двумя смежными по высоте зонами. Высота верхней зоны

$$h_B = H - h_H, \text{ м}$$

где  $H$  - проектная глубина карьера, м;

$h_H$  - высота криволинейного в плане борта карьера в его нижней части, необходимая и достаточная для обеспечения устойчивости борта высотой  $H$  под проектным углом  $\alpha$ .

Верхняя зона, с нормативным коэффициентом запаса устойчивости, обрабатывается с внешним отвалообразованием продольными и поперечными панелями с развитием горных работ от центральной части карьера к его периферии до проектного контура (2) и в направлении падения залежи (показан стрелками). Погашение нерабочих бортов карьера производится под проектным углом  $\alpha$ .

После того как горные работы в верхней зоне карьера в его торцевой части достигнут глубины  $h_B$  и выйдут на проектный контур (2), производится отработка нижней зоны карьера.

При этом первоначально создается углубочная выемка (4) с радиусом кривизны карьера по дну, равным  $R_C$ . Вскрышные породы при этом также размещаются во внутреннем отвале (5), имеющем криволинейный в плане профиль, перемещающийся вслед за развитием горных работ и предназначенный для поддержания заданной криволинейной формы карьера в его нижней части.

За счет оптимизации соотношения удерживающих и сдвигающих сил, действующих по наиболее слабой поверхности возможного обрушения, обеспечивается уменьшение высотной зоны, обрабатываемой криволинейными в плане участками, до минимальной, но достаточной для обеспечения устойчивости нерабочего борта карьера, погашаемого под проектными углами  $\alpha$ , величины  $h_H$ . Это позволяет производить безопасную отработку верхней зоны карьера высотой  $h_B = H - h_H$  продольными и поперечными панелями с развитием горных работ от центральной части карьера к его периферии и в направлении падения залежи, с погашением бортов карьера под проектными углами, полученными с учетом поправки на кривизну борта в его нижней части.

Одним из важнейших вопросов при реализации предлагаемого способа разработки месторождений является расчет высоты криволинейного в плане борта карьера в его нижней части, необходимой для обеспечения устойчивости борта высотой  $H$  под проектным углом  $\alpha$ .

Рассмотрим участок борта на предельном контуре карьера, верхняя часть которого высотой  $h_B$  имеет прямолинейный в плане контур, а нижняя - закругленный (фиг.4 - Сложный по форме в плане и по высоте борт карьера).

Коэффициент запаса устойчивости плоского в плане борта определяется как отношение удерживающих сил к сдвигающим

$$N_{\text{плл}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n T_i}, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n N_i = \text{tg}\varphi \sum_{i=1}^n P_i \cos \alpha_i + c \sum_{i=1}^n L_i; \quad (4)$$

где

$$\sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n P_i \sin \alpha; \quad (5)$$

$P_i$  - вес вертикальных блоков единичной ширины, на которые разделена призма возможного обрушения;

$S_i$  - площадь блока с номером  $i$ ;

$\gamma$  - объемная плотность породы;

$\alpha_i$  - средний угол наклона поверхности скольжения в пределах  $i$ -го блока;

$c$  и  $\varphi$  - сцепление и угол внутреннего трения по поверхности скольжения;

$L_i$  - длина наклонного основания  $i$ -го блока.

Призма возможного обрушения на участке борта, имеющего криволинейную в плане форму, представляет собой сложное геометрическое тело, определяемое следующими основными параметрами:  $R_i$ ,  $h_i$ ,  $h_B$  (фиг.5 - Призма возможного обрушения сложного по форме борта карьера). Разделив призму возможного обрушения на блоки с вертикальными боковыми гранями, получим призмы с наклонными основаниями, две грани которых плоские, а две другие представляют собой половинки цилиндрической поверхности (фиг.6 - Элементарный блок призмы возможного обрушения при криволинейной в плане форме борта карьера).

В этом случае удерживающие и сдвигающие силы, действующие на призму обрушения, с некоторым приближением можно определить:

$$\sum_{i=1}^n N'_i = \text{tg}\varphi \sum_{i=1}^n P'_i \cos \alpha_i + 2R_i c \sum_{i=1}^n L_i + 2c \sum_{i=1}^n S_i + 2 \sum_{i=1}^n P_i \gamma \text{tg}\varphi;$$

$$\text{где } P'_i = 2R_i S_i \gamma = 2R_i P_i;$$

$\gamma$  - коэффициент бокового распора;

$$\frac{P_i}{2} = \frac{S_i \gamma}{2} - \text{средняя сила веса, действующая на боковую грань элементарной призмы};$$

$$\sum_{i=1}^n T'_i = \sum_{i=1}^n P'_i \sin \alpha = \sum_{i=1}^n P_i \sin \alpha_i 2R_i.$$

Коэффициент запаса устойчивости объемной призмы возможного обрушения

$$n_{об} = \frac{2R_i \operatorname{tg} \varphi \sum_{i=1}^n P_i \cos \alpha_i + 2R_i c \sum_{i=1}^n L_i + 2cS + S\gamma \operatorname{tg} \varphi}{2R_i \sum_{i=1}^n T_i}, \quad (6)$$

где S - площадь боковой грани призмы возможного обрушения.

Для упрощения решения с некоторым запасом принимаем горизонтальные силы, создающие трение на торцах призмы возможного обрушения, равными лишь величине бокового распора массива, хотя вокруг округлой выработки происходит концентрация напряжений.

Представим полученное выражение в виде трех слагаемых

$$n_{об} = \frac{\operatorname{tg} \varphi \sum_{i=1}^n L_i \cos \alpha_i + c \sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n T_i} + \frac{2cS}{2R_i \sum_{i=1}^n T_i} + \frac{S\gamma \operatorname{tg} \varphi}{2R_i \sum_{i=1}^n T_i}. \quad (7)$$

Анализ уравнения (7) показывает, что коэффициент запаса устойчивости криволинейного в плане борта карьера представляет собой сумму трех коэффициентов, один из которых равен коэффициенту запаса устойчивости плоского в плане борта  $n_{пл}$ , второй и третий - приращению этого коэффициента за счет соответственно сил сцепления и трения, действующих по торцам объемной призмы обрушения

$$n_{об} \leq n_{пл} + \frac{cS}{R_i T} + \frac{S\gamma \operatorname{tg} \varphi}{2R_i T}, \quad (8)$$

$$T = \sum_{i=1}^n T_i;$$

где

$$n_{об} = n_{пл} + \Delta n_c + \Delta n_\varphi \quad (9)$$

Оценим влияние сил внутреннего трения и сцепления, действующих по торцам объемной призмы обрушения, на величину  $n_{об}$ , сравнив их между собой. При этом примем характеристики скального массива, соответствующие условиям месторождения Озерное. Величина сил трения на два порядка меньше сил сцепления. Поэтому при практических расчетах, выполняемых с обычной точностью, силами трения можно пренебречь.

Таким образом, при оценке устойчивости криволинейного в плане борта карьера можно воспользоваться формулой

$$n_{об} = n_{пл} + \Delta n_c \quad (10)$$

Очевидно, что при оценке устойчивости сложного в плане и по высоте борта, имеющего плоскую в плане форму в верхней части и криволинейную в плане - в нижней части (фиг.5), коэффициент запаса его устойчивости также можно определить по выражению (10), записав его в следующем виде:

$$n_{об} = n_{пл} + \frac{cS}{R_i T}, \quad (11)$$

где S - площадь боковой грани призмы возможного обрушения криволинейной в плане части борта;

$R_i$  - радиус закругления борта на глубине  $h_i$ ;

c - сцепление в массиве;

T - суммарные сдвигающие силы, действующие на призму возможного обрушения по всей высоте, определяемые в результате решения плоской задачи.

Анализ формулы (11) показывает, что увеличение коэффициента запаса устойчивости борта за счет действия сил сцепления по торцам объемной призмы обрушения достигает своего максимума, когда радиус закругления борта  $R_i$  становится минимальным. В связи с изложенным можно сделать следующие выводы.

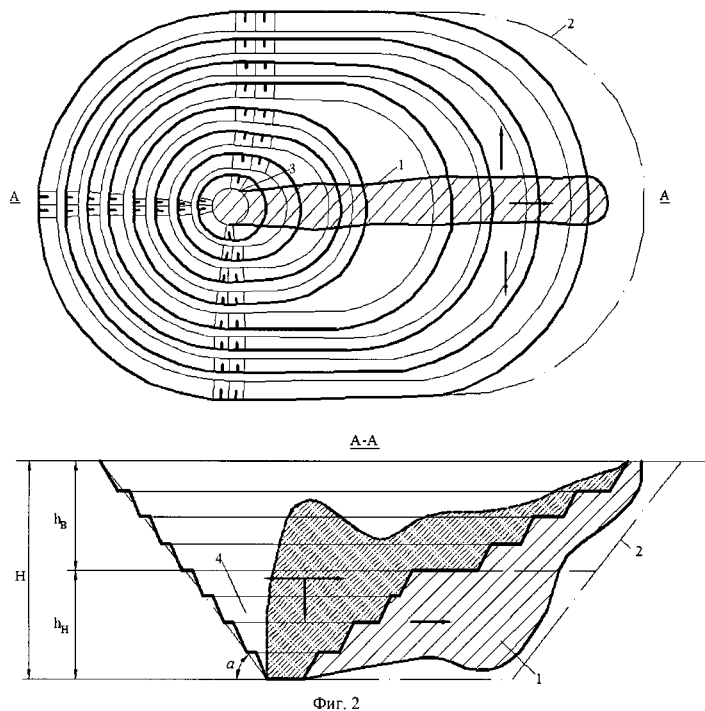
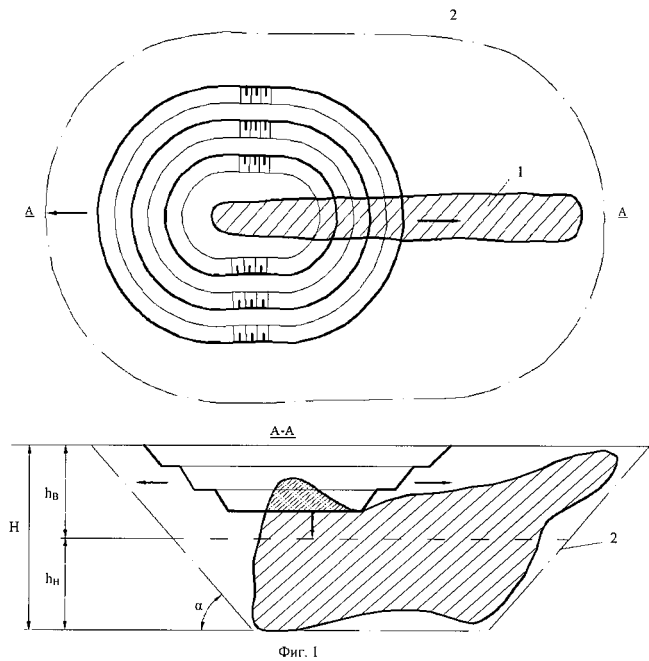
- Известные способы отработки месторождений, использующие эффект бокового зажима пород для повышения углов откоса бортов на контуре погашения, имеют недостатки, ограничивающие область их применения, которые заключаются в снижении эффективности разработки глубоких карьеров прежде всего за счет невозможности стационарных транспортных коммуникаций, а также сокращения активного фронта горных работ.

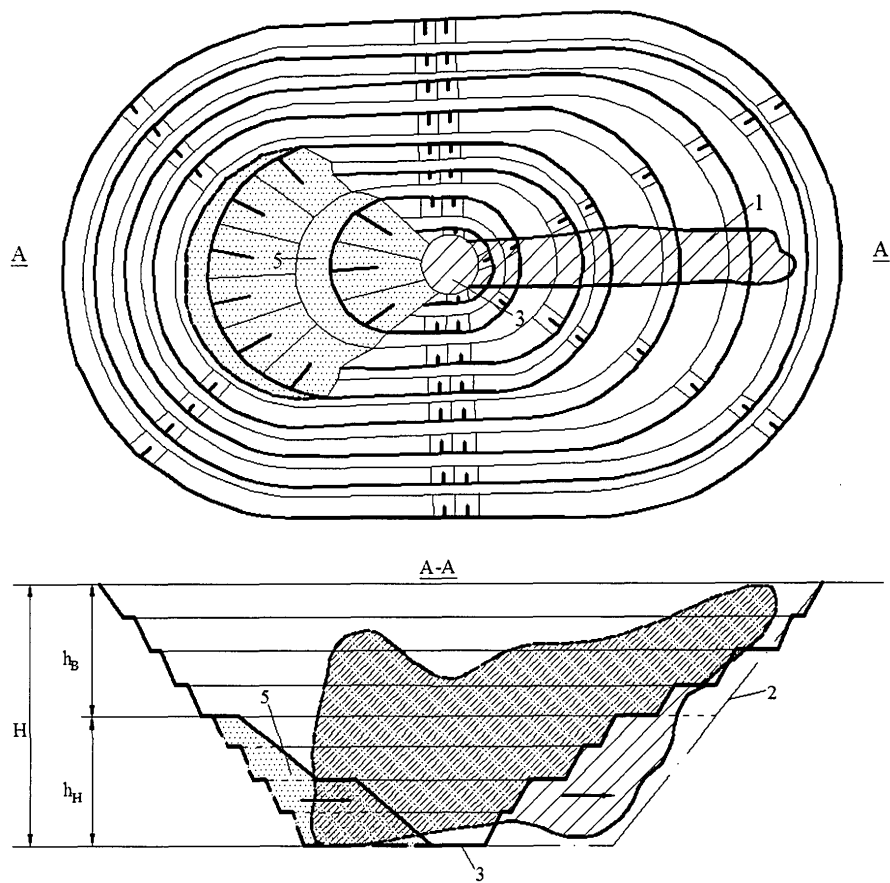
- Разработанный способ отработки месторождения характеризуется существенными техническими преимуществами, позволяющими повысить углы погашения борта, сократить объемы вскрыши и оптимизировать работу горнотранспортного оборудования, хотя и усложняющими технологию отработки нижних горизонтов карьера.

- При постановке борта в конечное положение углы заоткоски уступов принимаются: в верхней трещиноватой зоне - 55°; в зоне средней трещиноватости - 60°; глубже 150 м - 65-70°.

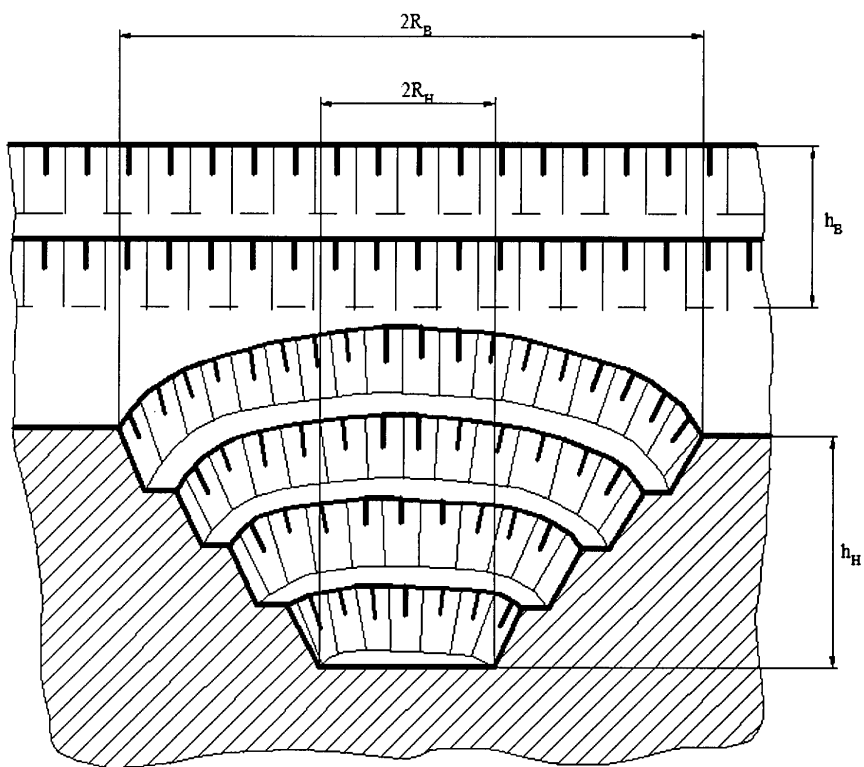
## Формула изобретения

Способ отстройки нерабочего борта карьера, включающий формирование предохранительных берм, взаиморасположением и шириной которых обеспечивают равенство устойчивого и конструктивного углов откоса нерабочего борта в пределах выделенной по глубине карьера зоны, а также предусматривающий размещение на берме осыпи и обрушенной породы, не подлежащей удалению в течение всего срока функционирования борта, отличающийся тем, что отработка верхней зоны карьера ведется продольными и поперечными панелями с развитием горных работ от центральной части карьера к его периферии и в направлении падения залежи, с погашением бортов карьера под проектными углами, полученными с учетом поправки на кривизну борта в его нижней части без каких-либо ограничений по параметрам и форме карьерной выемки, при этом оптимизация соотношения удерживающих и сдвигающих сил, действующих по наиболее слабой поверхности возможного обрушения, обеспечивает уменьшение высотной зоны, обрабатываемой криволинейными в плане участками, до минимальной, но достаточной для обеспечения устойчивости нерабочего борта карьера.



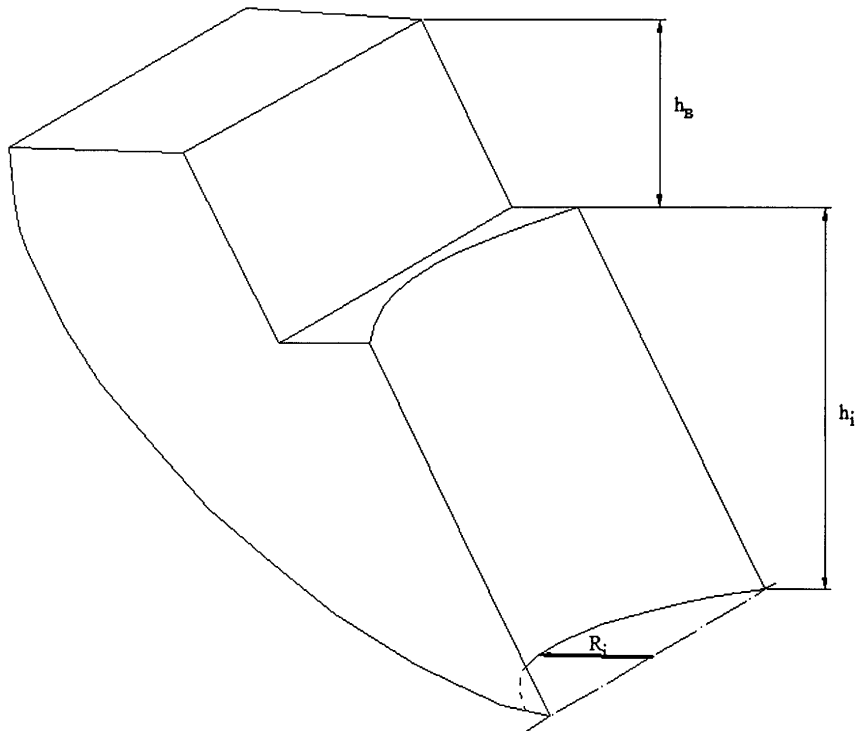


Фиг. 3

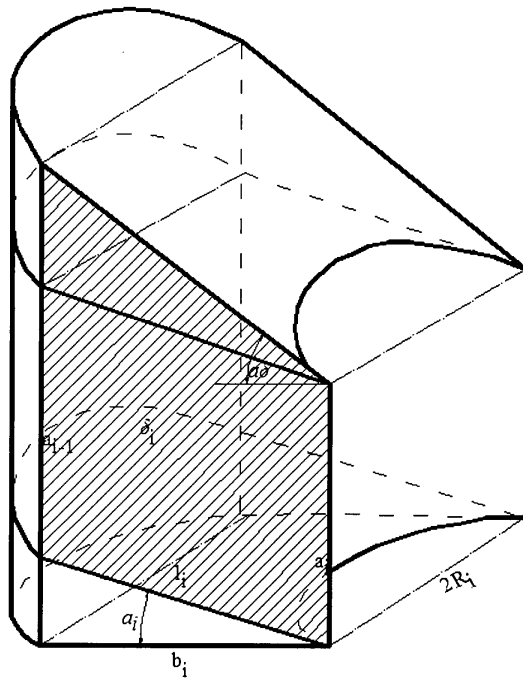


Фиг. 4





Фиг. 5



Фиг. 6