

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2495251

### СПОСОБ РАЗРАБОТКИ СВИТЫ СБЛИЖЕННЫХ ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012106651

Приоритет изобретения **22 февраля 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **10 октября 2013 г.**

Срок действия патента истекает **22 февраля 2032 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012106651/03, 22.02.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**22.02.2012**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **22.02.2012**(45) Опубликовано: **10.10.2013** Бюл. № 28(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2282030 C1, 20.08.2006. SU 941621 A1, 07.07.1982. SU 1101558 A1, 07.07.1984. SU 1267007 A1, 30.10.1986. RU 2100611 C1, 27.12.1997. RU 2395690 C1, 27.07.2010. EP 1440220 B1, 01.02.2006.**

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):

**Ковалев Олег Владимирович (RU),  
Мозер Сергей Петрович (RU),  
Тхориков Игорь Юрьевич (RU),  
Лейсле Артем Валерьевич (RU),  
Руденко Геннадий Викторович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

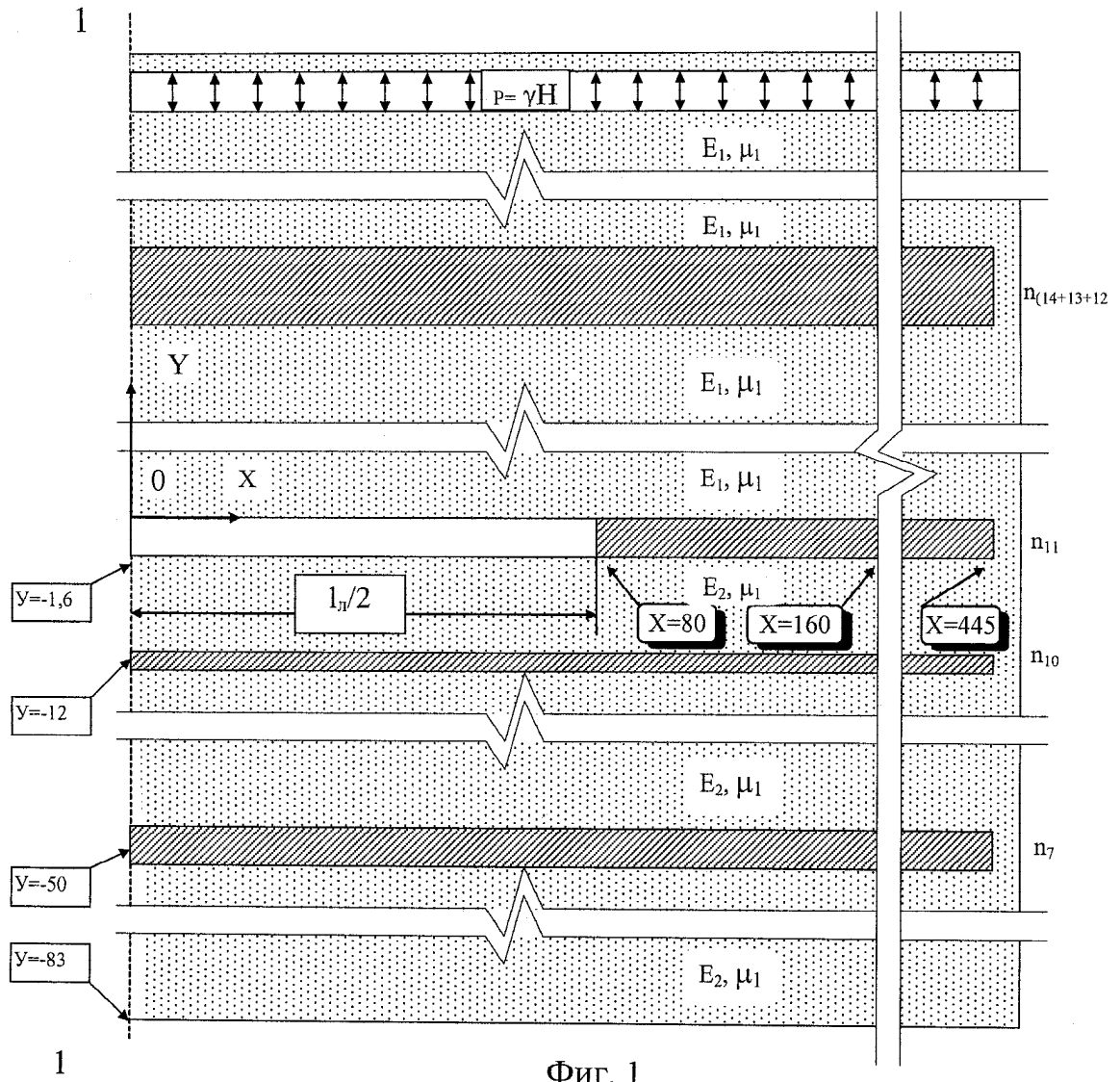
**федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Санкт-  
Петербургский государственный горный  
университет" (RU)**

**(54) СПОСОБ РАЗРАБОТКИ СВИТЫ СБЛИЖЕННЫХ ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к горному делу, в частности к системам разработки сближенных высокогазоносных угольных пластов. Техническим результатом является повышение эффективности удаления метана, повышение нагрузки на очистной забой и повышение безопасности очистных работ по газовому фактору. Способ заключается в определении протяженности зон активного газовыделения, подготовку выемочных столбов путем проведения и крепления конвейерных и вентиляционных выработок по массиву горных пород, обработку выемочных столбов и удаление метана по дегазационным скважинам. При этом протяженность зон активного газовыделения определяют по изменению

объемных деформаций массива горных пород. Причем значения объемных деформаций массива горных пород получают численными методами на основе анализа компонентов тензоров деформаций и напряжений с учетом временного фактора. Тензорной характеристикой является газопроницаемость горных пород в условиях естественного их залегания. Осуществляют оценку средних значений величин газопроницаемости массива горных пород по приведенному математическому выражению. После определения протяженности зон активного газовыделения, с учетом полученных данных, выбирают схемы бурения скважин, их диаметр и число. 6 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**E21F 7/00** (2006.01)  
**E21C 41/18** (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012106651/03, 22.02.2012**

(24) Effective date for property rights:  
**22.02.2012**

Priority:

(22) Date of filing: **22.02.2012**

(45) Date of publication: **10.10.2013 Bull. 28**

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 linija, 2,  
FGBOU VPO "Sankt-Peterburgskij  
gosudarstvennyj gornyj universitet", otdel IS i TT**

(72) Inventor(s):

**Kovalev Oleg Vladimirovich (RU),  
Mozer Sergej Petrovich (RU),  
Tkhorikov Igor' Jur'evich (RU),  
Lejsle Artem Valer'evich (RU),  
Rudenko Gennadij Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Sankt-  
Peterburgskij gosudarstvennyj gornyj  
universitet" (RU)**

(54) **METHOD FOR DEVELOPMENT OF SERIES OF CONTIGUOUS COAL BEDS**

(57) Abstract:

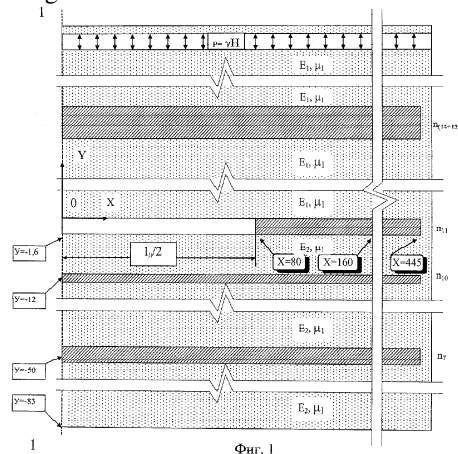
FIELD: mining.

SUBSTANCE: method consists in identification of a length of active gas release zones, preparation of extraction pillars by tunnelling and strengthening mines in the rock massif, mining of extraction pillars and removal of methane in degassing wells. At the same time the length of active gas release zones is defined by variation of volume deformations of rock massif. At the same time the values of volume deformations of rock massif are produced by numerical methods on the basis of analysis of components of deformation and stress tensors with account of the time factor. The tensor characteristic is gas permeability of rocks under conditions of their natural occurrence. Medium values of rock massif gas permeability are assessed by the given mathematical expression. After determination of length of active gas release zones, with account of

produced data, schemes of well drilling, their diameter and number are selected.

EFFECT: increased efficiency of methane removal, higher load at a working face and increased safety of clearing works by gas factor.

6 dwg



RU 2 495 251 C1

RU 2 495 251 C1

Изобретение относится к горному делу, в частности к системам разработки сближенных высокогазоносных угольных пластов, и может быть использовано для повышения нагрузки на очистной забой и повышения безопасности очистных работ по газовому фактору.

Известен способ дегазации угленосной толщи (патент РФ №2103516, E21F 7/00, опубл. 27.01.1998). Способ дегазации угленосной толщи включает проходку дренажной выработки в кровле и почве газоносного пласта до начала проведения подготовительных выработок на защищаемом пласте и установку временной крепи в выработке. Дренажную выработку проходят на удалении от защищаемого пласта, не превышающем 8,5 кратную ширину дренажной выработки. На ее почву укладывают перфорированный газопровод, затем обрушают выработку, а проходку подготовительных выработок на защищаемом пласте начинают после снижения газоносности дегазуемого участка до безопасного уровня.

Недостатком данного способа является низкая эффективность удаления метана, снижающая возможные нагрузки на очистной забой и высокая опасность очистных работ из-за влияния газового фактора.

Известен способ дегазации угленосной толщи (патент РФ №2382882, E21F 7/00, опубл. 27.02.2010). Способ включает проходку дренажной выработки по газоносному пласту-спутнику на удалении от защищаемого пласта до начала проведения подготовительных выработок на защищаемом пласте. Проходят ее в плоскости, параллельной границам выемочного столба в зоне, ограниченной линиями фактических углов разломов и углов сдвижения, направленными со стороны почвы выработок защищаемого пласта. Используют ее в качестве дегазационного трубопровода, проветриваемого обособленно за счет общешахтной депрессии, причем максимальную высоту  $h$  между пластом-спутником и защищаемым пластом по вертикали принимают менее 40 м. Минимальную мощность пласта спутника принимают более 0,2 м, где  $m$  - мощность защищаемого пласта.

Недостатком данного способа является низкая эффективность удаления метана, снижающая возможные нагрузки на очистной забой и высокая опасность очистных работ из-за влияния газового фактора.

Известен способ комплексного освоения участка угольного месторождения (патент РФ №2370649, E21C 41/18, E21B 43/295, опубл. 07.04.2008). Способ комплексного освоения участка угольного месторождения включает: предварительную дегазацию пластов, вскрытие и подготовку шахтного поля путем проведения сети вскрывающих и подготавливающих горных выработок с общим уклоном в сторону главных стволов для организации самотечного водоотведения, подачу необходимого количества воздуха для их принудительного проветривания в одном направлении, выемку угля и транспорт отбитого угля на поверхность по тем же горным выработкам. По мере развития работ по выемке угля часть горных выработок в отработанной части шахтного поля продолжают поддерживать до конца его отработки. После окончания выемки угля в шахтном поле осуществляют подземное сжигание охранных целиков, эксплуатационных потерь и некондиционных запасов угля. После выгорания угля в шахтном поле остатки газообразных продуктов подземного сжигания концентрируют на верхнем горизонте шахтного поля путем заполнения всего выработанного пространства водным раствором реагентов. Газообразные продукты подземного сжигания улавливают на верхнем горизонте шахтного поля и, после тушения очага подземного сжигания, осуществляют откачивание продуктивного раствора из зумпфа шахтного ствола. Продуктивный раствор направляют на извлечение ценных и (или)

токсичных элементов, причем заполнение выработанного пространства водными растворами реагентов и их откачивание производят многократно при необходимости смены реагента.

5 Недостатком данного способа является низкая эффективность удаления метана, снижающая возможные нагрузки на очистной забой, и высокая опасность очистных работ из-за влияния газового фактора.

10 Известен способ разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов, принятый за прототип (патент РФ №2282030, E21C 41/18, E21F 7/00, опубл. 20.08.2006). Способ разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов предусматривает отработку одного из них первым и включающий  
15 подготовку выемочных столбов путем проведения и крепления конвейерных и вентиляционных выработок с оставлением угольного целика между конвейерной выработкой обрабатываемого выемочного столба и вентиляционной выработкой подлежащего отработке выемочного столба, проведение вентиляционных сбоек между конвейерной выработкой обрабатываемого выемочного столба и  
20 вентиляционной выработкой подлежащего отработке выемочного столба, отработку каждого выемочного столба с одновременной установкой охранной крепи в поддерживаемой за очистным забоем на границе с выработанным пространством части конвейерной выработки и возведением в вентиляционных сбоях со стороны выработанного пространства перемычек и удаление метана из выработанного  
25 пространства средствами вентиляции с помощью потока метановоздушной смеси, создаваемого утечками воздуха, выносимыми из очистного забоя через выработанное пространство за счет общешахтной депрессии в поддерживаемую часть конвейерной выработки и подсвежаемыми по ней, и разделяемого у ближайшей за очистным забоем вентиляционной сбойки на две части, одна из которых следует по этой сбойке и далее по вентиляционной выработке, как исходящая выемочного участка с подсвежением по  
30 ней, причем одновременно с удалением метана средствами вентиляции осуществляют его удаление из выработанного пространства средствами дегазации путем каптирования другой части потока метановоздушной смеси, протекающей по выработанному пространству вблизи не поддерживаемой части конвейерной выработки, по дегазационным скважинам, пробуренным в подрабатываемый массив  
35 из вентиляционной выработки в сторону выработанного пространства, причем согласно изобретению первоначально определяют протяженность зон активного газовыделения подрабатываемых и надрабатываемых сближенных угольных пластов, а затем по мере отработки выемочного столба за очистным забоем в конвейерной  
40 выработке в зонах активного газовыделения подрабатываемых и надрабатываемых сближенных угольных пластов сооружают газосборный коллектор путем поочередного возведения двух поперечных перемычек, торцы которых выходят за контур конвейерной выработки, причем каждую из поперечных перемычек возводят в конвейерной выработке со стороны выработанного пространства впереди очередной  
45 вентиляционной сбойки после опережения очистным забоем следующей вентиляционной сбойки с одновременным заперемычиванием вентиляционной сбойки, располагаемой между ранее возведенной и смежной с ней ближайшей от очистного забоя перемычками, при этом ближайшую от очистного забоя перемычку  
50 газосборного коллектора располагают от него на расстоянии, равном не более протяженности зоны активного газовыделения надрабатываемых сближенных угольных пластов, а другую более удаленную от очистного забоя перемычку - соответственно на расстоянии, равном не более протяженности максимальной зоны

активного газовыделения надрабатываемых сближенных угольных пластов, причем по мере подвигания очистного забоя удаление метана из выработанного пространства средствами дегазации происходит в два этапа: вначале часть потока метановоздушной смеси, которая следует по выработанному пространству вблизи не поддерживаемой 5 части конвейерной выработки, оттесняется в зоне влияния каждой из поперечных переемычек газосборного коллектора в направлении расположения верхних слоев разгружаемой зоны подрабатываемых сближенных угольных пластов, за счет чего происходит скачкообразное повышение концентрации и дебита метановоздушной 10 смеси указанной части потока, которую затем каптируют по дегазационным скважинам, причем при бурении этих скважин в подрабатываемый массив из вентиляционной выработки в сторону выработанного пространства их ориентируют таким образом, чтобы каждый куст дегазационных скважин находился в зоне влияния поперечной переемычки газосборного коллектора, в дальнейшем вслед за подвиганием 15 очистного забоя в ходе отработки выемочного столба повторяют цикл работ по сооружению следующего газосборного коллектора при использовании очередной возведенной переемычки, ближайшей от очистного забоя, с тем, чтобы вновь образовался скачок концентрации и дебита метановоздушной смеси с последующим ее 20 каптажем из выработанного пространства с помощью упомянутых дегазационных скважин, при этом после подготовки очередного выемочного столба по одному из свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов и отработки его в свите первым в зоне подработки или надработки отрабатывают смежные сближенные угольные пласты с помощью традиционных способов разработки, применяемых в 25 условиях незначительной остаточной природной газоносности угольных пластов.

Недостатком данного способа является низкая эффективность удаления метана, снижающая возможные нагрузки на очистной забой, и высокая опасность очистных работ из-за влияния газового фактора.

30 Техническим результатом способа является повышение эффективности удаления метана, повышение нагрузок на очистной забой и повышение безопасности очистных работ по газовому фактору.

Технический результат достигается тем, что в способе разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов, включающий определение 35 протяженности зон активного газовыделения, подготовку выемочных столбов путем проведения и крепления конвейерных и вентиляционных выработок по массиву горных пород, отработку выемочных столбов, удаление метана по дегазационным скважинам согласно изобретению протяженность зон активного газовыделения 40 определяют по изменению объемных деформаций  $\Delta\Theta$  массива горных пород с помощью зависимости:

$$\Delta\Theta = \Theta_0 - \Theta_i,$$

где:  $\Theta_0$  - объемные деформации массива горных пород до начала отработки выемочных столбов;  $\Theta_i$  - объемные деформации массива горных пород на  $i$ -й стадии 45 отработки выемочных столбов, значения деформаций  $\Theta_0$  и  $\Theta_i$  массива горных пород получают численными методами на основе анализа компонентов тензоров деформаций и напряжений с учетом временного фактора, причем тензорной характеристикой является газопроницаемость горных пород в условиях естественного 50 их залегания, причем для оценки средних значений величин газопроницаемости  $k_{cp}$  массива горных пород используют выражение:

$$k_{cp} = k_0^{cp} + a \cdot \sigma_{cp};$$

где:  $k_0^{cp}$  - средние значения величин газопроницаемости массива горных пород при наличии массиве горных пород условия  $\sigma_{cp} \rightarrow 0$ ,  $\sigma_{cp}$  - средние действующие напряжения в обрабатываемом массиве горных пород, кгс/см<sup>2</sup>;  $a$  - эмпирический коэффициент, при этом после определения протяженности зон активного газовыделения с учетом полученных данных выбирают схемы бурения скважин, их диаметр и число.

Способ предназначен преимущественно для отработки свит высокогазоносных угольных пластов современными механизированными комплексами. Отработка угленосных толщ, как правило, сопровождается большими выделениями взрывчатого и горючего газа метана, которые при добыче угля ставят ограничения по нагрузке на очистной забой, так называемый газовый вентиляционный барьер. В настоящее время из-за значительной глубины горных работ выделяется все большее количество метана (например, средняя газоносность шахт Донецкого и Карагандинского бассейнов равна соответственно 30 и 90 м<sup>3</sup>/мин). Бороться с такими количествами метана традиционным способом (разбавлением метана воздухом и выносом из шахты вентиляционной струей) во многих случаях оказывается невозможным из-за необходимости подачи в шахту чрезвычайно большого количества воздуха и превышения допустимых скоростей его движения по выработкам согласно требований действующих Правил безопасности при разработке угольных месторождений. Увеличение скорости подвигания лав на пластах с высокой газообильностью и расширение области применения комплексов с гидравлическими крепями требуют принятия более эффективных мер по снижению газообильности. Существующие способы предварительной дегазации разрабатываемых пластов скважинами и повышение дегазации выработанного пространства зачастую уже не обеспечивают снижение газообильности до допустимого уровня, так как наибольшее количество газа выделяется в выработанное пространство из пластов-спутников.

Исследования показали, что протяженность зон активного газовыделения можно осуществлять с использованием расчетных методов, учитывающих изменение фильтрующей способности массива горных пород (включая свиту высокогазоносных угольных пластов) в процессе изменения его напряженного состояния (перераспределения напряжений в массиве горных пород). Такой величиной является параметр, характеризующий изменение объемной деформации  $\Delta\Theta$  в точке массива горных пород, а именно:

$$\Delta\Theta = \Theta_0 - \Theta_i,$$

где:  $\Theta_0$  - объемные деформации массива горных пород до начала отработки выемочных столбов;  $\Theta_i$  - объемные деформации массива горных пород на  $i$ -й стадии отработкой выемочных столбов.

Значения объемных деформаций массива горных пород можно получать численными методами на основе анализа компонентов тензоров деформаций и напряжений с учетом временного фактора. Для оценки газопроницаемости массива горных пород в зависимости от его механического состояния используют выражение:

$$k_{cp} = k_0^{cp} + a \cdot \sigma_{cp};$$

где:  $k_0^{cp}$  - средние значения величин газопроницаемости массива горных пород при наличии массиве горных пород условия  $\sigma_{cp} \rightarrow 0$ ,  $\sigma_{cp}$  - средние действующие напряжения в обрабатываемом массиве горных пород, кгс/см<sup>2</sup>;  $a$  - эмпирический коэффициент. С учетом полученных данных выбирают схему и место бурения дегазационных скважин для эффективного удаления метана из свиты высокогазоносных угольных пластов.

Общая пористость углей в среднем может достигать ~ 12%, но поскольку она



обычно состоит из сорбционного и фильтрующего объемов, то ее последняя составляющая (эффективная пористость) достигает ~ 3%. Данные объемы обычно представлены порами (трещинами) с размерами от  $10^{-6}$  до  $10^{-1}$  см, образующими сложную систему сообщающихся между собой транспортных каналов (пустот).  
 5 Указанные величины отвечают условию, когда массив горных пород, вмещающий свиту высокогазоносных угольных пластов находится в разгруженном от механических напряжений состоянии ( $\sigma_{ср} \rightarrow 0$ ). Предварительные оценки показали, что наличие внешних нагрузок, отвечающих геостатическому полю ("γ·Н") до глубин ~  
 10 1500 м, несущественно сказывается на изменении сорбционного объема угля, представленного, в основном, ультрапорами, а изменяет лишь их фильтрующую пористость.

Исследование изменчивости собственно горно-геомеханических параметров какого-либо оцениваемого объекта может быть выполнена с помощью аппарата метода  
 15 граничных элементов, метода конечных элементов и других.

Разработанная для численного экспериментирования методика оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород (МГП) позволяет получать данные о параметре  $\Delta\Theta$  в функции координат (пространства). Задавая  
 20 некоторые фиксированные (для определенных моментов времени) положения фронта очистных работ, возможно получить и функциональную зависимость искомых параметров от времени для частных случаев рассмотрения процессов деформирования толщи горных пород в условиях конкретной задачи.

Выполненные исследования показали, что существует взаимосвязь параметра эффективной пористости "п" и средних значений напряжений  $\sigma_{ср}$ , действующих в массиве горных пород. Следовательно, в квази-упруго-деформируемых средах  
 25 очевидна и взаимозависимость параметров п и  $\Theta_i$ .

$$\Theta_i = k \cdot \sigma_{ср},$$

где: k - параметр ( $k = 3/E \cdot (1 - 2 \cdot \Theta_i \cdot \mu)$ ); E - модуль упругости структурных литотипов массива горных пород;  $\mu$  - коэффициент Пуассона тех же элементов массива горных пород.  
 30

Это позволяет определить роль НДС пород в изменении показателя их эффективной (фильтрующей) пористости, то есть газопроницаемость среды можно  
 35 выразить следующим образом:

$$k_{ср} = k_0^{ср} + a \cdot \sigma_{ср};$$

где:  $k_0^{ср}$  - средние значения величин газопроницаемости массива горных пород при  
 40 наличии массиве горных пород условия  $\sigma_{ср} \rightarrow 0$ ,  $\sigma_{ср}$  - средние действующие напряжения в отработываемом массиве горных пород, кгс/см<sup>2</sup>; a - эмпирический коэффициент.

Способ разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов осуществляют следующим образом. Подготавливают выемочные столбы путем  
 45 проведения и крепления конвейерных и вентиляционных выработок по массиву горных пород. Отработывают выемочные столбы. Удаляют метан средствами вентиляции за счет общешахтной депрессии и по дегазационным скважинам. Перед началом подготовительных работ определяют протяженность зон активного газовыделения угольных пластов расчетным путем по изменению объемных  
 50 деформаций  $\Delta\Theta$  массива горных пород на основе взаимосвязи коллекторских и фильтрационных характеристик массива горных пород с его механическим состоянием с помощью зависимости:

$$\Delta\Theta = \Theta_0 - \Theta_i,$$

где:  $\Theta_0$  - объемные деформации массива горных пород до начала отработки выемочных столбов;  $\Theta_i$  - объемные деформации массива горных пород на  $i$ -й стадии отработки выемочных столбов.

Значения объемных деформаций  $\Theta_0$  и  $\Theta$  массива горных пород получают численными методами на основе анализа компонентов тензоров деформаций и напряжений с учетом временного фактора, а для оценки газопроницаемости фильтрующей среды в зависимости от ее механического состояния используют выражение:

$$k_{cp} = k_0^{cp} + a \cdot \sigma_{cp};$$

где:  $k_0^{cp}$  - средние значения величин газопроницаемости массива горных пород при наличии массиве горных пород условия  $\sigma_{cp} \rightarrow 0$ ,  $\sigma_{cp}$  - средние действующие напряжения в обрабатываемом массиве горных пород, кгс/см<sup>2</sup>;  $a$  - эмпирический коэффициент. С учетом полученных данных выбирают схемы бурения скважин, их диаметр и число для эффективного удаления метана из свиты высокогазоносных угольных пластов.

Следует отметить, что данная методика может быть использована для расчета фильтрационных характеристик зон массива горных пород, испытывающих только упругие деформации, т.е. для зон обрушения и трещинообразования необходимо использовать иные подходы.

Реализация способа разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов поясняется примером для условий пласта "Четвертый" Печорского угольного бассейна. На фиг.1 показана горно-геомеханическая модель массива горных пород для оценки напряженно-деформированного состояния пород в надрабатываемом пласте "Четвертым" массиве горных пород, фиг.2 приведен график функции  $k_{cp} = f(\sigma_{cp})$  для оценки изменений газопроницаемости массива горных пород, на фиг.3 приведен фрагмент схемы области оценки параметра " $\Delta\Theta$ " в надработанном массиве "n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>", на фиг.4 показана зональность изменчивости геомехано-газодинамических свойств надрабатываемого междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>", "А", "Б", "В", "Г", "Д", "Е", "Ж", "З", "Б" и "А" - зоны активного газовыделения в массиве горных пород, на фиг.5 показан график функции  $\Delta\Theta = f(\Theta_i)$  при значениях:  $\Theta_{A0} = -62 \cdot 10^{-5}$  (отвечает условиям надработки междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>");  $\Theta_{A0} = -30 \cdot 10^{-5}$  - как вариант семейства  $\Delta\Theta = f(\Theta_i)$ , на фиг.6 приведен вариант дегазационной схемы для надрабатываемого междупластья (n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>) (пологое залегание пласта "n<sub>11</sub>", нисходящий порядок отработки столбов).

На фиг.1 зона надработки отвечает пределам площади  $S_0$  (площади обнажения до 1-й посадки основной кровли),  $S_{11}$  (площади обнажения до следующих посадок основной кровли), а временной фактор характеризуется как  $t \rightarrow t_1$ ,  $t_i \geq t_H$  ( $t$  - временной фактор, характеризующий время, прошедшее с начала отработки лавы,  $t_1$  - временной фактор, характеризующий время, в течение которого пригруженное выработанное пространство набирает максимальную площадь перед обрушением,  $t_i$  - временной фактор, характеризующий время, прошедшее с начала отработки лавы до достижения расчетной зоны А, Б, В...,  $t_H$  - временной фактор, характеризующий время, прошедшее с начала отработки лавы до посадки основной кровли). На границе исследуемой невесомой области приложено давление  $P \approx \gamma H = 25$  МПа. Зона исследования параметров напряженно-деформированного состояния массива:  $0 \leq x \leq 160$  (м),  $1,6 \leq y \leq -83$  (м), что полностью "охватывает" надрабатываемую толщу (включая пласт n<sub>7</sub>). "1-1" - ось симметрии.

Для практических (приближенных) оценок изменения эффективной пористости в

массиве может быть использована простая аппроксимация функции  $n=f(\sigma_{cp})$  в виде:

$$k_{cp} = k_0^{cp} + a \cdot \sigma_{cp};$$

5 где:  $k_0^{cp}$  - средние значения величин газопроницаемости массива горных пород при наличии массиве горных пород условия  $\sigma_{cp} \rightarrow 0$ ,  $\sigma_{cp}$  - средние действующие напряжения в обрабатываемом массиве горных пород, кгс/см<sup>2</sup>;  $a$  - эмпирический коэффициент ( $\sim 52 \cdot 10^{-4}$ ).

10 Следует иметь в виду, что величины напряжений для условий  $\sigma_{cp} > 0$  в надработанном массиве горных пород ограничены.

Газопроницаемость горных пород в условиях естественного их залегания является тензорной характеристикой. Общее представление об изменчивости этого параметра в функции от механических напряжений в массиве можно составить, анализируя средние (для данной точки массива горных пород) значения параметра, т.е. в виде  $k_{cp} = \varphi(\sigma_{cp})$ .

15 Результаты изучения газопроницаемости угольных пластов (ИГД, МакНИИ) показали, что для углей марок "К" - "Ж" параметр  $k_0^{cp}$  (при  $\sigma \rightarrow 0$ ) составляет около 60  $\mu D$  при коэффициенте вариации  $V \leq 30\%$  ( $\approx 0,06 \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup>), а характер функции  $k_{cp} = \varphi(\sigma_{cp})$  для всех исследованных типов углей может быть представлен в экспоненциальной форме.

20 Для оценок изменчивости газопроницаемости массива "n<sub>1</sub>-n<sub>7</sub>", надработываемого пластом "Четвертым", в первом приближении, может быть использовано аппроксимационное уравнения вида:

$$k_{cp} = k_0^{cp} + a \cdot \sigma_{cp};$$

25 где:  $\pm \sigma_{cp}$  - кгс/см<sup>2</sup>;  $k_0^{cp}$  -  $\mu D$  (для ориентировочных расчетов может быть принято 60  $\mu D$ );  $30 \leq k_0^{cp} \leq 65$ ,  $a = 104 \cdot 10^{-3}$ .

30 Разброс значений  $k_{cp} = \varphi(\sigma_{cp})$  при использовании приведенной выше зависимости не превышает 30%. График функции  $k_{cp} = \varphi(\sigma_{cp})$  для оценки изменений газопроницаемости надработываемого пластом "Четвертым" междупластья "n<sub>1</sub>-n<sub>7</sub>" приведен на фиг.2.

Используя методические подходы, приведенные выше, получим поля приращений (изменений) объемных деформаций в виде:

$$\Delta\Theta = \Theta_0 - \Theta_i,$$

35 где:  $\Delta\Theta$  - изменение объемных деформаций массива горных пород;  $\Theta_0$  - объемные деформации массива горных пород до начала отработки выемочных столбов;  $\Theta_i$  - объемные деформации массива горных пород на  $i$ -й стадии отработки выемочных столбов (эти состояния отвечают схемам: А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, Б, А, фиг.4).

40 Информация о полях  $\Delta\Theta$  дает возможность однозначно (сравнительно с полями  $\Theta$ ) оценить геомеханическое и газодинамическое состояние надработанной толщи пород. Предварительно был установлен порядок такой оценки, характеризующий "направленность" изменения коллекторских свойств массива горных пород в зависимости от изменения параметра  $\Delta\Theta$ . В частности, рост величин  $\Delta\Theta$  по модулю в условиях сжатой (но при  $\Theta_i < \Theta_{A0}$ ) или растянутой зон массива горных пород определяет "состояние" разгрузки массива при выполнении условия  $\Delta\Theta < 0$ . Имеется в виду, что "невозмущенный" массив (не надработанный) изначально находится в сжатой зоне, т.е. имеют место значения:  $\Theta_{A0} = -62 \cdot 10^{-5}$ ,  $\Delta\Theta = 0$ . При иных начальных величинах  $\Theta_{A0}$ , отвечающих новому нулевому значению  $\Delta\Theta$ , будут иметь место соответствующие зависимости  $\Delta\Theta = f(\Theta_i)$ . Для рассматриваемых условий, в частности

при  $\Theta_{A_0} = -62 \cdot 10^{-5}$ , указанная зависимость приведена на фиг.5.

Как очевидно, росту положительных значений  $\Delta\Theta$  ( $\Delta\Theta > 0$ ) отвечают условия пригрузки массива от состояния  $A_0$ .

5 Анализ полей  $\Delta\Theta$  показал следующее. При отходе забоя лавы от монтажной выработки на расстояние до 40 м в породах почвы лавы на глубинах от первых метров до двадцати и более метров происходит рост модуля параметра  $\Delta\Theta$  (при условии  $\Delta\Theta < 0$ ), что отвечает условиям разгрузки массива горных пород, последняя на указанной площади распространяется на глубины от нескольких метров до двадцати  
10 (и более) метров, т.е. может достигать пласта "n<sub>8</sub>" (разгружается значительная часть междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>8</sub>"). При заданных технологических параметрах добычи данная разгрузка будет иметь место на расстоянии до ~30 м от монтажной камеры, т.е. через ~10 суток от начала первичного подвигания очистного забоя.

15 При дальнейшем отходе лавы от разрезной печи на расстояние до 50÷60 м зона разгрузки достигает глубины тридцати метров ("n<sub>11</sub>-n<sub>8</sub>"), распространяясь практически по всей площади выработанного пространства, образованного на момент времени до ~20-25 суток. На временном отрезке (10-25 суток) модуль параметра  $\Delta\Theta$  продолжает расти, причем в наибольшей мере в пределах  
20 междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>10</sub>".

Далее, до расстояния около 300 м от монтажной камеры (временной диапазон до ~90 суток) прослеживается рост  $|\Delta\Theta|$  по ширине выработанного пространства при  
25 наибольшей его интенсивности вдоль участков выработанного пространства, прилегающих к выемочным штрекам (до 30 м, в плане). Принимая во внимание широко применяемый способ отработки столбов (по простиранию) в нисходящем порядке, следует отметить, что в рассматриваемом случае наибольшие значения изменений порового объема в надработанной толще пород будут иметь место (помимо околоштрековой области) в пределах нижней части выработанного  
30 пространства, считая от конвейерного штрека (на расстояниях  $\sim(0,5 \div 0,7)L_{\text{п}}$ ). По глубине разгрузка охватывает междупластье "n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>" - вдоль штрека, изменяясь до глубин "n<sub>11</sub>-n<sub>8</sub>(n<sub>9</sub>)" в направлении к центру выработанного.

На расстояниях от монтажной камеры свыше ~300 м (до ~400 м) в надработанной  
35 толще сохраняется эффект упругого восстановления объемной пористости пород в пределах междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>8</sub>" (до ~30-35 м по глубине). По времени это отвечает диапазону (85÷90)-(110÷120) суток.

Далее (>400 м) в надработанном междупластье под выработанным пространством  
40 начинается и, к моменту отхода лавы на 600÷700 м от монтажной камеры, практически заканчивается восстановление исходного порового пространства пород междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>" ( $|\Delta\Theta| \rightarrow 0$ ). Исключение составляет околоштрековая зона (до ~20 м), в которой имеет место частичная разгрузка пород в междупластье "n<sub>11</sub>-n<sub>9</sub>" ( $|\Delta\Theta| \neq 0$ ). С этого же расстояния (~600÷700 м) на основной площади выработанного  
45 пространства восстанавливается давление по почве пласта "n<sub>11</sub>" ( $\sim \gamma \cdot H$ ), а соответственно и приближенно-исходное (до "возмущения" массива горных пород лавой) состояние пород междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>", т.е.  $|\Delta\Theta| \rightarrow 0$ . Однако вдоль движущейся лавы в ее почве имеет место разгрузка пород: почти "полная" на глубине до 10÷15 м ("n<sub>11</sub>-n<sub>10</sub>") и частичная (до ~50%) на глубинах до ~55 м ("n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>"), что характеризуется  
50 достаточно большим, а в первом случае ("n<sub>11</sub>-n<sub>10</sub>") весьма резким увеличением значений модуля  $|\Delta\Theta|$  приблизительно в двадцати метровой зоне ВП, считая от плоскости забоя лавы. Начало рассматриваемого периода во временном диапазоне

отвечает  $\sim 130 \div 140$  суткам.

Установленная зональность разгрузки надрабатываемой пластом "n<sub>11</sub>" толщи пород обуславливает и изменение их эффективной пористости. Изменяется газопроницаемость пород, что необходимо учитывать при выборе параметров дегазации рассматриваемого междупластья.

Схема распределения упомянутых зон в пределах выработанного пространства выемочного столба, отрабатываемого по простиранию (в нисходящем порядке), приведена на фиг.4.

Изменения показателей ( $\Delta n$  - изменение эффективной пористости пород, %; средних значений величин газопроницаемости  $k_{ср}$  массива горных пород, %) даны относительно характеристик "невозмущенного" очистной выемкой массива, индексируемых "0<sup>БМ</sup>" знаком:  $n_0 \approx 1,7\%$ ;  $k_0^{ср} \approx 34 \mu D$  при соответствующем значении

$\Theta_{A_0} = f(\sigma_{ср})$ , равном  $\sim (-62 \cdot 10^{-5})$ .

Для практических (приближенных) оценок изменения эффективной пористости в массиве может быть использована простая аппроксимация функции  $n=f(\sigma_{ср})$  в виде:

$$n = n_0 + 52 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_{ср},$$

где:  $\pm \sigma_{ср}$  - кгс/см<sup>2</sup>;  $n_0$  - % ( $\sim 3\%$ );  $1,5 \leq n \leq 3,5(\%)$ .

Следует иметь в виду, что величины напряжений в надработанном МГП ограничены.

По мере подвигания лавы от монтажной камеры на расстоянии до  $70 \div 80$  м (т.е. через  $\sim 20 \div 25$  суток от начала очистной выемки) начинается разгрузка междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>", сопровождаемая ростом  $\Delta n$  и  $\Delta k_{ср}$ : от  $\sim 1 \div 2\%$  до  $\sim 5 \div 30\%$  в области глубин междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>9</sub>(n<sub>8</sub>)" (зона "А", "Б" фиг.4).

Далее на расстояниях от  $70 \div 80$  м до  $120 \div 150$  м от монтажной камеры (зоны "Б", "В" фиг.4) в породах почвы в области центральной части выработанного пространства (и выше по восстанию пласта) начинается снижение величин  $\Delta n$  и  $\Delta k_{ср}$ : до  $\sim 30\%$  в породах междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>9</sub>" и до  $\sim 10\%$  в междупластье "n<sub>9</sub>-n<sub>7</sub>". Время ведения очистных работ к данному моменту составляет около 50 суток.

В зоне от  $120 \div 150$  м до  $\sim 180$  м под центральной частью ВП происходит процесс дальнейшего снижения значений  $\Delta n$  и  $\Delta k_{ср}$  до близких к величинам фонового (невозмущенного) состояния массива. В зоне "Г" (на схеме фиг.4) в области, прилегающей к конвейерному штреку в диапазоне междупластья "n<sub>11</sub>-n<sub>8</sub>", параметр значений  $\Delta n$  и  $\Delta k_{ср}$  характеризуется величинами ( $5 \div 15\%$ ), а в междупластье "n<sub>8</sub>-n<sub>7</sub>" - ( $2 \div 8\%$ ). В направлении продольной оси симметрии ВП вплоть до расстояний от штрека, составляющих  $\sim 0,33 L_{ш}$ , соответственно в выше указанных пачках, параметры  $\Delta n$  и  $\Delta k_{ср}$  изменяются в пределах: ( $15 \div 30\%$ ) и ( $2 \div 10\%$ ).

В зоне "Д" (фиг.4) на расстоянии около 200 м от монтажной камеры ( $180 \div 200$  м - около  $60 \div 65$  суток ведения очистных работ) вдоль штрека в породах междупластья "n<sub>9</sub>-n<sub>7</sub>" рассматриваемые величины изменяются от  $\sim 1\%$  до  $\sim (7 \div 8\%)$  (по направлению снизу вверх), а в междупластье "n<sub>11</sub>-n<sub>9</sub>" - до ( $10 \div 15\%$ ). На расстояниях  $< 0,33 L_{ш}$  от штрека (в направлении центра ВП) изменения  $\Delta n$  и  $k_{ср}$ , соответственно для тех же междупластий, составят: ( $2 \div 10\%$ ) и ( $15 \div 25\%$ ).

Последующее изменение коллекторских свойств горных пород в зонах "Е", "Ж" и "З" имеет выраженный характер снижения значений  $\Delta n$  и  $\Delta k_{ср}$  как в направлении подвигания лавы от монтажной камеры, так и в нормальном направлении. В первом случае, рассматривая междупластье "n<sub>11</sub>-n<sub>7</sub>", указанные изменения составляют от ( $2 \div 5\%$ ) (на расстоянии  $\sim 200 \div 250$  м от монтажной выработки на момент  $\sim 70$  суток от

начала работ по выемке пласта) до (1÷2%) (на расстоянии ~550÷600 м от монтажной выработки на момент около 180 суток от начала работ по выемке пласта). При этом "нижние" значения (1÷2%) изменений эффективной пористости и газопроницаемости отвечают пачке пород междупластья "n<sub>9</sub>-n<sub>7</sub>", а "верхние" (2÷5%) - междупластью "n<sub>11</sub>-n<sub>9</sub>(n<sub>10</sub>)". Нормально к штреку на расстоянии ~0,2 L<sub>л</sub> от него, под выработанным пространством восстанавливаются приближенно "фоновые" характеристики ранее надработанного междупластья. Рассмотренное состояние в "околоштрековой" зоне остается стабильным и далее (свыше 350÷400 м) вдоль выработанного пространства вплоть до области "Б"-А" (фиг.4) вблизи призабойного пространства действующей в "данный момент" времени лавы.

На указанном расстоянии (>550÷600 м, т.е. на момент времени ~180÷200 суток) в зоне "Б"-А" (фиг.4) изменения параметров Δn и Δk<sub>ср</sub> остаются далее стабильными и обратны рассмотренным при отходе лавы от монтажной камеры (зона "А"-Б" на фиг.4). С расстояния 60÷70 м от плоскости лавы и далее в направлении ее забоя имеют место следующие изменения:

- в междупластье "n<sub>9</sub>-n<sub>7</sub>" - снижение параметров от ~30÷5% до ~2÷1%;
- в междупластье "n<sub>11</sub>-n<sub>9</sub>" - снижение параметров от ~60÷15% до ~5÷2%.

Указанные изменения не распространяются на околоштрековые, приблизительно двадцатиметровые зоны, в которых условия состояния массива горных пород междупластья близки к таковым в зоне "З", рассмотренным выше.

Выполненный по "ΔΘ-фактору" анализ состояния и изменчивости массива горных пород в процессе его надработки позволяет оценить состояние массива горных пород надработанной толщи, полученные на базе, в основном, анализа полей "ε<sub>x</sub>" и "ε<sub>y</sub>" в тех же зонах междупластья. Используя приведенные зависимости, можно использовать в виде программного продукта для получения исходных данных и разработки методических аспектов построения дегазационных схем для надработанного пластом "Четвертым" массива горных пород с учетом пространственно-временного фактора изменчивости его коллекторских свойств. Возможная схема бурения дегазационных скважин (для условий рассмотренного примера) приведена на фиг.б.

Применение данного способа разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов обеспечивает следующие преимущества:

- повышение эффективности удаления метана;
- повышение нагрузки на очистной забой по газовому фактору;
- повышение безопасности ведения очистных работ газовому фактору;
- снижение себестоимости добываемого угля.

#### Формула изобретения

Способ разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов, включающий определение протяженности зон активного газовыделения, подготовку выемочных столбов путем проведения и крепления конвейерных и вентиляционных выработок по массиву горных пород, отработку выемочных столбов, удаление метана по дегазационным скважинам, отличающийся тем, что протяженность зон активного газовыделения определяют по изменению объемных деформаций ΔΘ массива горных пород с помощью зависимости:

$$\Delta\Theta = \Theta_0 - \Theta_i,$$

где Θ<sub>0</sub> - объемные деформации массива горных пород до начала отработки выемочных столбов; Θ<sub>i</sub> - объемные деформации массива горных пород на i-й стадии отработки выемочных столбов,

значения деформаций  $\Theta_0$  и  $\Theta_1$  массива горных пород получают численными методами на основе анализа компонентов тензоров деформаций и напряжений с учетом временного фактора, причем тензорной характеристикой является газопроницаемость горных пород в условиях естественного их залегания, причем для  
5 оценки средних значений величин газопроницаемости  $k_{ср}$  массива горных пород используют выражение:

$$k_{ср} = k_0^{ср} + a \cdot \sigma_{ср};$$

10 где  $k_0^{ср}$  - средние значения величин газопроницаемости массива горных пород при наличии в массиве горных пород условия  $\sigma_{ср} \rightarrow 0$ ;  $\sigma_{ср}$  - средние действующие напряжения в обрабатываемом массиве горных пород, кгс/см<sup>2</sup>; а - эмпирический коэффициент,

15 при этом после определения протяженности зон активного газовыделения с учетом полученных данных выбирают схемы бурения скважин, их диаметр и число.

20

25

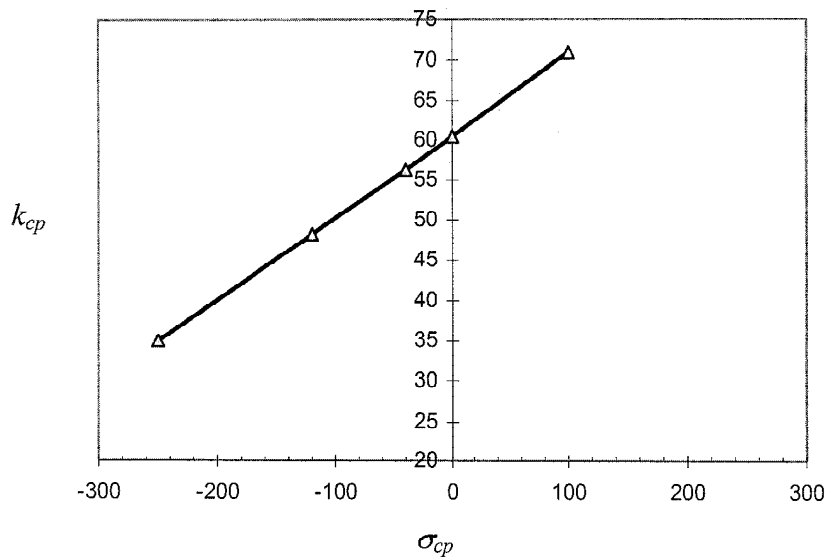
30

35

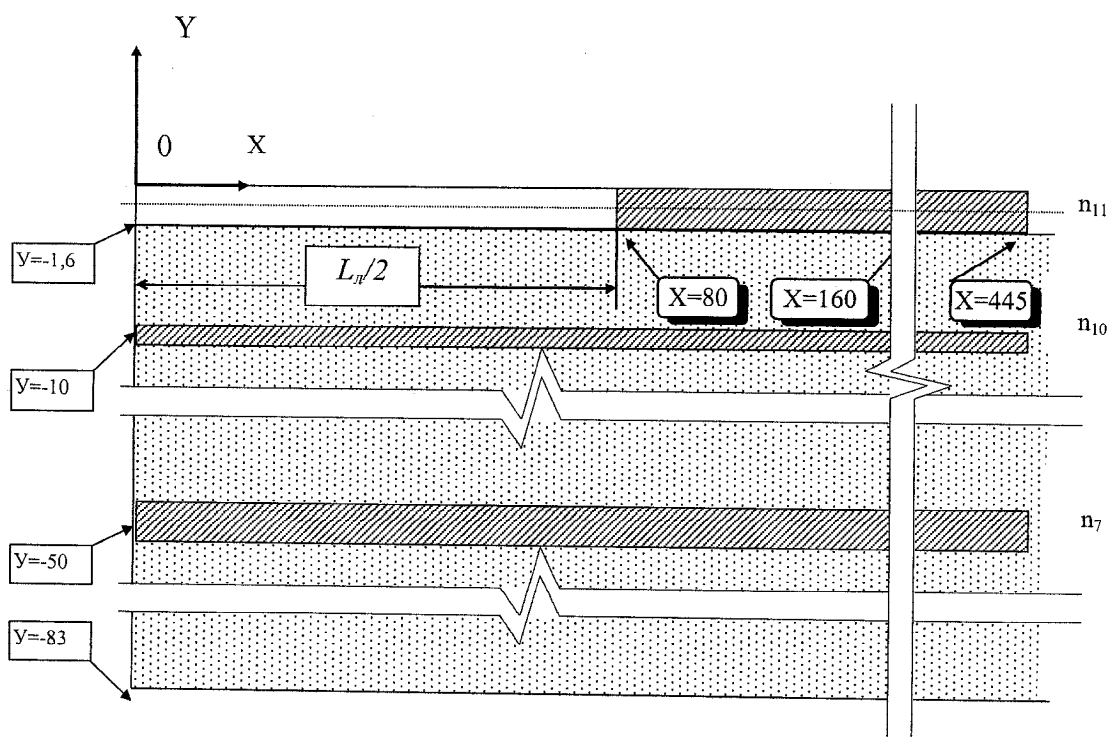
40

45

50

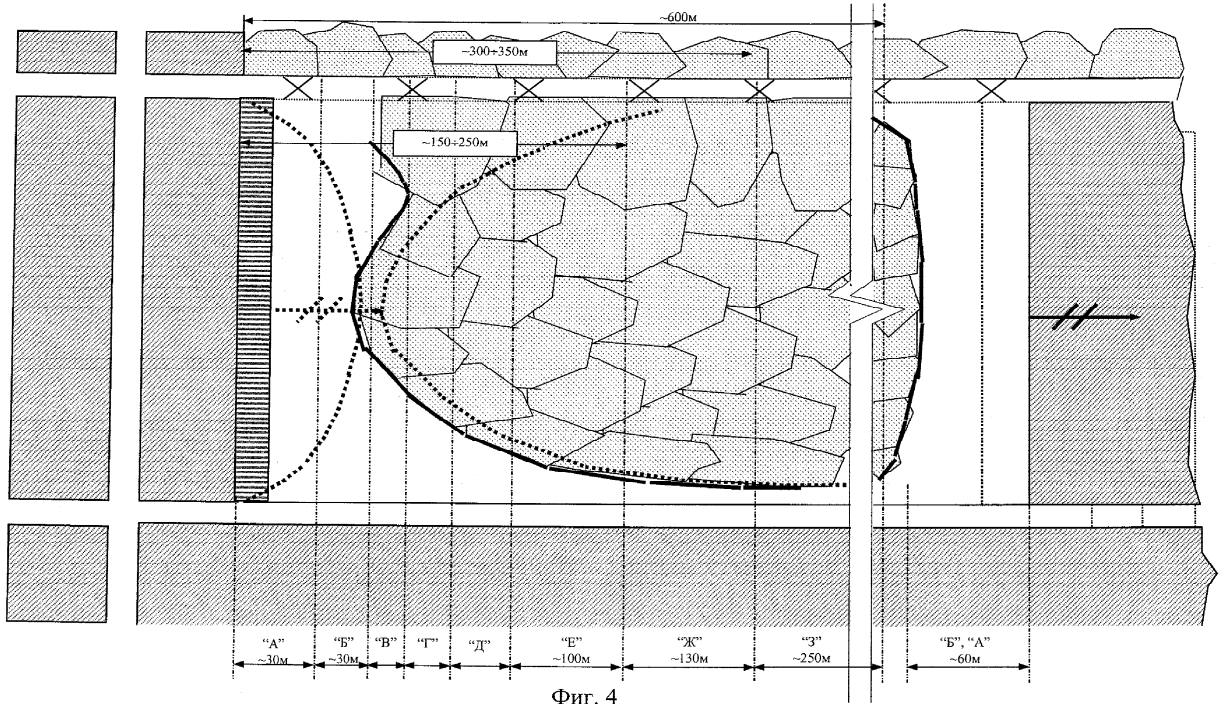


Фиг. 2

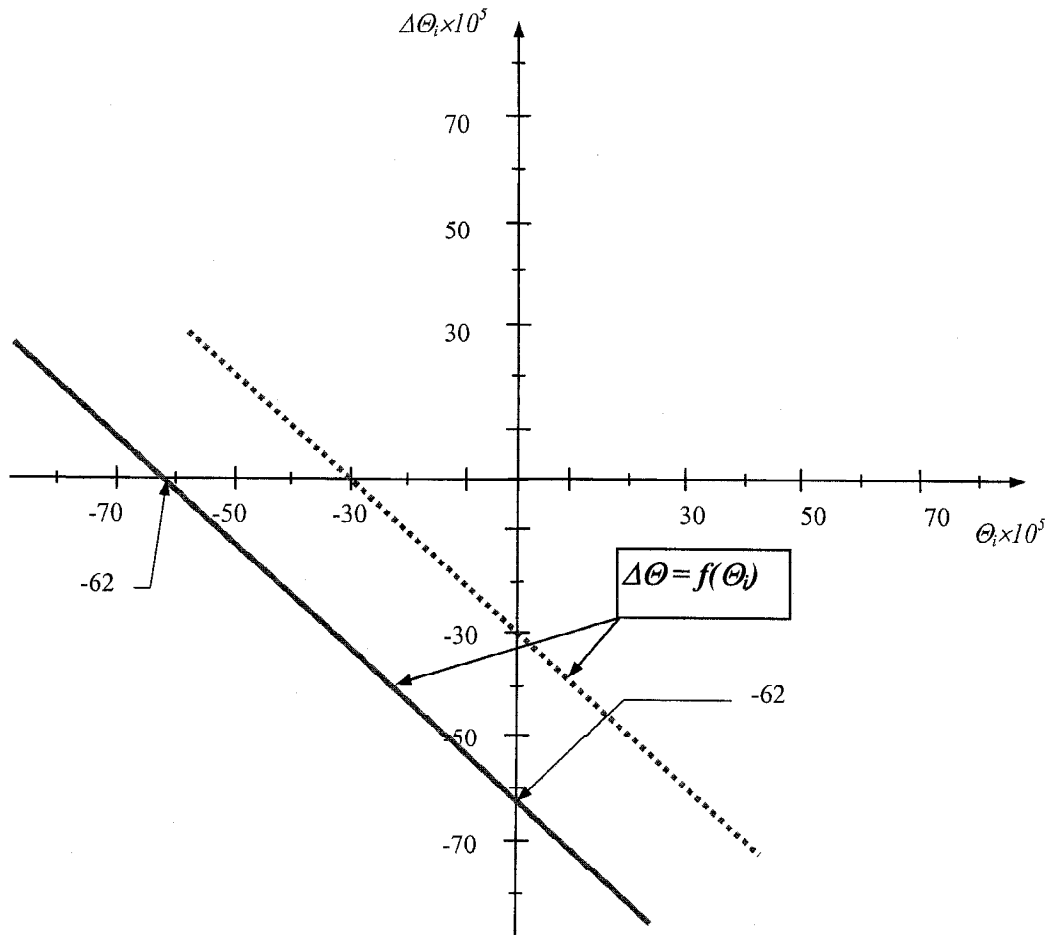


Фиг. 3

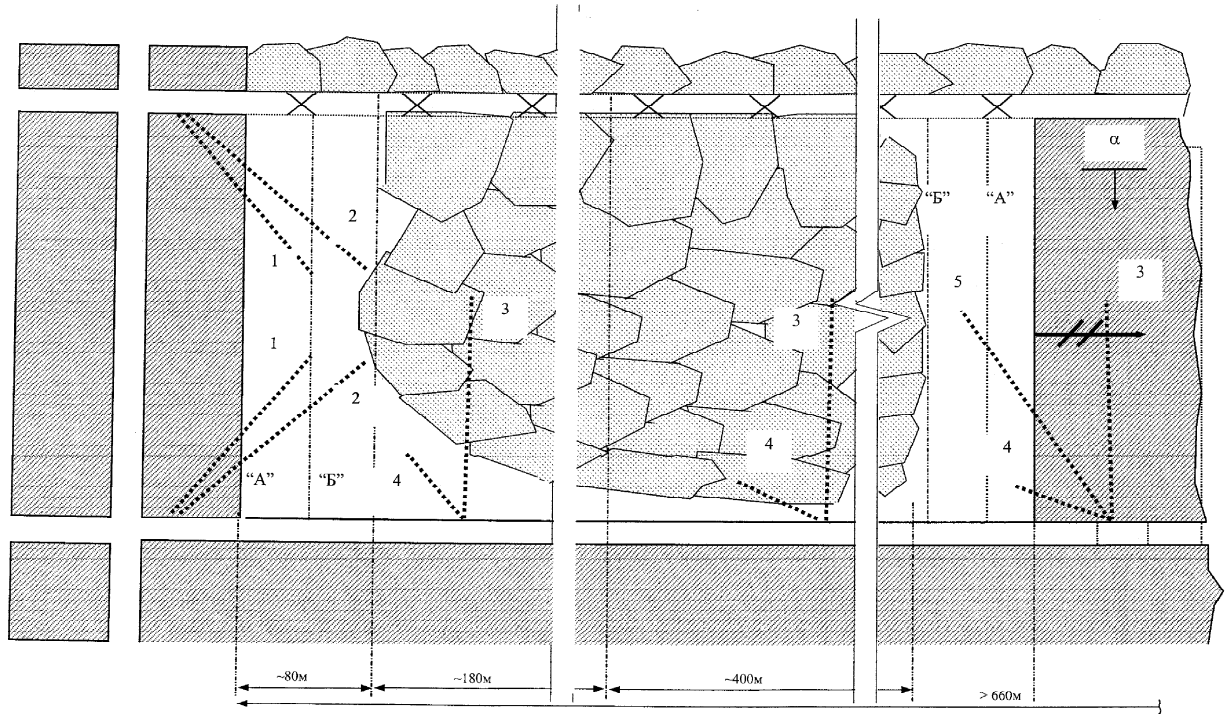




Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6