

УДК 622.831

**ОСОБЕННОСТИ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО МАССИВА  
ПРИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧЕ**

**ROCK DISINTEGRATION CHARACTERISTICS IN UNDERGROUND COAL  
MINING**

**Козырева Елена Николаевна<sup>1</sup>,**

канд.техн. наук, зав. лаб., e-mail: gas\_coal@icc.kemsc.ru

**Kozyreva Elena N.<sup>1</sup>, Ph.D., Head of the laboratory**

**Шинкевич Максим Валериевич<sup>1;2</sup>,**

канд.техн.наук, ст. научн.сотр., доцент, e-mail: gas\_coal@icc.kemsc.ru;

**Shinkevich Maksim V.<sup>1;2</sup>, Ph.D., senior research associate, associate professor**

**Леонтьева Елена Владимировна<sup>1</sup>,**

мл. научн. сотр., e-mail: gas\_coal@icc.kemsc.ru

**Leontyeva Elena V.<sup>1</sup>, junior researcher**

<sup>1</sup>Институт угля Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ИУ ФИЦ УУХ СО РАН); Россия, 650065, г. Кемерово, проспект Ленинградский, 10  
Institute of Coal of The Federal Research Centre of Coal and Chemistry Siberian Branch of the Russian Academy of Science; Russia, 650065, Kemerovo, Leningradskij, 10,

<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

**Аннотация:** В статье изложены принципиально отличающиеся от традиционных представления о развитии геомеханических процессов при отработке угольного пласта длинным очистным забоем. Рассмотрен наиболее сложный участок – непосредственно в призабойной части массива, то есть на границе перехода от радиальной разгрузки пород впереди забоя к вертикальной разгрузке над и под выработанным пространством. Инструментальной проверкой адекватности изложенных представлений развития геомеханических процессов при поздземной угледобыче являлось измерение давления в стойках механизированной крепи на выемочном участке шахты «Алардинская» (Кузбасс). Даны рекомендации к практическому применению полученных результатов.

**Abstract:** The article describes notions essentially different from common approaches to geomechanical processes in coal mining with long purifying pit-face. Considered the most difficult part – directly into the well bottom of the mass of islands, that is at the interface of the radial unloading rocks in front of the face to the Verti-Kalnoy unloading above and below the goaf. Instrumental verification of the adequacy of the outlined approaches to geomechanical processes in coal mining is based on measuring of the pressure in powered hydraulic struts, «Alardinskaia» mine, Kuzbass. Recommendations for practical use of the results are given.

**Ключевые слова:** геомеханика, угольный пласт, своды сдвижений, дезинтеграция, очистной забой, поздземная угледобыча, волнообразность процессов

**Keywords:** geomechanics, coal layer, displacement arch, disintegration, breakage face, underground coal mining, waviness processes

Подземная разработка угольных месторождений приводит к изменению напряженного состояния массива горных пород вплоть до образования мульды сдвижения на дневной поверхности. Развивающиеся при движении очистного забоя геомеханические процессы охватывают значительные объемы углегазоносного массива, в результате дезинтеграции которого, формируются интенсивные газовые потоки, как в выработанное пространство, так и на поверхность и, тем самым,

обуславливают газовую опасность шахт и наземных сооружений. Размеры зоны опасного влияния этих процессов, величины, характер и продолжительность дезинтеграции и сдвижения горных пород и земной поверхности зависят от следующих факторов:

- мощность угольного пласта, угол падения, глубина залегания и газоносности отрабатываемых угольных пластов и пластов-спутников, стратиграфия массива;

- размеры очистных выработок, расположение и размеры целиков;
- способы управления горным давлением;
- скорости подвигания забоя;
- наличие вблизи очистной выработки ранее отработанных площадей;
- физико-механических свойств пород;
- структурных особенностей массива горных пород (мощность слоев, геологические нарушения, несогласное залегание пород с разрабатываемыми пластами и др.).

В горной промышленности действует нормативный документ [1], который содержит зависимости, обобщающие горный опыт всех шахт СНГ за многие десятилетия и ориентированные на вычислительные возможности инженерных служб шахт прошлого века. Согласно этому нормативному документу процесс сдвижения подрабатываемого массива при подземной угледобычи в сечении, нормальному подвиганию забоя, определяется углами полных сдвигов  $\psi$  (рис. 1).

Высота зоны сдвижений  $h_{\text{св}}$  в подрабатываемом массиве вкрест простирации пласта (рис. 1) определяется по выражению

$$h_{\text{св}} = l_{\text{оч}} / 2 \operatorname{tg} \psi, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $l_{\text{оч}}$  – длина очистного забоя, м.

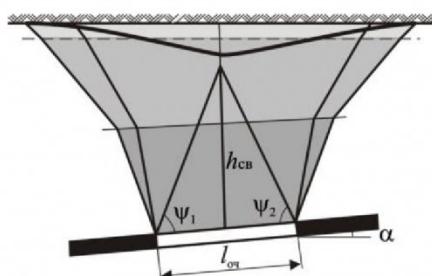
Из выражения (1) следует, что при заданной длине очистного забоя величина  $h_{\text{св}}$  является постоянной для всех условий при подземной угледобычи на месторождениях Кузбасса, что является существенным недостатком действующего нормативного документа [1].

Однако, за последние годы в угольной промышленности произошли существенные технологические и технические изменения, которые затрудняют проектирование эффективных параметров высокопроизводительных забоев на основе предшествующего опыта.

Для уточнения величины зон разгрузки массива

от геостатических напряжений и динамики ее развития применены, полученные на основе закона нелинейной геомеханики [2], современные знания об особенностях дезинтеграции массива при движении очистного забоя и разработанная модель развития структуризации массива горных пород при отработке выемочного участка длинными столбами по простиранию. В ИУ СО РАН (сегодня – ИУ ФИЦ УУХ СО РАН) продолжаются исследования техногенных газогеомеханических процессов в углегазоносных массивах и разработки способов снижения их негативного влияния на безопасность горных работ [3 – 12].

Описание разработанной модели ранее было опубликовано [13 – 15], приведем лишь ее некоторые положения. В основу модели положены правила формирования зональной дезинтеграции массива впереди очистного забоя (радиальная разгрузка) и иерархии нелинейных блочных структур в выработанном пространстве (вертикальная разгрузка). Эти процессы развиваются волнобразно. Геометрические размеры области этого развития определяются длиной очистного забоя и шагом первичного обрушения основной кровли. Массив горных пород в области активного развития геомеханических процессов представлен в виде совокупности породных геомеханических слоев, мощности которых равны высотам формирующихся в них параболоидов. Общая картина развития сдвигов в массиве по оси отрабатываемого выемочного столба представлена системой вложенных волнобразных поверхностей, параметры которых кратны корню квадратному из двух в степени  $n$  ( $n$  – уровень структурной иерархии). В свою очередь, эта волнобразность – совокупность вложенных периодических функций [7, 10, 13], которые удовлетворительно описывают контуры верхней половины образующихся сводов сдвигов. Поэтому для удобства алгоритмизации этих геомеханических представлений использованы синусоиды в



Условные обозначения:

- |  |  |
|--|--|
|  | - наносы;                              |
|  | - мезозойские отложения;               |
|  | - коренные породы;                     |
|  | - мульда сдвижения земной поверхности. |

Рис. 1. Параметры процесса сдвижения на вертикальном разрезе вкрест простирации при пологом залегании пласта [1]

Fig. 1. Process parameters of displacement on the vertical section across the strike at the ravine in situ seam [1]

качестве аппроксимирующих функций.

Амплитуды вертикальной разгрузки вмещающего массива рассчитываются согласно модели однородной изотропной среды в поле равных геостатических напряжений, на основе некоторого «критического» (по энергоемкости формирования) элемента геосреды» [13, 16], угол полных сдвигений которого равен 45 градусов, как по длине столба, так и по длине очистного забоя. Однако, при этом не учитывается нелинейность изменения упругой энергии массива с глубиной залегания угольных пластов, что весьма существенно, так как в определении высоты сводов сдвигений заложено правило удвоения упругой энергии [14] относительно «критического элемента геосреды», в результате «отторжения» которого массив переходит в новое метастабильное состояние.

Для предварительной оценки изменения упругой энергии определим:

- мощность «критического элемента геосреды»  $h_0$

$$h_0 = l_0/2, \text{ м}, \quad (2)$$

- длину основания «критического элемента геосреды»  $l_0$

$$l_0 = \frac{l_{\text{оч}}}{2^n} \approx \frac{r_1}{4} \approx r_2, \text{ м}, \quad (3)$$

где  $l_{\text{оч}}$  – длина очистного забоя, м;  $n$  – уровень структурной иерархии, определяется исходя из условия, что  $r_1/r_2 \approx 4$ , здесь  $r_1$  и  $r_2$  – шаги первичного и вторичного шагов обрушения основной кровли, соответственно, (определяются по известным зависимостям или уточняются по горнотехнологическим данным), м.

Периодичность формирования сводов сдвигений в условиях равных геостатических напряжений определяется правилом удвоения мощности геомеханических слоев

$$h_{e,n} = h_0 2^n, \text{ м}, \quad (4)$$

Здесь  $h_{e,n}$  – высота свода сдвигений без учета упругой энергии массива, м.

При переменных геостатических напряжениях величина удельной (на 1 м подвигания забоя) упругой энергии  $\mathcal{E}_0$  в слое мощностью  $h_0$  определяется прямопропорционально коэффициенту литологического давления, обратнопропорционально модулю упругости пород и в зависимости от глубины ведения горных работ.

Тогда, мощности  $h_{e,n}$  всех  $n$ -ых слоев геомеханической структуризации подрабатываемого массива с учетом нелинейного изменения их упругой энергии определяются по выражению

$$h_{e,n} = H_p - 3\sqrt[3]{H_p^3 - 6 \frac{E_n \cdot 2^n \mathcal{E}_0}{k^2}}, \text{ м}, \quad (5)$$

где  $H_p$  – глубина залегания отрабатываемого пласта, м;  $k=0,025$  – коэффициент литологического давления, МПа;  $E_n$  – средневзвешенный модуль упругости пород геомеханического слоя  $n$ -го слоя в подрабатываемом массиве, МПа.

Расчеты, выполненные по формулам (2 – 5) для конкретных условий, показывают, что введение поправок на учет упругой энергии является весьма существенным фактором при определении параметров дезинтеграции массива. Подтверждением этому служат расчеты, выполненные для выемочного участка на шахте им. С.М. Кирова Ленинского месторождения Кузбасса. (рис. 2).

Глубина залегания отрабатываемого пласта изменяется от 250 до 150 м, мощность пласта в среднем около 2,3 м, кровля средней труднообрушаемости, длина очистного забоя – 246 м, скорость подвигания очистного забоя в пределах 10-12 м/сут, шаг первичного обрушения основной кровли около 30 м. Как показали результаты расчетов изменения упругой энергии пород для условий рассматриваемого выемочного участка, граница свода разгрузки достигает дневной поверхности уже на четвертом уровне структурной иерархии. В рассматриваемых условиях расчетное значение угла полных сдвигений  $\psi_0$  изменяется от 45 градусов непосредственно у поверхности

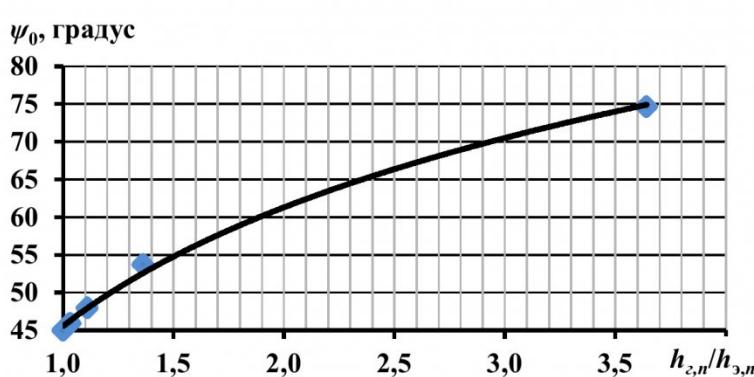


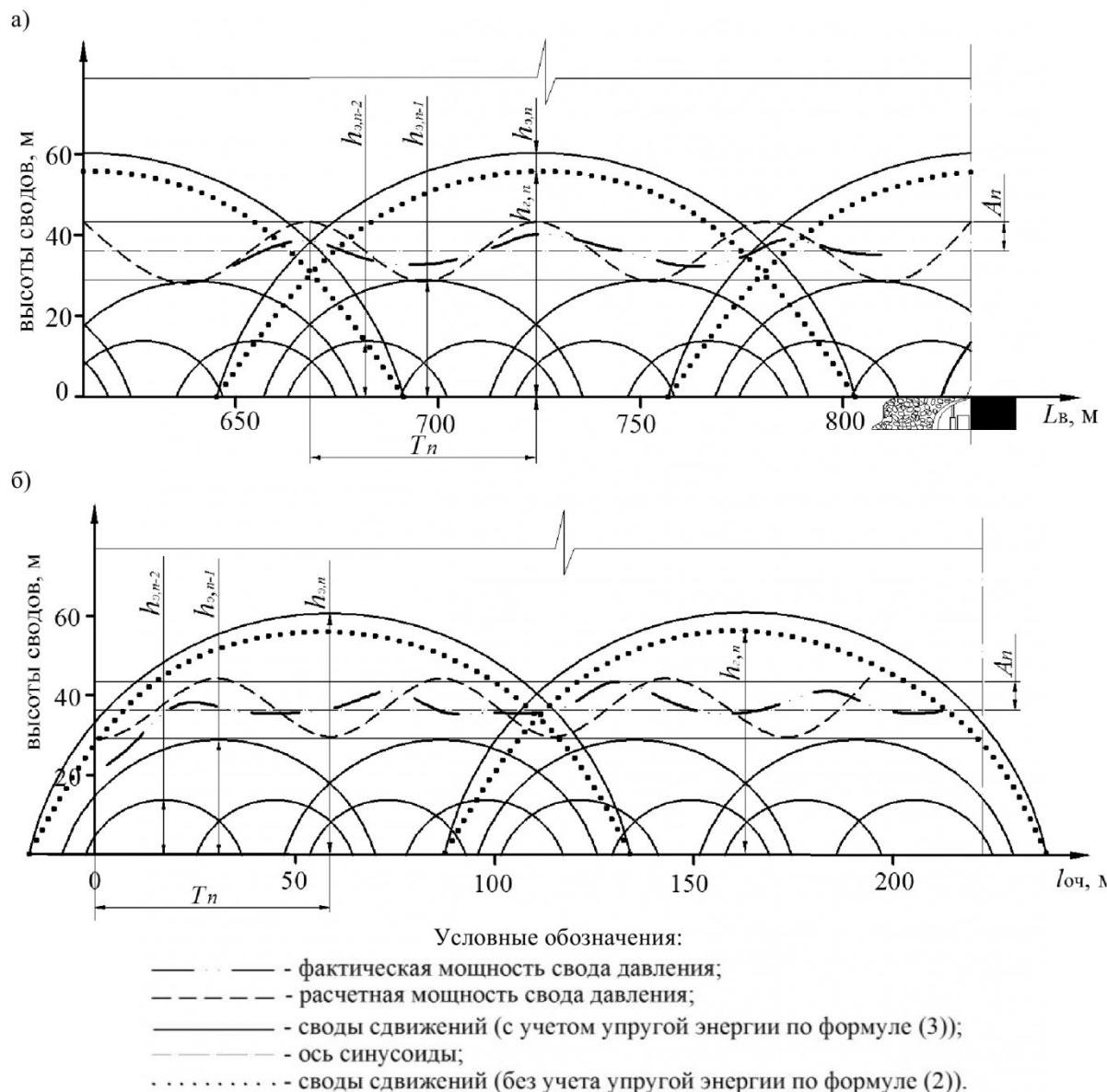
Рис. 2. Изменение угла полных сдвигений  $\psi_0$  с приближением зоны разгрузки к дневной поверхности при  $H_p=250$  м и  $h_0=7,5$  м

Fig. 2. Changing the angle of the total displacement approaching unloading zone to the surface at  $H_p=250$  m and  $h_0=7,5$  m

обнажения массива до 75 градусов при приближении фронта сдвижений к дневной поверхности, что отличается от его постоянного нормативного значения  $\psi$ , равного 50 градусов.

Инструментальная проверка адекватности изложенных представлений развития геомеханических процессов при подземной угледобыче выполнена в наиболее сложных условиях – непосредственно в призабойной части массива, то есть на границе перехода от радиальной разгрузки пород впереди забоя к вертикальной разгрузке над и под выработанным пространством. Методом кон-

троля являлось измерение давления в стойках механизированной крепи на выемочном участке шахты «Алардинская» (Кузбасс). Глубина горных работ – 650 м, вынимаемая мощность пласта – 4,5 м, кровля труднообрушающаяся, длина очистного забоя – 223 м, скорость подвигания около 3 м/сут, шаг первичного обрушения основной кровли около 85 м. Измерения давления проводились практически ежесуточно в ремонтную смену [14]. Приняв, что вес слоя пород соответствует реакции крепи и средняя плотность пород кровли равна  $2,5 \text{ т}/\text{м}^3$ , получены значения высоты слоя пород,



*Rис. 3. Изменения высот сводов в призабойной части угольного пласта при движении очистного забоя:*  
a) по длине столба  $L_v$  на интервале 610-830 м; б) по длине очистного забоя  $l_{och}$  на расстоянии 548 м от монтажной камеры по длине столба  $L_v$

*Fig. 3. Changes vault heights in the bottom hole of the coal seamwhen moving longwall:*  
a) column length Lv in the interval 610-830 m; b) the length loch stopeat a distance of 548 m from mounting the camera on the length Lv post

нагружающего перекрытия секций крепи, принятого нами как мощность свода давления. На рис. 3 представлены расчетные и фактические данные о формировании геомеханических слоев техногенной структуризации вмещающего массива, регистрирующие ее волнобразный характер на рассматриваемом горно-экспериментальном участке.

Расчетная мощность свода давления представлена на рис. 3 синусоидой, обозначенной пунктирной линией, период которой соответствует

$$T_n = l_0 \cdot 2^n, \text{ м},$$

где  $n = 2$  – уровень структурной иерархии, принят по фактическим данным в зависимости от  $r_1$  и  $r_2$ .

Амплитуда соответствует

$$A_n = \frac{h_{\vartheta,n} - h_{\vartheta,n-1}}{2}, \text{ м}.$$

Фактическая мощность свода давления, обозначенной на рис. 3 штрих-пунктирной линией, получена по данным давления в гидроцилиндрах стойках механизированной крепи рассматриваемого участка. Имеющиеся фактические данные были замерены по длине выемочного столба на интервале 610–830 м от монтажной камеры (рис. 3, а), на рис. 3, б представлена схема процесса сдвижений по длине очистного забоя  $l_{\text{оч}}$  на расстоянии 548 м по длине выемочного столба  $L_v$  от монтажной камеры.

Периодичность и амплитуда фактической мощности свода давления в призабойной зоне угольного пласта в первом приближении, учитывая реальную анизотропию пород кровли, согласуются с моделью развития геомеханического процесса во вмещающем массиве в целом [13]. При этом амплитуда синусоиды, которая аппроксимирует фактические данные, всегда меньше расчетной примерно в  $\sqrt{2}$  раз ( $\sqrt{2}$  – величина канонического параметра геосреды [17]). Несовпадение фактических и расчетных данных по периоду, объясняется как анизотропией пород кровли, так и соседством действующего выемочного участка с выработанным пространством ранее отработанного участка.

Как по длине выемочного столба (рис. 3, а) так и по длине очистного забоя (рис. 3, б) период формирующихся сводов сдвижений дезинтегрированного массива в выработанном пространстве кратен двум и кратен длине очистного забоя. Проявляются следующие особенности. При радиальной разгрузке впереди движущегося очистного забоя период формирования зональной дезинтеграции в угольном пласте близок кратности  $\sqrt{2}$ . При вертикальной разгрузке, с учетом удвоения энергии массива, реализуемой на его дезинтеграцию, период формирующихся сводов сдвижений массива в выработанном пространстве кратен двум. Особенности формирования радиальной разгрузки согласуются с процессами сдвижений

при проведении подготовительных выработок, когда в сдвижениях участвуют лишь слои пород в непосредственной близости от выработки.

Этим объясняются особенности процесса впереди движущегося очистного забоя в области радиальной разгрузки и более интенсивной вертикальной разгрузки по линии очистного забоя. По этой причине над и под выработанным пространством по длине лавы имеем удвоение величины упругой энергии на последовательных уровнях техногенно обусловленной структуризации массива, а впереди очистного забоя, как и в окрестности подготовительных выработок, действует кратность  $\sqrt{2}$ .

В практическом применении полученных результатов отметим, что при проектировании выемочного участка, необходимо принимать длину очистного забоя со штреками кратной  $l_{\text{оч}}=h_0 2^{n+1}$ . Выполнение этого условия уточняет параметры управления основной кровлей и позволяет исключить негативное влияние горного давления при определении размеров выемочного участка и местоположения разрезных печей по длине выемочного столба.

Выход сводов сдвижений в отрицательную область по оси абсцисс (рис. 3, б) означает, что часть оснований сводов разгрузки находится за конвейерным и вентиляционным штреками, и для устойчивого процесса свodoобразования необходимо оставлять опорную зону в виде целиков угля. Для примера, на шахтах в США оставляют межлавные целики равные 10 – 15 % от длины очистного забоя.

Поскольку в области разгрузки вмещающего массива при подземной угледобыче активизируется его газовый потенциал с формированием потоков газа к выемочному участку, то уточнение высот сводов сдвижений значимо в задачах обеспечения эффективного проветривания и дегазации. Например, при длине очистного забоя 246 м максимальная высота свода сдвижений согласно [1] составит 146 м по формуле (1), а максимальная высота зоны газового дренирования подрабатываемого массива согласно [18] составит 118 м, причем, обе эти величины не зависят от глубины залегания пласта. Уточнение этих параметров по методу ИУ СО РАН с учетом изменений глубины залегания пласта по оси выемочного столба приведет к изменению высот сводов сдвижений, например, при глубине 250 м высота свода составит 86 м, при глубине 230 м высота свода – 98 м, при 213 м – 118 м. Таким образом, уточнение геомеханических процессов во вмещающем массиве существенно повышает адекватность оценок дезинтеграционных характеристик массива и точность прогноза геомеханических параметров, влияющих на геометрические размеры выемочного участка, как на стадии проектирования, так и ведения горных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – СПб. – 1998. – 291 с.
2. Шемякин Е.И. Открытие № 400. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Е.И. Шемякин, М.В. Курлена, Н.В. Опарин, В.Н. Рева, Ф.П. Глушихин, М.А. Розенбаум // БИ. – 1992. – № 1. – 3 с.
3. Черданцев Н.В. Обоснование геомеханической модели разрушения многосвязного массива горных пород с прочностной анизотропией / Н.В. Черданцев, В.Т. Преслер, В.Ю. Изаксон // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № ОВ 7. – С. 122 – 125.
4. Козырева Е.Н. Динамика геомеханических процессов в призабойной части массива при движении длинного очистного забоя / Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич, Н.В. Рябков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 3. – С. 356 – 359.
5. Клишин В.И. Разупрочнение угольного пласта. в качестве метода интенсификации выделения метана / В.И. Клишин, Д.И. Кокоулин, Б. Кубанычбек, К.М. Дурнин// Уголь. – 2010. – № 4. – С. 40 – 42.
6. Полевщикова Г.Я. Основы эффективной разработки углеметановых месторождений Кузбасса / Полевщикова Г.Я., Козырева Г.Я., Шинкевич М.В., Брюзгина О.В. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2011. № 3. С. 8 – 11.
7. Козырева Е.Н. Газокинетические следствия нелинейных геомеханических процессов в массиве горных пород на шахтах кузбасса / Козырева Е.Н., Шинкевич М.В., Родин Р.И. // В сборнике: Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах 2-я Российско-Китайская научная конференция. Ответственный редактор: д.ф.-м.н. А.И.Чанышев. 2012. С. 267 – 272.
8. Тайлаков О.В. К оценке ресурсов шахтного метана в выработанном пространстве / О.В. Тайлаков, В.О. Тайлаков, М.П. Макеев, С.В. Соколов, А.Н. Кормин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № ОВ 6. – С. 160 – 165.
9. Альков В.И. Скважина для поинтервального гидроразрыва пласта / В.И. Альков // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. – № 2. – С. 9 – 12.
7. Козырева Е.Н. Газовые потенциалы разрабатываемых участков углеметановых месторождений, особенности их распределения и реализации / Е.Н. Козырева // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. – № 1. – С. 109 – 113.
10. Полевщикова Г.Я. Нелинейные изменения метанообильности высокопроизводительного выемочного участка / Г.Я. Полевщикова, Е.Н. Козырева, М.В. Шинкевич // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 6. – С. 50 – 54.
11. Плаксин М.С. Гидроразрыв угольного пласта в шахтных условиях как панацея решения газовых проблем шахт (основы разработки и внедрения) / М.С. Плаксин, Р.И. Родин, А.А. Рябцов [и др.] // Уголь. – 2015. – № 2. – С. 48 – 50.
12. Родин Р.И. Особенности повышения газопроницаемости угольных пластов / Р.И. Родин, М.С. Плаксин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Научно-технический журнал. – Кемерово, 2016. – № 1. – С. 42 – 48.
13. Полевщикова Г. Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластиах / Г.Я. Полевщикова // ФТПРПИ. – 2013. – № 5. – С. 50 – 60.
14. Полевщикова Г. Я. Фрактальная особенность структуризации массива горных пород в изменениях давления на призабойную часть угольного пласта отрабатываемого длинным очистным забоем / Г.Я. Полевщикова, М.В. Шинкевич, А.В. Радчеко, Е.В. Леонтьева, А.А. Черепов // Вестн. науч. центра по безопасности работ в угольной пром-ти. – Кемерово. – 2013. – № 1 – С. 16 – 23.
15. Шинкевич М.В. Моделирование техногенной структуризации вмещающего массива горных пород при ведении очистных работ / М.В. Шинкевич, Е.В. Леонтьева // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 3. – С. 23 – 31.
16. Шемякин Е.Н. О свободном разрушении твердых тел / Е.Н. Шемякин // Докл. АН СССР. Т. 300. – 1988. – С. 1090 – 1094.
17. Опарин В. Н Каноническая шкала иерархических представлений в горном породоведении / Опарин В.Н., Танайно А.С. // Рос. акад. наук, Сибирское отделение, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала. – Новосибирск: Наука. – 2011. – 259 с.
18. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок // Утверждена приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 1 декабря 2011 года N 680. – 126 с.

## REFERENCES

1. Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornykh

razrabortok na ugol'nykh mestorozhdeniyakh. – SPb. – 1998. – 291 s.

2. Shemyakin, E.I. Otkrytie № 400. Yavlenie zonal'noy dezintegratsii gornykh porod vokrug podzemnykh vyrabotok / E.I. Shemyakin, M.V. Kurlenya, N.V. Oparin, V.N. Reva, F.P. Glushikhin, M.A. Rozenbaum // BI. – 1992. – № 1. – 3 s.

3. Cherdantsev, N.V. Obosnovanie geomekhanicheskoy modeli razrusheniya mnogo-svyaznogo massiva gornykh porod s prochnostnoy anizotropiey / N.V. Cherdantsev, V.T. Presler, V.Yu. Izakson // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). – 2009. – № OV 7. – S. 122 – 125.

4. Kozyreva, E.N. Dinamika geomekhanicheskikh protsessov v prizaboynoy chasti massiva pri dvizhenii dlinnogo ochistnogo zabora / E.N. Kozyreva, M.V. Shinkevich, N.V. Ryabkov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). – 2010. – № 3. – S. 356 – 359.

5. Klishin, V.I. Razuprochnenie ugol'nogo plasta. v kachestve metoda intensi-fikatsii vydeleniya metana / V.I. Klishin, D.I. Kokoulin, B. Kubanychbek, K.M. Dur-nin// Ugol'. – 2010. – № 4. – S. 40 – 42.

6. Polevshchikov, G.Ya. Osnovy effektivnoy razrabotki uglemetanovykh mesto-rozhdenny Kuzbassa / Polevshchikov G.Ya., Kozyreva G.Ya., Shinkevich M.V., Bryuzgina O.V. // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. № 3. S. 8 – 11.

7. Kozyreva, E.N. Gazokineticheskie sledstviya nelineynykh geomekhanicheskikh protsessov v massive gornykh porod na shakhtakh kuzbassa / Kozyreva E.N., Shinkevich M.V., Rodin R.I. // V sbornike: Nelineynye geomekhaniko-geodinamicheskie protsessy pri otrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh na bol'shikh glubinakh 2-ya Rossiy-sko-Kitayskaya nauchnaya konferentsiya. Otvetstvennyy redaktor: d.f.m.n. A.I.Chanyshev. 2012. S. 267 – 272.

8. Taylakov, O.V. K otsenke resursov shakhtnogo metana v vyrabotannom pro-stranstve / O.V. Taylakov, V.O. Taylakov, M.P. Makeev, S.V. Sokolov, A.N. Kormin // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). – 2013. – № OV 6. – S. 160 – 165.

9. Al'kov, V.I. Skvazhina dlya pointerval'nogo gidrorazryva plasta / V.I. Al'kov // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promysh-lennosti. – 2014. – № 2. – S. 9 – 12.

7. Kozyreva, E.N. Gazovye potentsialy razrabatyvaemykh uchastkov uglemetano-vykh mestorozhdeniy, osobennosti ikh raspredeleniya i realizatsii / E.N. Kozyreva // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti. – 2014. – № 1. – S. 109 – 113.

10. Polevshchikov, G.Ya. Nelineynye izmeneniya metanoobil'nosti vysokoproizvoditel'nogo vyemochnogo uchastka / G.Ya. Polevshchikov, E.N. Kozyreva, M.V. Shinkevich // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 2014. – № 6. – S. 50 – 54.

11. Plaksin, M.S. Gidrorazryv ugol'nogo plasta v shakhtnykh usloviyakh kak pa-natseya resheniya gazovykh problem shakht (osnovy razrabotki i vnedreniya) / M.S. Plak-sin, R.I. Rodin, A.A. Ryabtsev [i dr.] // Ugol'. – 2015. – № 2. – S. 48 – 50.

12. Rodin, R.I. Osobennosti povysheniya gazopronitsaemosti ugol'nykh plastov / R.I. Rodin, M.S. Plaksin // Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'-noy promyshlennosti. Nauchno-tehnicheskiy zhurnal. – Kemerovo, 2016. – № 1. – S. 42 – 48.

13. Polevshchikov, G. Ya. «Deformatzionno-volnovye» protsessy v massive gornykh porod pri dvizhenii ochistnogo zabora v ugol'nykh plastakh / G.Ya. Polevshchikov // FTPR-PI. – 2013. – № 5. – S. 50 – 60.

14. Polevshchikov, G. Ya. Fraktal'naya osobennost' strukturizatsii massiva gor-nykh porod v izmeneniyakh davleniya na prizaboynyuyu chasty ugol'nogo plasta otrabaty-vaemogo dlinnym ochistnym zaboem / G.Ya. Polevshchikov, M.V. Shinkevich, A.V. Radcheko, E.V. Leont'eva, A.A. Cherepov // Vestn. nauch. tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy prom-ti. – Kemerovo. – 2013. – № 1 – S. 16 – 23.

15. Shinkevich, M.V. Modelirovanie tekhnogennoy strukturizatsii vmeschayushchego massiva gornykh porod pri vedenii ochistnykh rabot / M.V. Shinkevich, E.V. Leont'eva // Vestnik KuzGTU. – 2015. – № 3. – S. 23 – 31.

16. Shemyakin E.N. O svobodnom razrushenii tverdykh tel / E.N. Shemyakin // Dokl. AN SSSR. T. 300. – 1988. – S. 1090 – 1094.

17. Oparin V. N Kanonicheskaya shkala ierarkhicheskikh predstavleniy v gornom porodovedenii / Oparin V.N., Tanayno A.S. // Ros. akad. nauk, Sibirskoe otdelenie, Institut gornogo dela im. N.A. Chinakala. – Novosibirsk: Nauka. – 2011. – 259 s.

18. Instruktsiya po primeneniyu skhem provetrivaniya vyemochnykh uchastkov shakht s izolirovannym otvodom metana iz vyrabotannogo prostranstva s pomoshch'yu gazoot-sasyvayushchikh ustyanovok // Utverzhdena prikazom Federal'noy sluzhby po ekologiche-skому, tekhnologicheskому i atomnomu nadzoru ot 1 dekabrya 2011 goda N 680. – 126 s.

Поступило в редакцию 18.05.2016

Received 18 May 2016