

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.53.29.003

УДК 622.414.2: 622.831.3: 004.942

© Ю. М. Говорухин, В. Г. Криволапов, 2024

Ю. М. ГОВОРУХИН

канд. техн. наук,

начальник научно-исследовательского отдела

Национальный горноспасательный центр, Новокузнецк

e-mail: govorukhin_ym@mail.ru

В. Г. КРИВОЛАПОВ

кандидат технических наук,

ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела

Национальный горноспасательный центр, Новокузнецк

e-mail: vic_49@mail.ru

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОЙ ОТРАБОТКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ

Данная статья посвящена изучению геомеханических процессов, протекающих при отработке выемочных столбов длинными комплексно-механизированными забоями с обрушением пород кровли на пологих угольных пластах. Выполнено численное моделирование геомеханических процессов. Разработана математическая модель и программа для оценки проницаемости зоны обрушения с учётом дезинтеграции пород при обрушении и их уплотнении. Полученные результаты использованы в качестве исходных данных при расчёте воздухораспределения на выемочном участке в системе «горные выработки – зона обрушения».

Ключевые слова: ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК, ГЕОМАССИВ, СДВИЖЕНИЕ, ЗОНА ОБРУШЕНИЯ, РАЗРЫХЛЕНИЕ, УПЛОТНЕНИЕ, ПРОНИЦАЕМОСТЬ

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространённым способом управления кровлей при подземной разработке угольных месторождений является полное обрушение. Позади очистного комплексно-механизированного забоя формируется зона сдвига пород кровли и почвы отработываемого пласта, частью которой является зона обрушения. Интенсификация угледобычи посредством увеличения геометрических размеров подготавливаемых выемочных столбов и скорости подвигания очистных забоев значительно усилила влияние зон обрушения на газовый баланс выемочных участков и, соответственно, уровень безопасности угледобычи. Это подтверждается рядом

крупных техногенных аварий, произошедших на угольных шахтах и связанных со взрывами метановоздушных смесей (далее — МВС). В сложившихся условиях существующие схемы проветривания выемочных участков, как и в целом системы управления газовыделением, в недостаточной мере обеспечивают промышленную безопасность угледобычи, ритмичную и эффективную работу высоконагруженных очистных забоев.

Развитие геомеханических основ в части оценки параметров зоны обрушения как среды, сформированной при обрушении породных пакетов плит, их дезинтеграции и последующего уплотнения, позволит разработать математическую модель для оценки

распределения и динамики проницаемости пористой среды, а также увязать математические модели шахтной вентиляционной сети и зоны обрушения в единую систему «горные выработки — зона обрушения». Создание такой модели при высокоинтенсивной отработке выемочных столбов на пологих пластах обеспечит возможность:

— проектировать оптимальные параметры схем проветривания выемочных участков с учётом конкретных горно-геологических и горно-технических условий;

— разрабатывать эффективные системы управления газовыделением из зон обрушения посредством прогноза и текущего контроля объёмов фильтрационных потоков МВС в высокопористой среде и «куполах» обрушения, выявления участков зоны обрушения, в которых происходят процессы формирования газового коллектора с большими объёмами метана в условиях реализации различных схем проветривания.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

С целью оценки геомеханических параметров и их динамики при сдвигении геомассива применён программный пакет «Геомеханика» (кафедра геотехнологии, СибГИУ) [1–8]. Численное моделирование процессов сдвигения и обрушения пород выполнено для горно-геологических условий выемочного участка 16–17 шахты «Абашевская» (Байдаевское месторождение Кузнецкого угольного бассейна). В связи с тем, что пакет решает двухмерную задачу, для оценки напряжённо-деформированного состояния геомассива в окрестности выемочного участка рассмотрены два главных сечения зоны сдвигения: главное сечение зоны сдвигения по линии движения очистного забоя (первое сечение) и главное сечение, перпендикулярное линии движения очистного забоя (второе сечение).

В качестве допущения принято, что при прогибе слоёв пород и достижении ими

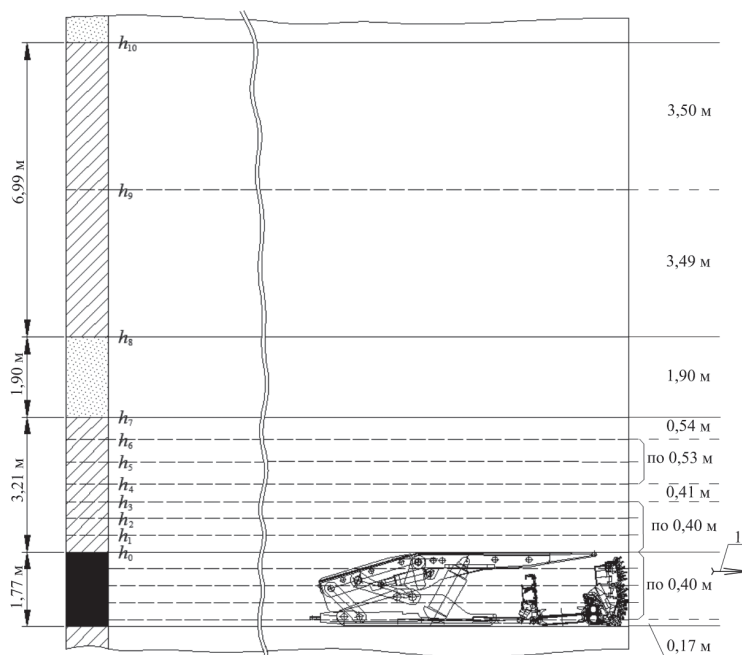


Рис. 1. Строение кровли пласта

1 — направление подвигания очистного забоя;
 h_0-h_{10} — расстояние от кровли пласта

предела упругости происходит упругопластическое разрушение. В качестве критерия разрушения породных плит использована величина коэффициента остаточной прочности $k_{ост}$ (отношение остаточной прочности в деформируемом массиве к паспортной прочности в нетронutom массиве). Согласно рекомендациям А. А. Борисова, при потере прочности пород более чем на 20 % происходит их разрушение [9].

Для подготовки исходных данных в части горно-геологических параметров выбран ряд разведочных скважин, расположенных в пределах, а также в непосредственной близости от отработываемого выемочного столба. Данные по скважинам использованы для идентификации детального строения углевмещающей толщи и составления общей стратиграфической колонки (рис. 1) с прочностными характеристиками вмещающих пород [10].

Моделирование процессов сдвигения геомассива выполнено с длины выработанного пространства (далее — ВП), равной 16,9 м (длина с учётом ширины монтажной камеры). Шаг моделирования соответствует суточному подвиганию очистного забоя. При длине ВП, равной 16,9 м, потерь прочности пород при упругом деформировании подработанного

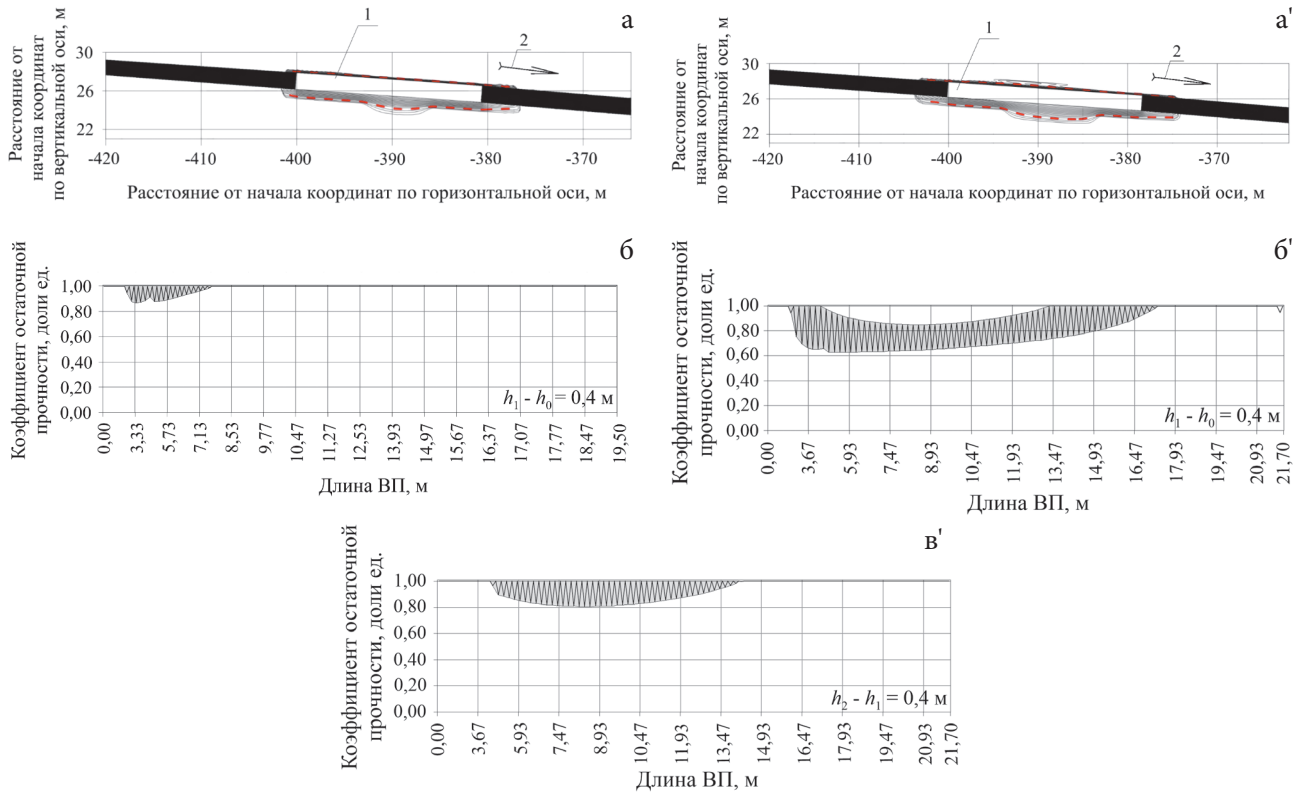


Рис. 2. Распределение коэффициента остаточной прочности при длине ВП 19,5 м (а, б) и 21,7 м (а', б', в'); а, а' — в целом по сечению (положение монтажной камеры — 400 м, положение очистного забоя 380,5 и 378,3 м; б, б' — для 1-го подслоя кровли ($h_1 - h_0$); в, в' — для 2-го подслоя кровли ($h_2 - h_1$))

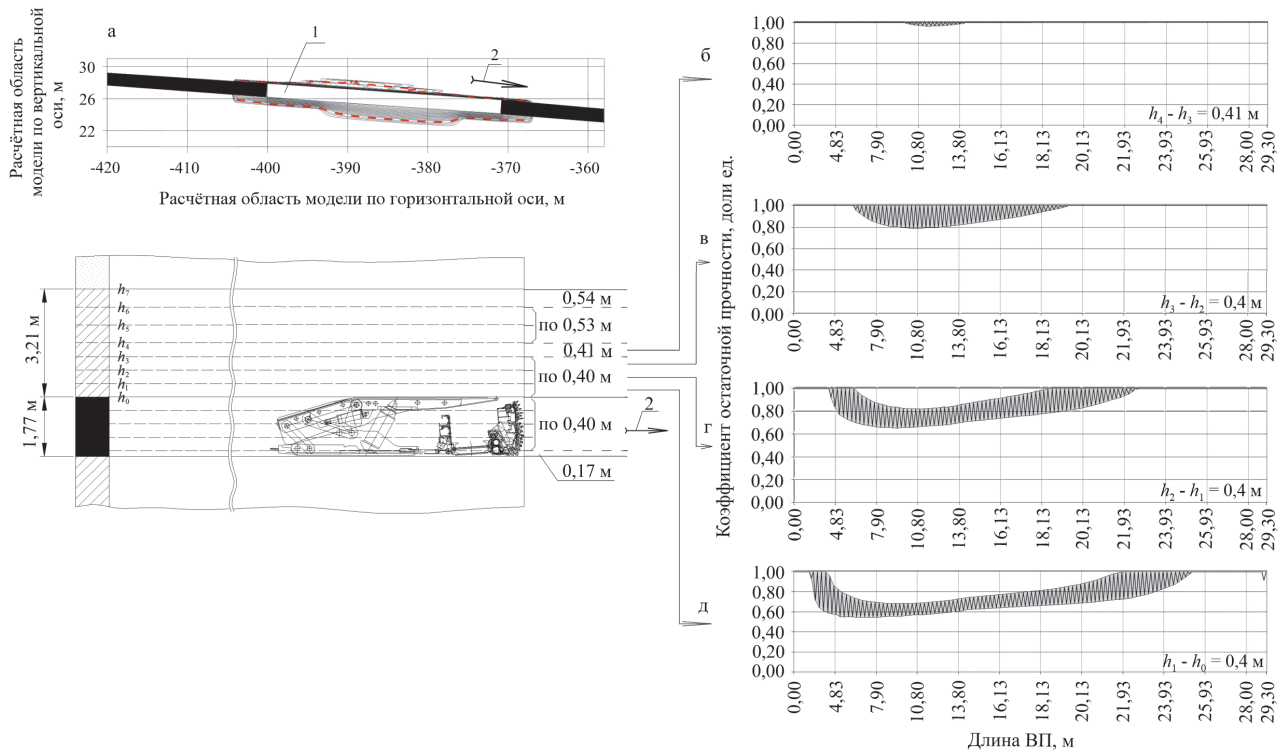


Рис. 3. Распределение коэффициента остаточной прочности при длине ВП 29,3 м; а — в целом по сечению (положение монтажной камеры — 400 м, положение очистного забоя — 370,7 м; б — для 1-го подслоя кровли ($h_1 - h_0$); в — для 2-го подслоя кровли ($h_2 - h_1$); г — для 3-го подслоя кровли ($h_3 - h_2$); д — для 4-го подслоя кровли ($h_4 - h_3$))

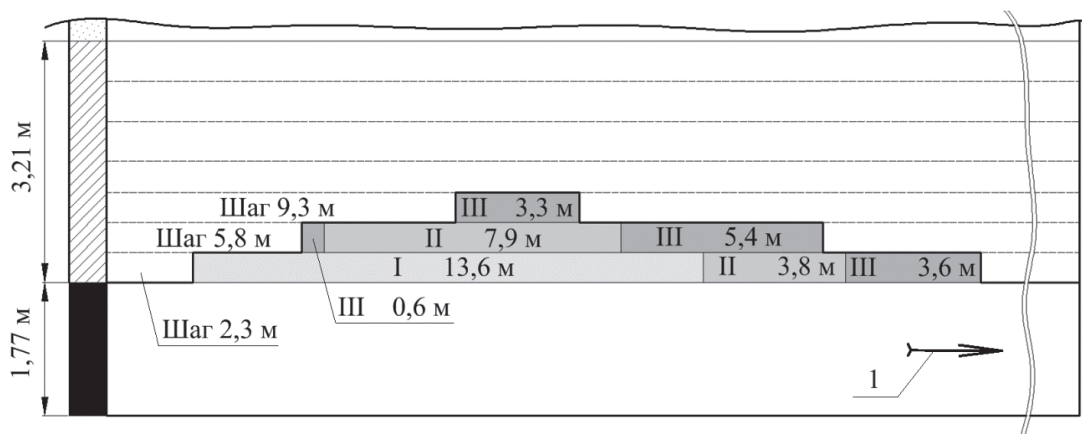


Рис. 4. Последовательность обрушения участков подслоёв мелкозернистого алевролита при длине ВП, равной 29,3 м; 1 — направление подвигания очистного забоя; римские цифры — последовательность обрушения каждого подслоя; арабские — длина шага обрушения

горного массива не происходит. При длине ВП, равной 19,5 м, происходит постепенная потеря прочности 1-го породного слоя мелкозернистого алевролита без разрушения (рис. 2а, б). При длине ВП, равной 21,7 м (рис. 2а', б', в'), участок 1-го породного подслоя мелкозернистого алевролита, длиной 13,6 м, теряет прочность на 20%, и, следовательно, происходит его разрушение. Как видно на рис. 2, место фактического прогиба породных плит (подслоёв) при их обрушении имеет эксцентриситет от центра обнажения, что полностью согласуется с результатами исследований, приведённых в [9].

При длине ВП, равной 23,8 м, дальнейших потерь прочности при упругом деформировании геомассива не происходит. После отхода очистного забоя от монтажной камеры на 26,5 м и 29,3 м обрушается второй и третий подслои мелкозернистого алевролита. На рис. 3 приведено распределение коэффициента остаточной прочности при длине ВП 29,3 м.

На рис. 2 и 3 использованы следующие обозначения: пунктирная линия — изолинии с коэффициентом остаточной прочности $k_{ост}$ 0,8; серый цвет — область изменения $k_{ост}$; 1 — ВП; 2 — направление подвигания очистного забоя.

На рис. 4 приведена последовательность обрушения участков подслоёв мелкозернистого алевролита при длине ВП, равной 29,3 м.

По результатам моделирования установлено, что обрушение пород кровли происходит

в форме сводообразования — плита обрушается на полную мощность, происходит её постепенное расслоение, сопровождающееся развитием многочисленных макро- и микротрещин. Размеры обрушающихся блоков зависят от строения подрабатываемого массива и распределения в нём структурных ослаблений (системы трещин, плоскости напластования) [1]. Данные параметры, равно как первичный и последующий шаги обрушения пород кровли, принято использовать для оценки процессов формирования зон обрушения, разрыхления и уплотнения дезинтегрированных пород и расчёта проницаемости пористой среды зоны обрушения.

ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ ЗОНЫ ОБРУШЕНИЯ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В ходе исследований модель зоны обрушения разделена на три участка:

1 участок — примыкающий к стенке погашенной монтажной камеры, а также к верхнему и/или нижнему боку выемочного столба;

2 участок — зона обрушенных и дезинтегрированных пород;

3 участок — закрепное пространство.

На первом участке (кроме частично сохраняемой горной выработки) в результате зависания консолей пород непосредственной и основной кровли образуется «шалаш»

со значительными участками пустого пространства. На этом участке проницаемость определяется в зависимости от того, насколько перекрыто обрушенными и дезинтегрированными породами сечение погашенной выработки.

Второй участок. На основе ранее выполненных авторами статьи исследований [2, 4, 11] разработана математическая модель, позволяющая выполнить оценку шагов обрушения горных пород и размеров их блоков при обрушении; оценку коэффициента разрыхления пород в зоне обрушения и нижней части зоны трещин и разломов в зависимости от высоты падения блока и его размеров; оценку коэффициента уплотнения обрушенных и дезинтегрированных пород; оценку аэродинамических параметров зоны обрушения k (проницаемость, Д) и l (макросероховатость, м) обрушенной среды (использована модель кубов с шероховатыми гранями Б. Г. Тарасова — В. А. Колмакова) [12–15]. При синтезе модели применены результаты исследований ВНИМИ [16] по процессам сдвижения массива при подработке (для условий Кузбасса). В качестве критерия для определения границы между зоной обрушения и зоной трещин и разломов принят коэффициент разрыхления $k_p = 1,1$ [11]. Зависимости снижения значения k_p при уменьшении высоты обрушения определены на основе гипотезы об их экспоненциальном виде. Для целей разработки эффективных систем управления газовыделением (улавливание поступающего метана из подрабатываемых пластов-спутников) также рассматривается нижняя часть зоны трещин и разломов до величины $k_p = 1,05$. Принято, что зона сдвижения массива формируется в форме эллипсоида, боковые поверхности которого локализованы углами полных сдвижений (на основе рекомендаций Б. Г. Тарасова, В. А. Колмакова, А. А. Борисова, В. Н. Фрянова, рис. 5) [12].

Система уравнений записывается в следующем виде [2, 4, 11]:

$$l_{н.к} = 1,3 \frac{m_{н.к}}{m} + 1,2f_{н.к} - 4,8;$$

$$l_{о.к} = 1,7 \frac{m_{н.к}}{m} + 0,6f_{о.к}^2 + 0,1m_{о.к} - 7,5;$$

$$y = \sqrt{l_{обр.i}^2 \left(1 - \frac{x^2}{\left(\frac{l_{оз} - l_{к.в} - l_{к.н}}{2} \right)^2} \right)},$$

$$\begin{cases} T_{пр} = k_T \cdot \frac{H}{C} \cdot (ctg \delta_0 + ctg \Psi_3), \\ T_{пад} = k_T \cdot \frac{H}{C} \cdot \left(\frac{\cos(\Psi_1 + \alpha)}{\sin \Psi_1} + \frac{\cos \beta_0}{\sin(\beta_0 + \alpha)} \right), \\ T_{вос} = k_T \cdot \frac{H}{C} \cdot \left(\frac{\cos \gamma_0}{\sin(\gamma_0 - \alpha)} + \frac{\cos(\Psi_2 - \alpha)}{\sin \Psi_2} \right), \end{cases}$$

$$(k_{p.i} - 1)_{k_{p,max}=1,8} = 0,0441e^{1,2603 \cdot \frac{h_i}{m_{обр.сл.i}}},$$

$$(k_{p.i} - 1)_{k_{p,max}=2,0} = 0,0436e^{1,3617 \cdot \frac{h_i}{m_{обр.сл.i}}},$$

$$(k_{p.i} - 1)_{k_{p,max}=2,1} = 0,0434e^{1,405 \cdot \frac{h_i}{m_{обр.сл.i}}},$$

$$h_i = h_{i-1} - m_{обр.сл.i}(k_{p.i} - 1),$$

$$k = 2,08d_3^2 \cdot 10^4 \frac{\left(\frac{2}{3}m_0 \pm 2 \frac{dU}{dz} \right)^3}{\left(1 \pm \frac{dU}{dz} \right)^4},$$

$$l_{ш} = \sqrt{\frac{k}{m_n}}, \quad m_d = m_0(1 + \varepsilon).$$

где $l_{н.к}$ — шаг обрушения пород непосредственной кровли, м; $l_{о.к}$ — шаг обрушения пород основной кровли, м; m , $m_{н.к}$, $m_{о.к}$ — мощность пласта, пород непосредственной кровли и основной кровли соответственно, м; f , $f_{о.к}$, $f_{н.к}$ — коэффициент крепости по шкале М.М.Протождьяконова угля, пород непосредственной и основной кровли, м; $l_{обр.i}$ — шаг обрушения i -го подслоя кровли, м; $l_{оз}$ — длина очистного забоя, м; $l_{к.в}$, $l_{к.н}$ — размеры зависших консолей со стороны верхнего и нижнего боков выемочного столба, м;

x, y — направления, соответственно, вдоль главного сечения зоны сдвижения по линии движения очистного забоя (первое сечение) и главного сечения, перпендикулярного линии движения очистного забоя (второе сечение); $T_{пр}, T_{пад}, T_{вос}$ — общая продолжительность активной стадии процесса сдвижения массива, соответственно, при работе очистного забоя по простиранию, падению, восстанию, мес; k_m — коэффициент, учитывающий влияние скорости подвигания очистного забоя и глубины ведения горных работ; H — глубина ведения работ, м; C — средняя скорость подвигания, м/мес; Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 — углы полных сдвижений, град; $\delta_0, \beta_0, \gamma_0$ — граничные углы сдвижения пород, град; α — угол падения пласта, град; $k_{p,i}$ — коэффициент разрыхления для обрушающегося подслоя; $k_{p,max}$ — максимальный коэффициент разрыхления при обрушении пород кровли (принимается в соответствии с таблицей 1); h_i — свободное пространство после обрушения подслоя пород непосредственной кровли, м; h_{i-1} — свободное пространство, оставшееся после обрушения предыдущего $i-1$ слоя, м; $m_{обр.сл.i}$ — мощность обрушившегося i -го подслоя, м; k — проницаемость дезинтегрированной среды, m^2 ; d_s — параметр, характеризующий размеры отдельностей среды, мм; m_0 — пористость пород в исходном массиве, доли ед; d_U/d_z — величина деформации, принятая со знаком «+» при расширении и со знаком «-» при сжатии среды; $l_{ш}$ — коэффициент макрошероховатости среды (по М. Д. Миллионщикову),

$m; m_d$ — пористость дезинтегрированной среды, доли ед.

Третий участок. Как показывает практика добычи угля, в очистном комплексно-механизированном забое за секциями крепи на некотором расстоянии остаётся пустое пространство, по которому проходит интенсивное движение воздуха (участок, равный шагу обрушения непосредственной кровли). Проницаемость на этом участке определяется аналогично первому, в зависимости от оставшегося пустого пространства.

На основе приведённой математической модели с использованием языка программирования C++ [18, 19] разработан программный пакет «Аэродинамика» для моделирования динамики геомеханических и аэродинамических параметров в зоне обрушения и нижней части зоны трещин и разломов при высокоинтенсивной отработке пологих угольных пластов очистными комплексно-механизированными забоями [4].

С использованием пакета «Аэродинамика» выполнен расчёт изменения проницаемости зоны обрушения в процессе отработки выемочного столба. За единицу времени приняты сутки. Коэффициент уплотнения определён в зависимости от количества дней, прошедших с выемки соответствующего участка выемочного столба пропорционально времени полного сдвижения горных пород. На рис. 6 приведено полученное распределение коэффициента проницаемости k дезинтегрированных и уплотнённых пород для ВП

Таблица 1

Максимальный коэффициент разрыхления в зависимости от вынимаемой мощности пласта [2, 11]

Вынимаемая мощность пласта, м	Значения $k_{p,max}$
от 1,2 до 2,0	1,8
от 2,1 до 3,5	2,0
свыше 3,5	2,1

Адекватность полученной мощности зоны обрушения может быть оценена на основе следующих зависимостей полученных ВНИМИ [17]:

Угол падения пласта α , град	Слабые породы кровли	Прочных пород кровли
$\alpha = 0^\circ$	$h_{обр} = -0,5746m_B^2 + 5,3541m_B + 0,3385$	$h_{обр} = -0,3986m_B^2 + 4,1093m_B + 0,5014$
$\alpha = 20^\circ$	$h_{обр} = -0,5224m_B^2 + 5,0074m_B + 0,1243$	$h_{обр} = -0,3833m_B^2 + 3,9469m_B + 0,2543$

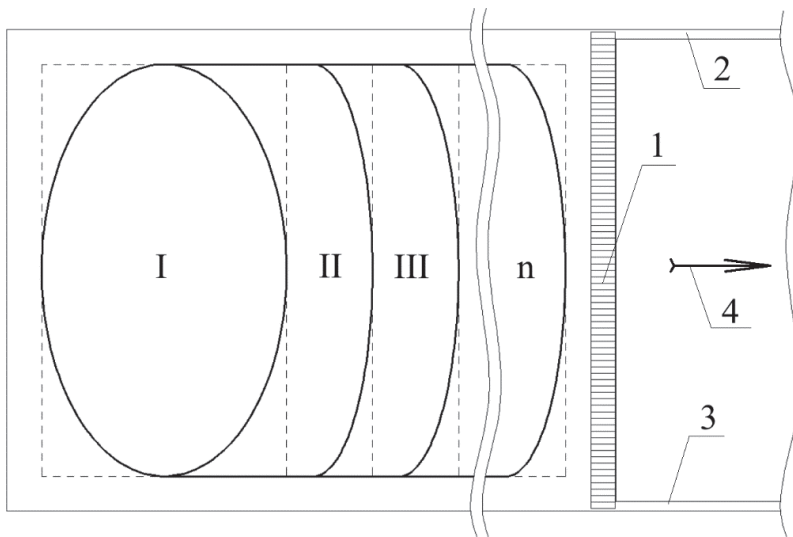


Рис. 5. Принятая концептуальная схема первичного и последующего шагов обрушения слоёв (подслоёв) кровли при формировании зоны обрушения и нижней части зоны трещин и разломов; I, II, ..., n — шаги обрушения налегающей плиты 1 — призабойное пространство; 2, 3 — оконтуривающие выемочный столб штреки; 4 — направление подвигания очистного забоя

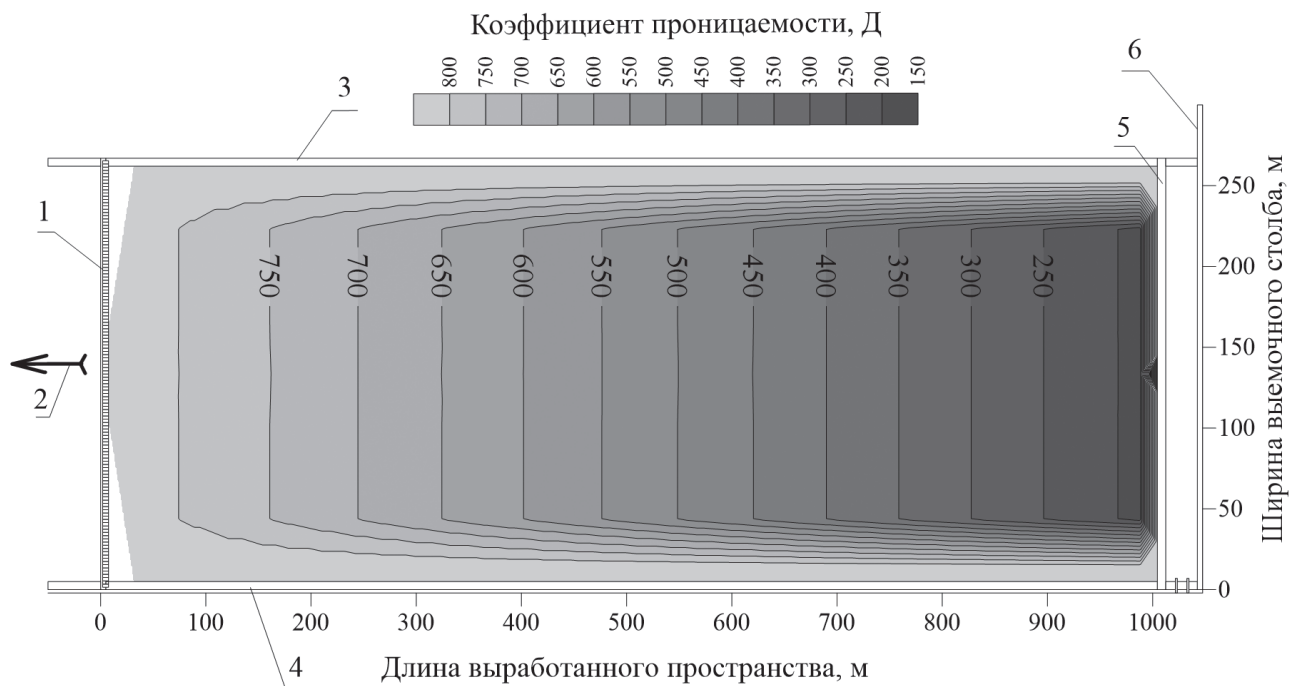


Рис. 6. Изолинии коэффициента проницаемости обрушенных пород в ВП на расстоянии 0,3 м от почвы пласта; 1 — очистной забой и секции крепи; 2 — направление подвигания очистного забоя; 3 — частично сохранённый вентиляционный штрек; 4 — погашенный конвейерный штрек; 5 — монтажная камера; 6 — фланговый газодренажный наклонный ствол

длиной 1000 м. Для удобства k пересчитан из m^2 в Дарси ($1 \text{ Д} = 9,87e-13 \text{ м}^2$).

Полученные данные использованы для моделирования аэродинамических процессов на выемочном участке (система «горные выработки — зона обрушения»). Для этой цели использован свободно распространяемый пакет OpenFOAM (The OpenFOAM Foundation). На рис. 7 приведены результаты численного моделирования процессов воздухораспределения для условий возвратноточной схемы

проветривания с различными схемами реализации системы изолированного отвода МВС. Геометрические размеры: длина оконтуривающих штреков — 350 м; длина ВП — 750 м; длина очистного забоя — 200 м; мощность зоны обрушения 4,5 м.

Результаты исследования позволяют выполнять моделирование взаимодействующих геомеханических и аэрогазодинамических процессов на выемочных участках. Это обеспечивает возможность проектировать

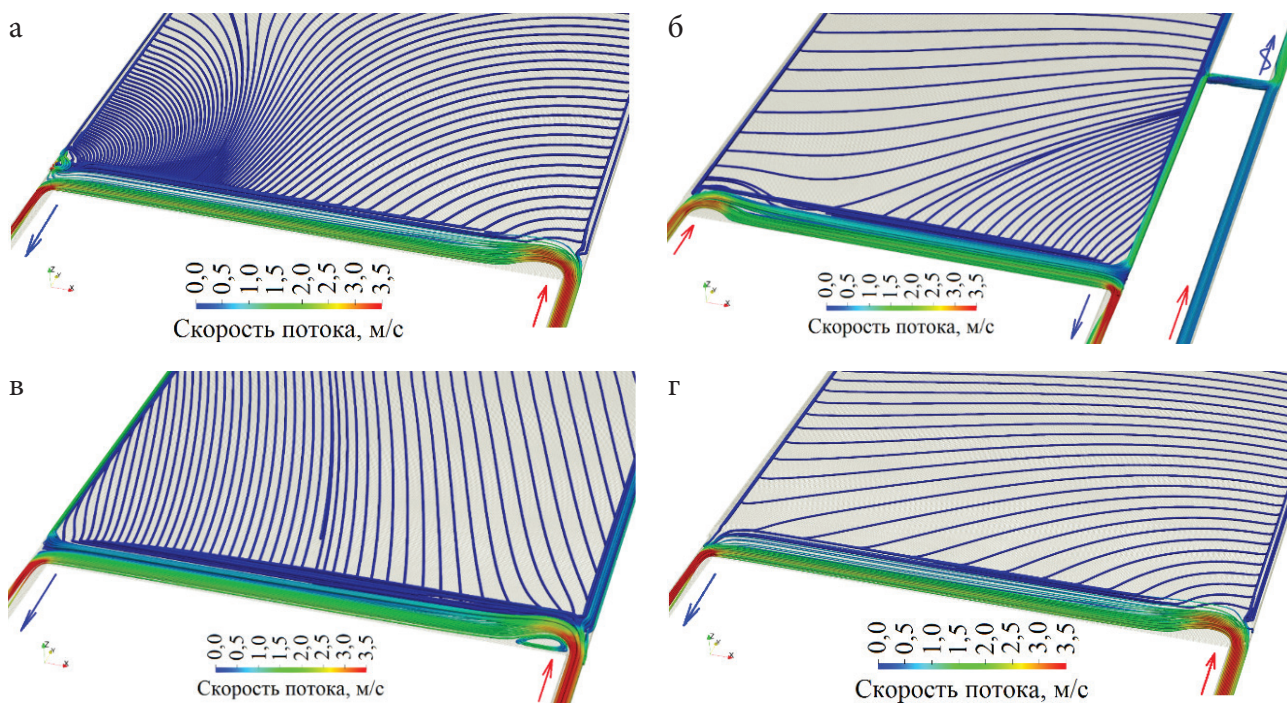


Рис. 7. Линии тока воздуха в очистном забое и примыкающему к нему участку ВП с различными схемами реализации изолированного отвода МВС;
 а — по примыкающему к очистному забою участку ВП (жесткий трубопровод);
 б — по ограниченному участку ВП (задняя сбойка); в — по неограниченной зоне ВП;
 г — при отключенной газоотсасывающей установке

единую систему «горные выработки — зона обрушения» с учётом конкретных горно-геологические и горнотехнических условий. Добавление в моделируемую систему дебитов метана как фактических, так и по данным лавы-аналога или горно-геологического прогноза, в зависимости от нагрузки на очистной

забой [20], обеспечит возможность планировать применение эффективных схем проведения, как и в целом систем управления газовыделением, и повысить уровень безопасности ведения горных работ в условиях высокоинтенсивной отработки угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклашов И. В. Деформирование и разрушение породных массивов. М.: Недра, 1988. 271 с.
2. Говорухин Ю. М. Разработка метода оценки параметров воздухораспределения для снижения скорости окислительных процессов в выработанном пространстве угольных шахт: автореф. дис... канд. техн. наук. Кемерово: Изд-во НЦ ВостНИИ, 2012. 21 с.
3. Говорухин Ю. М., Риб С. В., Никитина А. М., Фрянов В. Н. Моделирование численными методами процессов обрушения кровли // Горный журнал. 2019. № 4. С. 23–26.
4. Говорухин Ю. М., Фрянов В. Н., Палеев Д. Ю. Численное моделирование взаимодействующих геомеханических и аэродинамических процессов на выемочном участке // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 2. С. 288–299.
5. Говорухин Ю. М. Методика разработки исходных данных для моделирования геомеханических процессов, происходящих в выработанном пространстве // Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов. 2011. С. 112–115.
6. Фрянов В. Н., Степанов Ю. А. Программа подготовки данных для проведения расчетов геомеханических параметров угольных шахт методом конечных элементов. Свидетельство об официальной регистрации программы на ЭВМ № 2000610937; Заявка № 2000610798 от 24.06.2000. Зарегистр. 21.09.2000. М.: Роспатент, 2000.

7. Степанов А. В., Фрянов В. Н., Степанов Ю. А. Программа расчета геомеханических параметров для исследования взаимодействия секции механизированной крепи с углепородным массивом. Свидетельство об официальной регистрации программы на ЭВМ № 2001610645; Заявка № 2001610402 от 02.04.2001. Зарегистр. 31.05.2001. М.: Роспатент, 2001.
8. Фрянов В. Н., Павлова Л. Д. Состояние и направления развития безопасной технологии подземной угледобычи. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 238 с.
9. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360 с.
10. Штумпф Г. Г., Рыжков Ю. А., Шаламанов В. А. и др. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: справочник. М.: Недра, 1994. 447 с.
11. Говорухин Ю. М., Домрачев А. Н., Криволапов В. Г., Палеев Д. Ю. Математическое моделирование миграции метана в горные выработки при остановленном очистном забое // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал. 2017. № 3. С. 424–429.
12. Колмаков В. А., Брабандер С. П., Беспятов Г. А. Прогноз и управление газопереносом в массивах шахт. Кемерово, 1992. 248 с.
13. Мясников А. А., Павлов А. Ф., Бонецкий В. А. Повышение эффективности и безопасности горных работ. М.: Недра, 1979. 216 с.
14. Пучков Л. А. Аэродинамика подземных выработанных пространств. М., 1993. 267 с.
15. Тарасов Б. Г., Колмаков В. А. Газовый барьер угольных шахт. М.: Недра, 1978. 200 с.
16. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок на угольных месторождениях. СПб, 1998. 291 с.
17. Егоров П. В., Штумпф Г. Г., Ренев А. А. и др. Геомеханика. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001. 276 с.
18. Алексеев Е. Р., Злобин Г. Г., Костюк Д. А. и др. Программирование на языке C++ в среде Qt Creator. М.: ALT Linux, 2015. 448 с.
19. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 832 с.
20. Говорухин Ю. М., Домрачев А. Н., Криволапов В. Г., Лукашов О. Ю., Палеев Д. Ю. Вентиляция выемочных участков. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № RU 2017614796: заявл. № 2017610740 от 24.01.2017, опублик. 27.04.2017. 1 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.53.29.003

UDC 622.414.2: 622.831.3: 004.942

© Yu. M. Govorukhin, V. G. Krivolapov, 2024

Yu. M. Govorukhin

Candidate of Engineering Sciences,
Head of the Research Department
National Mine Rescue Centre
e-mail: govorukhin_ym@mail.ru

V. G. KRIVOLAPOV

Candidate of Engineering Sciences,
Leading Researcher of the Research Department
National Mine Rescue Centre
e-mail: vic_49@mail.ru

GEOMECHANICAL BASIS FOR DEVELOPMENT OF LONGWALL PANELS VENTILATION SCHEMES AND ENSURING OF INDUSTRIAL SAFETY DURING THE LONGWALL MINING PROCESSING USING THE INTENSIVE TECHNOLOGIES

This article is devoted to the study of geomechanical processes that occur during the development of longwall panels by long complex-mechanized faces with the caving of roof rocks on gentle coal beds. Numerical modeling of geomechanical processes performed. A mathematical model and program have been developed to assess the permeability of the caved zone taking into account the disintegration of rocks during caving and their compaction. The obtained results were used as initial data in the calculation of air distribution in the longwall panels in the system «entries — caved zone».

Keywords: LONGWALL PANEL, ROCK MASS, STRATA MOVEMENT, CAVED ZONE, BULKING, COMPACTION, PERMEABILITY.

REFERENCES

1. Baklashov I. V. Deformation and destruction of rock massifs. M.: Nedra, 1988. 271 p. [In Russ.].
2. Govorukhin Yu. M. Development of a method for estimating air distribution parameters to reduce the rate of oxidative processes in the depleted space of coal mines: abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. Kemerovo: Publishing House of the National Research Center of the East, 2012. 21 p. [In Russ.].
3. Govorukhin Yu. M., Rib S. V., Nikitina A. M., Fryanov V. N. Modeling by numerical methods of roof collapse processes // Mining Journal [Gornyy zhurnal]. 2019. No. 4. P. 23–26. [In Russ.].
4. Govorukhin Yu. M., Fryanov V. N., Paleev D. Yu. Numerical modeling of interacting geomechanical and aerodynamic processes at the excavation site // Proceedings of Tula State University. Earth Sciences [Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle]. 2019. No. 2. P. 288–299. [In Russ.].
5. Govorukhin Yu. M. Methodology for the development of initial data for modeling geomechanical processes occurring in the developed space // High-tech technologies for the development and use of mineral resources: scientific journal [Naukoyomkiye tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov: nauch. zhurnal]. 2011. P. 112–115. [In Russ.].
6. Fryanov V. N., Stepanov Yu. A. Data preparation program for calculations of geomechanical parameters of coal mines by the finite element method. Certificate of official registration of the computer program No. 2000610937; Application No. 2000610798 dated 06/24/2000. Registered on 09/21/2000. Moscow: Rospatent, 2000. [In Russ.].
7. Stepanov A. V., Fryanov V. N., Stepanov Yu. A. A program for calculating geomechanical parameters for studying the interaction of a section of mechanized support with a carbonaceous massif. Certificate of official registration of the computer program No. 2001610645; Application No. 2001610402 dated 04/02/2001. Registered on 05/31/2001. Moscow: Rospatent, 2001. [In Russ.].
8. Fryanov V. N., Pavlova L. D. The state and directions of development of safe underground coal mining technology. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2009. 238 p. [In Russ.].
9. Borisov A. A. Mechanics of rocks and massifs. M.: Nedra, 1980. 360 p. [In Russ.].
10. Shtumpf G. G., Ryzhkov Yu. A., Shalamanov V. A. and others. Physico-technical properties of rocks and coals of the Kuznetsk basin: handbook. M.: Nedra, 1994. 447 p. [In Russ.].
11. Govorukhin Yu. M., Domrachev A. N., Krivolapov V. G., Paleev D. Yu. Mathematical modeling of methane migration into mine workings at a stopped treatment face // High-tech technologies for the development and use of mineral resources: scientific journal [Naukoyomkiye tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov: nauch. zhurnal]. 2017. No. 3. P. 424–429. [In Russ.].
12. Kolmakov V. A., Brabander S. P., Bespyatov G. A. Forecast and control of gas transfer in mine arrays. Kemerovo, 1992. 248 p. [In Russ.].
13. Myasnikov A. A., Pavlov A. F., Bonetsky V. A. Improving the efficiency and safety of mining operations. Moscow: Nedra, 1979. 216 p. [In Russ.].
14. Puchkov L. A. Aerodynamics of underground worked-out spaces. M., 1993. 267 p. [In Russ.].
15. Tarasov B. G., Kolmakov V. A. The gas barrier of coal mines. M.: Nedra, 1978. 200 p. [In Russ.].
16. Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in coal deposits. St. Petersburg, 1998. 291 p. [In Russ.].
17. Egorov P. V., Stumpf G. G., Renev A. A. and others. Geomechanics. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2001. 276 p. [In Russ.].
18. Alekseev E. R., Zlobin G. G., Kostyuk D. A. and others. Programming in C++ in the Qt Creator environment. Moscow: ALT Linux, 2015. 448 p. [In Russ.].
19. Korn G., Korn T. Handbook of mathematics for scientists and engineers. M.: Nauka, 1984. 832 p. [In Russ.].
20. Govorukhin Y. M., Domrachev A. N., Krivolapov V. G., Lukashov O. Yu., Paleev D. Yu. Ventilation of excavation sites. Certificate of registration of the computer program no. RU 2017614796: application no. 2017610740 dated 01/24/2017, publ. 04/27/2017. 1 p. [In Russ.].