

# ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*научный журнал*

Основан в 1965 г.  
Выходит 6 раз в год

Учредители:  
Сибирское отделение РАН  
Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН

## *Главный редактор*

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф. **В. Н. Опарин**

## *Заместитель главного редактора*

д.ф.-м.н. **Л. А. Назаров**

## *Ответственный секретарь*

д.т.н., проф. **В. М. Серяков**

## *Редакционная коллегия*

Д.т.н., проф. А. А. Барях, акад., д.ф.-м.н., проф. И. В. Бычков, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Г. И. Грицко, д.т.н., проф. С. Г. Емельянов, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Д. Р. Каплунов, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. В. И. Клишин, д.т.н., проф. А. А. Козырев, д.т.н. С. А. Кондратьев, д.т.н., проф. С. В. Корнилков, д.т.н., проф. А. В. Корчак, акад., д.т.н., проф. М. В. Курленя, д.т.н., проф. В. П. Мазикин, акад., д.т.н., проф. Ю. Н. Малышев, акад., д.т.н., проф. Н. Н. Мельников, д.т.н., проф. В. Е. Миренков, д.т.н. А. А. Ордин, д.т.н. Н. А. Попов, д.т.н., проф. В. П. Потапов, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Л. А. Пучков, д.т.н., проф. И. Ю. Рассказов, д.ф.-м.н., проф. А. Ф. Ревуженко, д.т.н. А. Г. Секисов, д.т.н. Б. Ф. Симонов, д.т.н., проф. Б. Н. Смоляницкий, д.т.н. А. П. Тапсиев, д.т.н. С. М. Ткач, акад., д.т.н., проф. К. Н. Трубецкой, д.т.н., проф. А. М. Фрейдин, акад., д.т.н., проф. В. А. Чантурия, д.ф.-м.н., проф. А. И. Чанышев, к.т.н. В. И. Ческидов, д.ф.-м.н. Е. Н. Шер, д.т.н., проф. В. Л. Шкуратник, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. В. Л. Яковлев, д.т.н., проф. Д. В. Яковлев

## *Международный редакционный совет*

Д.т.н., проф. М. В. Айзенберг-Степаненко (Израиль), чл.-корр. НАН Украины, д.т.н., проф. А. В. Анциферов (Украина), акад. НАН КР, д.т.н., проф. И. Т. Айтматов (Кыргызстан), д.ф.-м.н. А. А. Баймухаметов (Казахстан), проф. В. Буш (Германия), акад., проф. С. Вуйич (Сербия), проф. Р. Гангули (США), проф. О. Гювен (Турция), проф. П. Дауд (Австралия), проф. Р. Димитракопулос (Канада), проф. К. Дребенштедт (Германия), проф. Й. Дубинский (Польша), проф. А. Касали (Чили), проф. П. Кноль (Германия), проф. М. Коли (Италия), чл.-корр. НАН КР, д.т.н., проф. К. Ч. Кожоголов (Кыргызстан), проф. Д. Колимбас (Австрия), д.т.н. В. А. Мансуров (Казахстан), проф. Р. Миннит (Южная Африка), проф. Пан И-Шан (Китай), проф. К. Пинто (Бразилия), проф. Л. Тотев (Болгария), акад., проф. Цянь-Циху (Китай)

*Журнал переводится на английский язык и издается в США Международной академической компанией "Наука / Интерпериодика" по контракту с Kluwer Academic / Plenum Publishers под названием "Journal of Mining Science"*

## *Заведующая редакцией* **В. Н. Валиева**

*Адрес редакции:* Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия.  
Тел.: (383) 217-00-48. Факс: (383) 217-06-78. E-mail: edit@misd.nsc.ru  
<http://www.sibran.ru/ftprpw.htm>, [www.misd.nsc.ru/publishing/jms](http://www.misd.nsc.ru/publishing/jms)

**Новосибирск**  
**Издательство Сибирского Отделения РАН**

---

© Сибирское отделение РАН, 2015  
© Институт горного дела СО РАН, 2015

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ

---

---

НОМЕР 3, 2015

МАЙ – ИЮНЬ

---

---

**ГЕОМЕХАНИКА**

*В. Н. Одинцев, Н. А. Милетенко*

Прорыв воды в горные выработки как следствие самопроизвольного гидроразрыва массива пород 3

*С. В. Сукнев*

Экспериментальное обоснование нелокальных критериев разрушения геоматериалов при неравнокомпонентном сжатии пластин с круговым отверстием 17

*В. Е. Миренков*

О некорректных задачах механики горных пород 25

*Г. М. Подыминогин, А. И. Чанышев*

Определение максимально допустимой высоты борта карьера по схеме жесткопластического тела 32

*В. Л. Шкуратник, П. В. Николенко, А. А. Кормнов*

Обоснование метода ультразвукового корреляционного каротажа для структурной диагностики кровли горных выработок 41

*Л. М. Васильев, Д. Л. Васильев*

Учет контактного трения в задаче о разрушении горных пород сжатием 48

*Ф. М. Бородич, С. Дж. Булл, С. А. Эпитейн*

Особенности применения наноиндентирования для изучения механических характеристик неоднородных материалов 57

---

**ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*К. Н. Трубецкой, М. А. Иофис, Е. Н. Есина*

Особенности геомеханического обеспечения освоения месторождений, склонных к газодинамическим явлениям 64

*С. В. Лукичев, О. В. Белгородцев, Е. В. Громов*

Обоснование способов вскрытия рудных месторождений с применением различных комбинаций конвейерного транспорта 72

*Л. А. Крупник, М. Ж. Битимбаев, С. Н. Шапошник, Ю. Н. Шапошник, В. Ф. Демин*

Обоснование рациональной технологии закладочных работ на месторождении Секисовское 82

*В. И. Ческидов, В. К. Норри*

К вопросу разработки мультимодальных месторождений твердых полезных ископаемых 91

*А. И. Барулин*

Оценка устойчивости отвала вскрышных пород при его формировании с наклонной поверхностью 99

---

---

**ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ**

*Б. Б. Данилов, Б. Н. Смоляницкий, Д. О. Чецин*

Обоснование принципиальных схем отклоняющих устройств в установках горизонтального направленного бурения скважин 106

*А. М. Петреев, А. Ю. Примычкин*

Влияние типа системы воздухораспределения на энергетические показатели пневмоударного узла кольцевой ударной машины 117

---

**ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*И. Г. Зимбовский, Т. А. Иванова, В. А. Чантурия, Е. Л. Чантурия*

Комплексообразующий собиратель для селективной флотации халькопирита 124

*В. А. Бочаров, В. А. Игнаткина, А. А. Каюмов*

Флотационное обогащение блеклых руд 130

*В. А. Чантурия, В. В. Гетман*

Экспериментальные исследования взаимодействия модифицированных термоморфных полимеров с золотом и платиной в условиях обогащения труднообогатимых руд благородных металлов 138

*М. А. Гурман, Л. И. Щербак, А. В. Рассказова*

Извлечение золота и мышьяка из продуктов обжига упорных пирит-арсенопиритовых концентратов 145

*Л. Цветичанин, Д. Вучинич, П. Лазич, М. Костович*

Влияние крупности галенита на кинетику флотации 151

*А. Г. Михайлов, М. Ю. Харитонова, И. И. Вашилаев, М. Л. Свиридова*

Осаждение солей из растворов при их капиллярном подъеме в поверхностной зоне аэрации массива 156

---

**ГЕОИНФОРМАТИКА**

*В. П. Потапов, В. Н. Опарин, О. Л. Гиниятуллина, И. Е. Харлампенков*

Разработка сервиса облачных вычислений и обработки данных о сейсмособытиях в геомеханико-геодинамически активных угледобывающих районах Кузбасса 162

---

**НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

*И. Ю. Рассказов, Д. С. Мигунов, П. А. Аникин, А. В. Гладырь, А. А. Терешкин, Д. О. Желнин*

Геоакустический портативный прибор нового поколения для оценки удароопасности массива горных пород 169

*В. Н. Опарин, В. И. Востриков, О. М. Усольцева, П. А. Цой, В. Н. Семенов*

Измерительная система и испытательный стенд для контроля эволюции акусто-деформационных и тепловых полей, индуцируемых в процессах флюидоразрушения твердых тел 180

*С. В. Сердюков, А. В. Азаров, П. А. Дергач, А. А. Дучков*

Аппаратные решения микросейсмического мониторинга геодинамических процессов при подземной разработке твердых полезных ископаемых 192

---

## ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.83:556.3:622.5

### ПРОРЫВ ВОДЫ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ КАК СЛЕДСТВИЕ САМОПРОИЗВОЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА МАССИВА ПОРОД

**В. Н. Одинцев, Н. А. Милетенко**

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: Odin-VN@yandex.ru,  
Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия*

Исследуются случаи прорыва воды в горные выработки как следствия самопроизвольного гидроразрыва массива пород. Разработана модель гидроразрыва, в которой трещина растет под давлением подземной воды в области техногенного снижения напряжений массива. Модель включает два критерия развития трещины — критическое растяжение породы в кончике трещины и открытость трещины по всей длине. Установлено, что определяющую роль в развитии трещин самопроизвольного гидроразрыва играют особенности природного и техногенного полей напряжений, гидростатическое давление подземной воды и порядок проведения выработок.

*Горные выработки, подземные воды, прорывы воды, гидроразрыв, численное моделирование*

Техногенные гидрогеологические изменения в массиве пород при разработке полезных ископаемых большей частью связаны с медленными процессами просачивания воды по трещино-порам, контактам структурных блоков, тектоническим нарушениям и т.п. Однако иногда происходят внезапные, катастрофические прорывы воды в горные выработки с динамическим выносом в выработку разрушенной породы. Вода может прорываться в выработки из водоемов, находящихся на земной поверхности, неосушенных водоносных горизонтов, затопленных выработок, скоплений воды в действующих выработках и т.д.

Для предотвращения прорывов воды в горные выработки разработаны определенные правила работы на горных предприятиях со сложной гидрогеологической обстановкой. Для угольных шахт методика установления границ опасных зон и требования к проектам ведения горных работ в этих зонах изложены в инструкции [1], где приведены также соотношения для оценки границ опасных зон. В формулу, определяющую ширину опасной зоны у затопленной выработки, входят расстояние по вертикали от земной поверхности до пласта в опасной зоне, коэффициент, зависящий от крепости пород, высота подготовительной выработки и погрешность положения затопленной выработки.

---

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-05-00482).

Во многих исследованиях, посвященных рассматриваемому вопросу, отмечается, что прорывы воды зависят также от ряда факторов, которые не учитываются в простой формуле, приведенной в [1], например от технологических, физических, геодинамических и геологических. Именно многообразии факторов влияния затрудняет изучение механизма внезапных прорывов и разработку предупредительных мероприятий [2].

Традиционно для теоретического исследования техногенных гидрогеологических изменений использовалась теория фильтрации [3]. Однако в рамках этой теории невозможно прогнозировать многие случаи движения воды в массиве пород, поскольку оно часто связано с техногенным изменением и разрушением массива, которое не учитывается в этой теории. Например, проникновение воды в массив может происходить при природном или техногенном гидроразрыве пород с образованием магистральной трещины [4–8], в которой вода течет по закону гидродинамики. Главной силой разрушения является вода, заполняющая трещину.

Гидроразрыв горных пород как геомеханическое явление и средство управления состоянием массива в настоящее время исследуется на стыке геомеханики, гидрогеологии, гидродинамики, физической химии и механики разрушения. Особенность рассматриваемого здесь гидроразрыва пород в отличие от классического технологического гидроразрыва заключается в том, что давление воды неизменно, а напряжения в массиве уменьшаются в результате проведения горных работ. Действительно, при техногенном перераспределении напряжений одна из главных компонент сжимающих напряжений в некоторой области массива может стать малой. Если в этой области оказывается трещина, заполненная подземной водой, гидростатическое давление которой выше минимального сжимающего напряжения, то трещина будет развиваться за счет распирающего действия воды. Эту трещину можно назвать трещиной самопроизвольного гидроразрыва.

В исследовании особенностей самопроизвольного гидроразрыва можно использовать “богатую” методику исследований технологического, управляемого гидроразрыва массива горных пород с соответствующими наработками в методологии моделирования [5–16]. Рассмотрим методику моделирования самопроизвольного гидроразрыва пород и случаи прорыва воды на двух угольных шахтах.

#### МОДЕЛЬ ГИДРОРАЗРЫВА ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАТОПЛЕННОЙ ВЫРАБОТКИ

Существуют различные модели гидроразрыва пород [12], однако общим феноменологическим условием гидроразрыва является то, что давление воды на берегах трещины должно быть выше сжимающего напряжения, действующего в породе нормально трещине. Простейшее условие гидроразрыва может быть записано так

$$p \geq \sigma + T, \quad (1)$$

здесь  $p$  — давление воды в трещине;  $\sigma$  — напряжение, действующее в направлении нормали к трещине (напряжения сжатия приняты положительными);  $T$  — прочность породы на растяжение. Условие (1) справедливо для достаточно протяженной трещины, когда становится несущественным условие зарождения трещины. На этапе зарождения трещины условие гидроразрыва включает характерные особенности распределения напряжений вблизи объекта, содержащего воду под давлением. Например, в случае продольного гидроразрыва стенки скважины условие начала гидроразрыва имеет вид

$$p \geq 3\sigma_3 - \sigma_1 + T, \quad (2)$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  — наибольшая и наименьшая главные компоненты сжимающих напряжений, действующих нормально оси скважины.