

УДК 622.232.83.054.52

**А.А. Хорешок, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов**

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА РАЗРУШЕННОГО МАТЕРИАЛА ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

*Приведены результаты исследований по объему породы, разрушенной дисковым инструментом в уступном режиме резания, для определения рациональной схемы размещения дисковых инструментов на рабочем органе.*

*Ключевые слова: дисковый инструмент, горные породы, эллипсоид, резание, песчано-цементный блок, пирамида.*

**Д**ля определения рациональной схемы размещения дисковых инструментов на рабочем органе необходимо знание максимального объема породы  $V_{\max}$ , разрушенной дисковым инструментом в уступном режиме резания в зависимости от геометрии инструмента, параметров разрушения и физико-механических свойств горных пород.

Расчетная схема модели воздействия распределенного единичного усилия на четверть пространства с выступом приведена на рис. 1, где равнодействующая распределенного усилия на горизонтальную поверхность определялась в виде:

$$P = - \int_0^{0,1} \int_1^1 (z/\ell) \left(1 - \cos \frac{2\pi z}{\ell}\right) dz dx, \quad (1)$$

где  $\ell$  — длина контакта инструмента с породой.

Расчет моделей проводился при следующих входных величинах:

$0,01 \leq t_p \leq 0,09$  м,  $t_p \leq L \leq L^\infty$  с шагом  $\Delta t_p = \Delta L = 0,005$  м,

где  $L^\infty$  — неограниченная длина свободной обнаженной поверхности.

Поверхность разрушения описывалась при помощи критерия:

$$F \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}, \quad (2)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  — главные напряжения.

Теоретические результаты по описанию объема разрушенного крупного элемента дисковым инструментом наилучшим образом описываются формулой эллипсоида.

На рис. 1 штриховой и штрихпунктирной линиями показаны поверхности разрушения, построенные по формулам эллипсоида и пирамиды, соответственно.

В результате исследований было установлено, что шаг резания  $t_p$  — расстояние от линии действия инструмента до высоты уступа влияет на распределение поверхности разрушения в плоскости  $XOY$ .

Выход поверхности разрушения на свободную обнаженную поверхность приведен на рис. 2, а зависимость выхода трещины на свободную неограниченную поверхность  $L_{\max}$  от шага резания  $t_p$  показана на рис. 3.

Начало штрихпунктирной линии обозначает зону заблокированного режима резания.

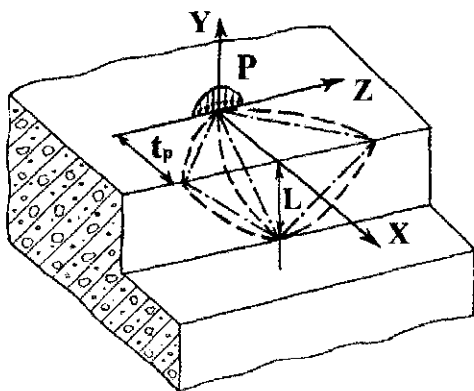


Рис. 1. Схема взаимодействия дискового инструмента с породой

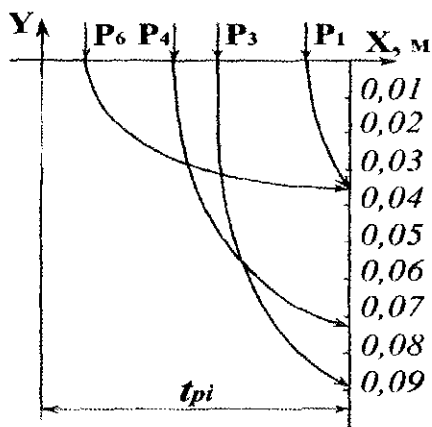


Рис. 2. Кинематика выхода трещины на свободную поверхность от расстояния приложения единичного усилия  $P_i$  ( $t_{pi} = i$ , м) к горизонтальной поверхности

Из этих рисунков следует, что для каждого шага резания с минимальной глубиной внедрения, существует своя максимальная высота обнажения выступа  $L_{max}$ . Например, при шаге резания  $t_p = 0,04$  м выход трещины произойдет на максимальную высоту уступа  $L = 0,072$  м.

По результатам моделирования были построены зависимости, определяющие максимальный объем  $V_{max}$  разрушенного материала дисковым

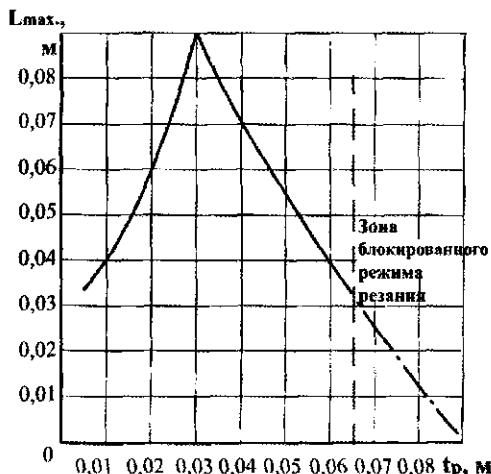


Рис. 3. Зависимость выхода трещины на свободную поверхность от высоты обнажения уступа  $L_{max}$  и шага резания  $t_p$

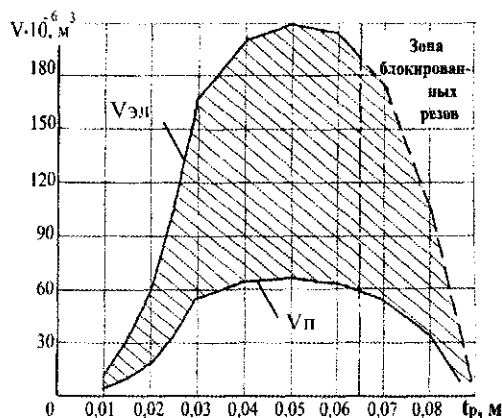


Рис. 4. Зависимость объема  $V$  разрушенного крупного элемента от шага резания  $t_p$

инструментом от шага резания  $t_p$  при неограниченной высоте обнажения  $L$  выступа:

• для эллипсоида

$$V_{эл}(t_p) = \begin{cases} \frac{\pi}{3} t_p \left( -36 + \frac{1080}{t_p + 21} \right) \times \\ \frac{\pi}{3} t_p \left( \frac{1}{2} t_p^2 + \frac{1}{2} t_p + 3 \right) \times \end{cases}$$

$$\times(0,1t_p^2 - 0,19t_p + 5,72) \text{ при } 0,03 \leq t_p \leq 0,09 \text{ м}$$

$$\times(14,65 - \frac{63,47}{t_p + 4,33}) \text{ при } 0 \leq t_p \leq 0,03 \text{ м} \quad (3)$$

• для пирамиды

$$V_n(t_p) = \frac{V_{\text{эл}}(t_p)}{\pi} \quad (4)$$

Результаты расчета зависимостей объемов  $V$  крупных элементов разрушенных дисковым инструментом от величины шага резания  $t_p$  представлены на рис. 4. Вероятно, что поверхность крупных элементов реальных материалов, имеющих структурные дефекты, должна находиться между поверхностями разрушения эллипсоида и пирамиды. Здесь объем реальных материалов показан заштрихованной областью.

Приведенные зависимости имеют куполообразный характер распределения. Объемы максимальных крупных элементов, отделяемых от массива дисковым инструментом, расположены в зоне при  $0,04 \leq t_p \leq 0,06$  м и  $0,072 \geq L_{\text{max}} \geq 0,04$  м. Максимальный объем крупных элементов достигается при  $t_p = 0,05$  м и  $L_{\text{max}} = 0,055$  м. Следовательно, при  $0,555 \leq t_p / L_{\text{max}} \leq 1,5$  — зона максимальных крупных элементов  $V_{\text{max}}$  и максимум достигается при  $t_p / L_{\text{max}} = 0,91$ .

Для подтверждения результатов моделирования были проведены экспериментальные исследования по разрушению песчано-цементного блока, имеющего следующие прочностные характеристики  $\sigma_{\text{сж}} = 28,0$  МПа,  $\sigma_p = 4,0$  МПа. Дисковые инструменты имели следующие геометрические параметры: диаметр  $D = 0,16$  и  $0,18$  м; угол заострения  $\varphi = 30$  и  $35^\circ$ . Геометрические размеры выступа и параметры разрушения имели следующие значения: шаг резания  $t_p =$

$0,03$ ;  $0,04$  и  $0,05$  м; глубина внедрения  $h = 0,005$ ;  $0,01$  и  $0,015$  м; высота обнажения  $L = 0,03$ ;  $0,04$  и  $0,05$  м.

Экспериментальные исследования проводились на специально созданном стенде с тензометрической головкой в объемной постановке ( $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ ), разработанном в лаборатории кафедры горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета.

В результате экспериментальных исследований было установлено существование цикличности чередования фаз разрушения независимо от параметров разрушения, высоты обнажения уступа, и геометрии инструмента подобно свободному резанию.

На рис. 5 представлены эти фазы разрушения от различной глубины внедрения  $h$  дискового инструмента. В отличие от свободного резания в уступном режиме разрушения наблюдаются два крупных осколка породы в одном цикле. Следовательно, цикличность процесса разрушения в уступном режиме будет характеризоваться двумя сколами и дроблением, и эта цикличность повторяется на протяжении всего процесса разрушения с одними и теми же параметрами разрушения рис. 6.

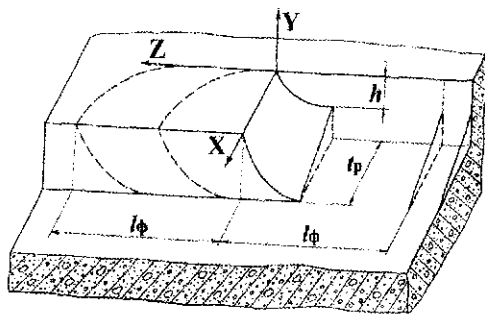


Рис. 5. Формы осколков и циклы разрушения при уступном режиме резания

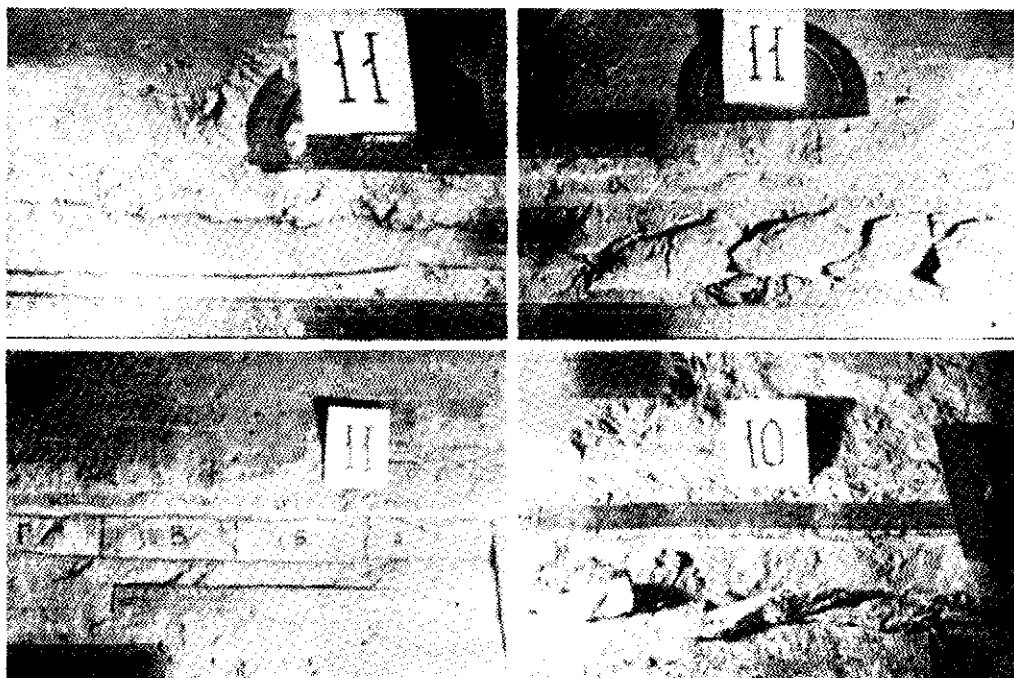


Рис. 6. Исследование процесса формирования циклов при разрушении

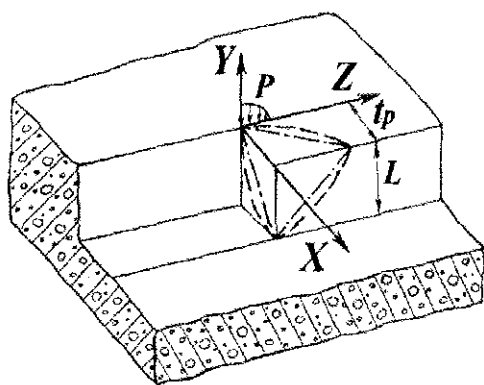


Рис. 7. Формы осколков, образованных воздействием дискового инструмента на горную породу

На основе проведенных экспериментов было установлено, что фазы циклов не зависят от глубины внедрения  $h$  и имеют одну и ту же форму осколков. Также было выявлено, что при изменении диаметра инструмента

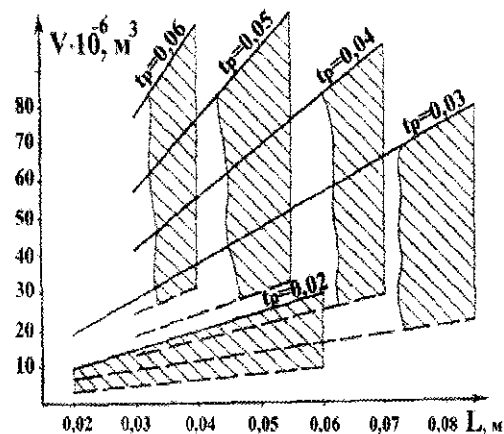


Рис. 8. Зависимость объема  $V$  разрушенного элемента одной фазы цикла от высоты обнажения  $L$

$D$ , длина фазы разрушения  $l_{\phi}$  оставалась постоянной.

В результате расчетов были построены следующие функциональные зависимости объема  $V$  разру-

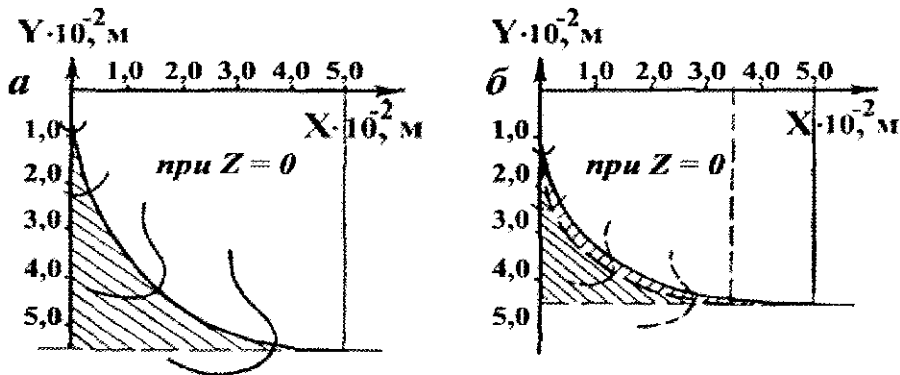


Рис. 9. Описание разрушения выступа критерием в плоскости: а — при  $t_p = 0,05$  м,  $L_{\max} = 0,055$  м; б — при  $t_p \geq 0,035$  м,  $L_{\max} = 0,045$  м

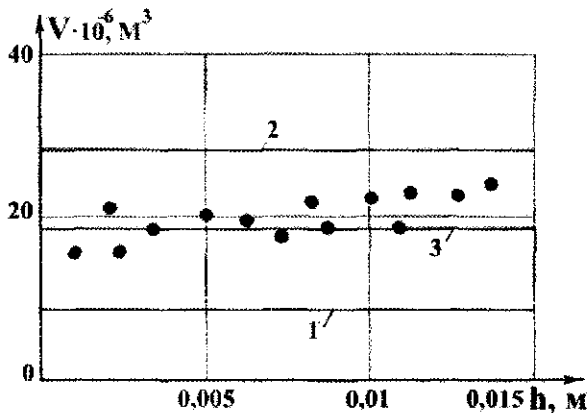


Рис. 10. Зависимости объема разрушенного материала  $V$  от глубины внедрения  $h$ :

1 —  $V_n$ ; 2 —  $V_{эл}$ ; 3 —  $V_{сп} = (V_n + V_{эл})/2$

шенных крупных элементов материала от шага резания  $t_p$  и высоты обнажения  $L$  свободной поверхности (рис. 7):

- для эллипсоида (штриховая линия)

$$V_{эл}(t_p, L) = \begin{cases} \frac{\pi}{6} t_p L \left( 14,65 - \frac{63,47}{t_p + 4,33} \right) & \text{при } 0 \leq t_p \leq 0,03 \text{ м} \\ t_p \leq L \leq L_{\max} = 0,5 t_p^2 + 0,5 t_p + 3, & \\ \frac{\pi}{6} t_p L (0,1 t_p^2 - 0,19 t_p + 5,72) & \text{при } 0,03 \leq t_p \leq 0,09 \text{ м} \\ t_p \leq L \leq L_{\max} = -36 + \frac{1080}{21 + t_p} & \end{cases} \quad (5)$$

- для пирамиды (штрихпунктирная линия)

$$V_{п}(t_p, L) = \frac{V_{эл}(t_p, L)}{\pi} \quad (6)$$

На основе приведенной функциональной зависимости был построен график на рис. 8, наглядно показывающий объем разрушенного материала в зависимости от шага резания  $t_p$  и высоты обнаженной поверхности  $L$ . На рисунке сплошной линией обозначен объем разрушенного материала, рассчитанный по эллипсоиду и штриховой — для пирамиды. Объем реальных материалов показан заштрихованной зоной.

Штрихпунктирная линия обозначает среднее значение объема разрушенного материала. Из рисунка видно, что при максимально обнаженной поверхности  $L_{\max}$  (для каждого шага резания  $t_p$  конкретно) максимально разрушенный объем наблюдается для  $t_p = 0,04$  м; 0,05 м и 0,06 м с высотой обнаженной поверхности  $L = 0,07$  м; 0,055 м и 0,04 м соответственно. Наибольшее значение объема наблюдается при  $t_p = 0,05$  м и  $L_{\max} = 0,055$  м, что подтверждает ранее приведенное соотношение  $t_p / L_{\max} = 0,91$  для  $V_{\max}$ .

На основе критерия (2) была смоделирована реальная зона разрушения при уступной системе разработки исполнительным органом для соотношения  $t_p / L_{\max} = 0,91$  (рис. 9, а), из которого следует, что при таком соотношении остается значительная зона неразрушенного материала (обозначенная штриховыми линиями), для разрушения которой потребуются неоправданный рост дополнительных энергозатрат.

В связи с этим, для достижения наименьшей зоны неразрушенного материала с сохранением максимально возможного объема разрушенного материала были смоделированы режимы работы и выбраны параметры разрушения  $t_p \geq 0,035$  м и  $L = 0,045$  м (рис. 9, б).

На рис. 10 приведены результаты сопоставления теоретических и экс-

периментальных исследований по объему  $V$  разрушения крупных элементов в зависимости от глубины внедрения  $h$ . Сплошными линиями на рис. 10 обозначены теоретические зависимости объема  $V$  разрушенного материала без заглабления дискового инструмента. Они носят независимый характер от глубины внедрения  $h$  и рассчитаны для пирамиды 1, эллипсоида 2 и среднего объема сколотого элемента —  $V_{\text{ср}} = (V_{\text{эл}} + V_{\text{пл}})/2$ . Результаты экспериментальных исследований обозначены точками в зависимости от глубины внедрения  $h$ . Результаты максимальных объемов  $V_{\max}$  разрушенного материала расположены между теоретическими зависимостями, рассчитанными по формулам эллипсоида и пирамиды. Следовательно, предложенные теоретические зависимости построения объемов  $V$  разрушенных крупных элементов от воздействия дискового инструмента без заглабления справедливы для глубины внедрения  $h \leq 0,015$  м.

При разрушении твердых пород дисковый инструмент внедряется на глубину  $h$  до 0,01 м. Таким образом, построенные функциональные зависимости справедливы при разрушении твердых горных пород в уступном режиме дисковыми инструментами. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

*Хорешок А.А.* — доктор технических наук, профессор;

*Кузнецов В.В.* — кандидат технических наук, доцент;

*Борисов А.Ю.* — ассистент,

Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово, kuzstu@kuzstu.ru



---

ГОРНАЯ КНИГА

ISSN 0236-1493

# ГОРНЫЙ

**ИНФОРМАЦИОННО-  
АНАЛИТИЧЕСКИЙ  
БЮЛЛЕТЕНЬ**

*(НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)*

**MINING INFORMATIONAL  
AND ANALYTICAL  
BULLETIN**

*(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)*

**№ 9  
2011**

Журнал основан в 1992 г.

---

---

Журнал основан в 1992 г.

ISSN 0236-1493

# ГОРНЫЙ

**ИНФОРМАЦИОННО-  
АНАЛИТИЧЕСКИЙ  
БЮЛЛЕТЕНЬ**

*(НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)*

**MINING INFORMATIONAL  
AND ANALYTICAL  
BULLETIN**

*(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)*

ИТБ – КузГТУ  
Журнальный фонд

СЧЗ



**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«ГОРНАЯ КНИГА»**

**№ 9  
2011**

---



---

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель Л.А. ПУЧКОВ	– чл. - корр. РАН, президент МГТУ
Зам. председателя Л.Х. ГИТИС	– кандидат экономических наук, генеральный директор ассоциации «Мир горной книги»
Члены совета А.А. БАРЯХ	доктор технических наук, профессор, директор ПИ УрО РАН
Д.Р. КАПЛУНОВ	– чл. - корр. РАН, зав. Отделом ИПКОН РАН
А.В. КОРЧАК	– доктор технических наук, профессор, ректор МГТУ
В.Н. ОПАРИН	– чл. - корр. РАН, директор ИГД СО РАН
Л.Д. ПЕВЗNER	– доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой МГТУ
В.Л. ПЕТРОВ	– доктор технических наук, профессор, проректор МГТУ
А.Д. РУБАНИ	– чл. - корр. РАН, зам. директора ИПКОН РАН
И.Ю. РАССКАЗОВ	доктор технических наук, профессор, директор ИГД ДВО РАН
В.Л. ШКУРАТНИК	– доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой МГТУ

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Л.Х. ГИТИС	– генеральный директор ассоциации «Мир горной книги»
Зам. гл. редактора Н.А. ГОЛУБЦОВ	– коммерческий директор
Члены редколлегии А.А. АБРАМОВ	– советник, профессор МГТУ
В.И. АМИНОВ	– профессор, зав. кафедрой Петрозаводского ГУ
В.А. АГРУШКВИЧ	– профессор, директор Института усовершенствования горных инженеров, МГТУ
Е.В. ДМИТРИЕВА	– зам. директора издательства «Горная книга»
А.Б. ЖАБИН	– профессор Тульского ГУ
А.Б. МАКАРОВ	– профессор, зав. кафедрой РГТУ

## ПОПЕЧИТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ

Председатель А.В. КОРЧАК	– доктор технических наук, профессор, ректор МГТУ
Члены совета А.Н. ЛЕВЧЕНКО	– руководитель Департамента дорожно-мостового и инженерного строительства города Москвы
В.Е. ВАРШАВСКИЙ	– депутат Государственной Думы РФ
Г.Л. КРАСНЯНСКИЙ	– Председатель Российского организационного комитета Всемирного горного конгресса
Г.Ф. АЛЕКСЕЕВ	– Первый заместитель Председателя Правительства Республики Саха (Якутия)
А.Д. РУБАН	– чл. - корр. РАН, зам. директора ИПКОН РАН

## ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ

Председатель В.Л. ШКУРАТНИК	– профессор, зав. кафедрой МГТУ
Члены экспертного совета В.А. АТРУШКЕВИЧ	– профессор, директор Института усовершенствования горных инженеров, МГТУ
А.П. ВЕРЖАНСКИЙ	– профессор, зав. кафедрой МГТУ
Ю.В. КИРИЧЕНКО	– профессор, декан факультета МГТУ
Л.Д. ШИРОЧИН	– профессор, зав. кафедрой МГТУ
Е.Ю. КУЛИКОВА	– профессор МГТУ

## ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА

Австралия	– Л.Б. ПРЖЕДЕЛСКИЙ
Дальний Восток	– И.Ю. РАССКАЗОВ
Карелия	– В.Н. АМИНОВ
Монголия	– П. ОЧИРБАТ
Тула и Тульская область	– А.Б. ЖАБИН
Урал	– А.А. БАРЯХ
Якутия	– В.С. КВАГИНИДЗЕ

---

Секретариат ГИАБ

*Е.В. Дмитриева, О.Н. Киреева*

Рабочая группа:

Руководитель *Н.А. Голубцов*

Подготовка макета *Н.А. Голубцов, О.Н. Киреева, И.А. Вершинина*

Зав. производством *Н.Д. Урбушкина*

Дизайн оформления *В.Ю. Котов, Е.Б. Капралова, О.Ю. Долгошеева*

Инвестиционные проекты *Л.Х. Гитис, Н.А. Голубцов*

Государственное свидетельство

о регистрации ГИАБ в Роскомнадзоре

ПИ № ФС77-36292 от 19.05.2009

Решением Президиума ВАК журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

Все статьи ГИАБ рецензируются.

Редакция принимает решение о публикации по результатам рецензирования и имеет право отклонить статью без объяснения причин

Статьи публикуются в авторской редакции

Редакция не ведет переписки с авторами и не дает справок о прохождении статей

При перепечатке ссылка на ГИАБ обязательна

Электронная версия ГИАБ на сайте: [www.GIAB-online.ru](http://www.GIAB-online.ru)

**Подписной индекс издания**

в каталоге агентства «Роспечать» – **46466**

отдельные выпуски ГИАБ – **32777**

в каталоге АРЗИ «Пресса России» – **20983**

Подписано в печать 08.07.2011. Формат 70×100/16.

Бумага мелованная. Гарнитура «AGPresquire».

Печать офсетная. Усл. печ. л. 34,5. Тираж 1000 экз.

Изд № 2358 Заказ № 2221-11

119049 Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 6,

издательство «Горная книга»

тел. (499) 230-27-80; факс (495) 956-90-40;

тел./факс (495) 737-32-65

Отпечатано в ЗАО «Полиграф-защита»

115088, Москва, ул. Южнопортовая, д. 24, стр. 1

