

**П.Б. Герике, Б.Л. Герике**

## **ПОИСК ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРОЧНЫХ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ**

*Для извлечения полезных ископаемых применяются различные физико-механические и физико-химические методы отделения минерального сырья от горного массива. Значительные успехи, достигнутые при разработке угольных и соляных месторождений, обусловлены применением механического разрушения породного массива, но как уголь, так и каменная соль обладают незначительной прочностью. Статья посвящена изучению механических способов применительно к разрушению прочных породных массивов с  $\sigma_{СЖ} = 80...140$  МПа.*

*Ключевые слова: горный массив, механическое разрушение, рабочий инструмент горных машин*

---

**Н**а открытых разработках рыхлой горной породы при непрерывной механической добыче и доставке полезного ископаемого используются, главным образом, многоковшовые экскаваторы, роторные экскаваторы, компактные роторные экскаваторы и канавокопатели. Роторный и многоковшовый экскаваторы могут работать в грунтах I...III категорий. Компактные роторные экскаваторы могут применяться уже при экскавации полускальной породы с явно выраженной трещиноватостью (категория IV...V), а канавокопатели роторного типа фирмы Krippl могут применяться при экскавации горных пород с сопротивлением сжатию до 30 МПа (категория V...VI), а при сильной трещиноватости — даже до 80 МПа [1].

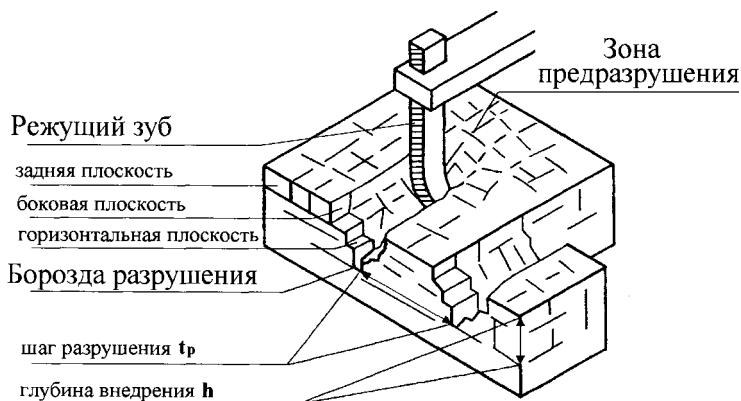
Технические методы экскавации различных разновидностей горных пород зависят от конструкции копающего инструмента, углов поворота и наклона зубьев ковша, от технических параметров снимаемой стружки (как, например, поперечный срез стружки или глубина экскавации). Экскавируемость горных пород зависит также от ее сопротивления одноосному сжатию и трещиноватости. Поэтому область применения экскавирующей добычи ограничена рыхлыми и полускальными породами с сильной трещиноватостью. Поскольку в этой работе исследуется процесс добычи крепких монолитных или слаботрещиноватых полезных ископаемых, который ограничен величиной прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж} \cong 130$  МПа, то

разграничение пород на рыхлые и скальные не используется, а процесс копания — не исследуется.

Для механической экскавации крепких горных пород возможно применение механического разрушения на основе экскаватора на гусеничном ходу или гидравлического экскаватора, оснащенного рабочим оборудованием с гидравлическими (пневматическими) перфораторами или тангенциальными режущими или оборудованием для гидроразрыва. Кроме того, рабочие органы машин для открытой разработки твердых полезных ископаемых могут быть оборудованы дисковым инструментом, который используется для вооружения туннелепроходческих машин для строительства туннелей в очень крепких горных породах. Рассмотрим более подробно механические способы разрушения.

### **Разрушение резанием**

Метод механической добычи полезных ископаемых на незначительных глубинах разработки — это разрушение его резанием, которое основано на воздействии клина вдоль плоскости спайности и зон ослабления горной породы. Для характеристики механической разрушаемости горной породы используют следующие параметры: сопротивление одноосному сжатию, прочность при растяжении и модуль упругости, но главным образом используют параметры связи, такие как естественные поверхности разлома, слоистость и трещиноватость [2].



**Рис. 1. Схематическое представление процесса разрушения горной породы резанием**

При разрушении резанием (рис. 1) в горной породе возникает горизонтальное сопротивление, препятствующее проникновению резца в направлении резания. Если горизонтальная сила недостаточна для преодоления сопротивления горной породы одноосному сжатию, то проникновение зуба обеспечивается усилием резания, при этом зуб будет глубже проникать в горную породу. Одновременно с этим формируется и вертикальная компонента, обусловленная упругими деформациями горной породы, которые вызываются проникновением резца в направлении внедрения, что обеспечивается согнутой формой зуба. После того, как разрушающий выступ зуба преодолеет прочность горной породы на растяжение, происходит отделение крупного осколка в сторону свободной поверхности [2].

В горных породах с естественной трещиноватостью<sup>1</sup> разрушающий выступ зуба, проникая в горную породу, вызывает, под действием усилия внедрения, развитие естественных микротрещин и их слияние в магистральную макротрещину, по которой и происходит отделение крупного элемента горного массива.

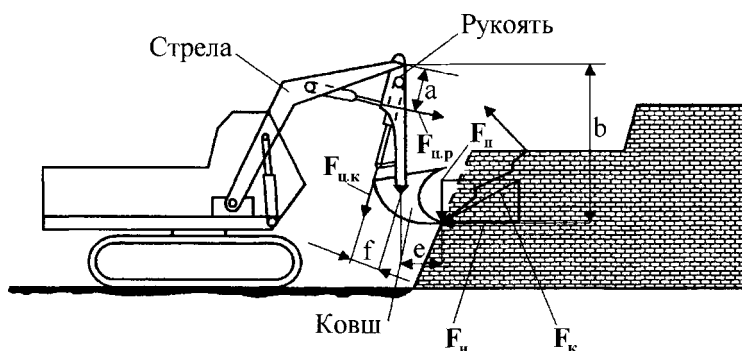
Глубина влияния поверхностей разреза, по меньшей мере, должна соответствовать глубине проникновения разрушающих зубьев (глубине копания). Наибольшая глубина снимаемой стружки при экскавации горных пород составляет примерно 2 м, а средняя — 0,5 м.

Вертикальное разрушение (рис. 2) возникает при использовании гидравлических экскаваторов с прямой механической лопатой<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Виттинг пишет, что механическая разрушаемость зависит, прежде всего, от параметров связи — слоистости и трещиноватости. Одновременно он проводит различие между естественной трещиноватостью и дефектами структуры горной породы. Виттинг использует оба этих понятия как синонимы для описания сильной и незначительной нарушенности горной породы, которые характеризуются наличием или поверхностей ослабления (скольжения), или различного рода нарушениями структуры разрушаемой горной породы (поверхности раздела, дислокации и т.п.).

<sup>2</sup> Большая применимость прямой механической лопаты в изменяющихся горно-геологических условиях обуславливается широким выбором параметров экскавации, что позволяет выполнять работы в заранее не разрыхленных горных породах. Разрыхленные (подготовленные) горные породы могут экскавироваться ковшами цепных или роторных экскаваторов.



**Рис. 2. Усилия, действующие на ковш прямой механической лопа- ты:**  $F_k$  — усилие копания;  $F_n$  — напорное усилие;  $F_p$  — подъемное усилие;  $F_{ц,к}$  — усилие на цилиндрековша;  $F_{ц,р}$  — усилие на цилиндре рукояти

Для проникновения ковша в ослабленные зоны горной породы необходимо напорное усилие, которое обеспечивается установленным на стреле гидроцилиндром. При достаточно развитой трещиноватости<sup>3</sup> усилие копания превосходит предел прочности при срезе на образующейся поверхности разреза<sup>4</sup>, и горная порода может срезаться в сторону свободной поверхности (уступа).

При незначительной трещиноватости эта сила будет недостаточна для отделения горной породы от массива только на основе увеличения глубины проникновения ковша в горную породу. Однако при помощи цилиндра ковша его можно повернуть вокруг оси рукояти. Возникающее при этом дополнительное усилие нагружает горную породу на растяжение и изгиб, что обеспечивает необходимую величину напряжений для среза горной породы на свободную поверхность. Сложение векторов напорного и подъемного усилий в итоге дает необходимую для экскавации силу копания, которая может быть использована машинистом экскаватора.

<sup>3</sup> При вертикальном разрушении глубина влияния поверхностей разреза должна соответствовать, по меньшей мере, глубине проникновения ковша в горный массив. В зависимости от размера ковша глубина проникновения может составлять более 1 м.

<sup>4</sup> Предел прочности при срезе — это способность горной породы противостоять касательным напряжениям вдоль поверхности разреза, возникающим при внедрении ковша в горный массив.

Для исследования механических свойств горных пород может быть использована, для предварительной оценки механической разрушаемости, сейсмическая рефракция, т. к. известны корреляционные зависимости между скоростями распространения сейсмических волн и прочностными характеристиками пород. Поскольку сейсмические волны затухают не только в границах пласта (слоя), но также и отражаются на границах раздела сплошности (трещиноватости), то можно оценить сплошность породного массива и его механическую разрушаемость. Область применения механического разрушения ограничивается V (скорость сейсмических волн  $< 1200$  м/с) ...VII (скорость сейсмических волн  $< 3000$  м/с) категориями горных пород со средней (или явно выраженной) трещиноватостью [2].

### **Ударное разрушение**

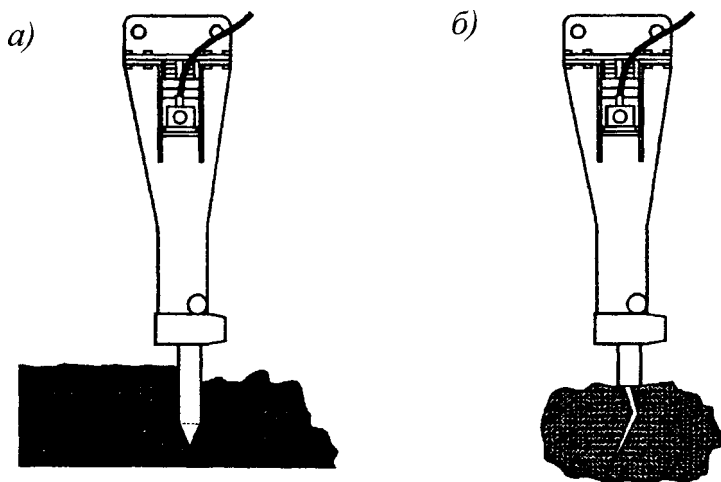
На открытых разработках монолитного горного массива применяется классическое ударное разрушение (с использованием пневматических или гидравлических молотов) для дробления (измельчения) негабаритов, которые образуются при взрыве. Между тем оно находит применение и при разработке крепких полезных ископаемых без буровых и взрывных работ.

Ударный механизм молота имеет ускорение около  $10 \text{ м/с}^2$  за счет гидравлической и (или) пневматической энергии, которая будет передаваться породоразрушающему инструменту в виде ударных импульсов. Упругая деформация сжатия инструмента формирует в горной породе ударные волны. В зависимости от типа молотка этот процесс повторяется с частотой от 300 до 2000 раз в минуту (от 5 до 33 Гц). В крепких горных породах с малой трещиноватостью работы ведутся с высокой энергией удара<sup>5</sup>, чтобы ударные волны в горной породе могли формироваться и распространяться со скоростью около 5000 м/с.

При проникающем разрушении (рис. 3.а) породоразрушающий инструмент внедряется, после преодоления сопротивления сжатию, в горный массив перпендикулярно к поверхности горной породы, имеющей свободную заднюю поверхность.

---

<sup>5</sup> Производительность молота следует понимать как произведение энергии удара на частоту ударов. При заявленной производительности молота высокая энергия удара возможна только при незначительной частоте ударов.



**Рис. 3. Механизмы разрушения при ударной добыче полезного ископаемого: а) проникающее разрушение; б) ударное скалывание**

Затем, под действием клиновой поверхности инструмента, идет развитие магистральной трещины в направлении этой свободной поверхности за счет действия формирующихся в горном массиве напряжений изгиба и растяжения.

При сильной трещиноватости и высокой степени нарушенности массива горных пород<sup>6</sup> сопротивление сжатию играет второстепенную роль, поскольку породоразрушающий инструмент не должен производить дополнительные трещины, а использует при раскалывании уже имеющиеся в горной породе поверхности разлома. Параметрами механической разрушаемости при ударе являются, следовательно, сопротивление одноосному сжатию, прочность на растяжение и характеристика трещиноватости, определяющая механически действенные поверхности разлома. Область применения проникающего разрушения — слабые и средней крепости горные породы, а также сильно трещиноватые, относящиеся к V...VI категориям. Поле разрушающего воздействия удара

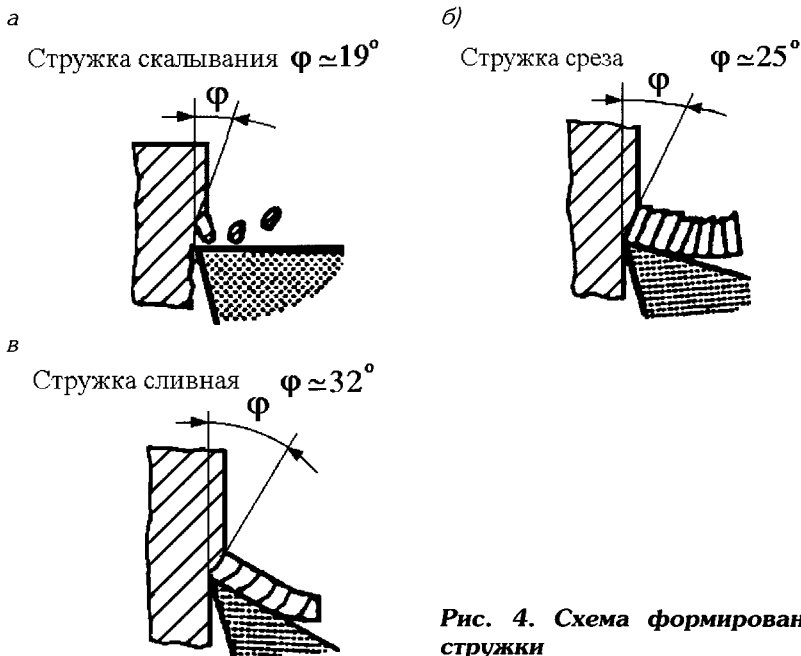
<sup>6</sup> В литературе не проводят различия между трещиноватостью и поврежденностью массива горных пород. Но так как степень поврежденности представляет собой более общую меру, то этот параметр будет определять механическую разрушаемость при ударе.

на горные породы лежит в дециметровой области<sup>7</sup>, что, по сравнению с экскавацией, приводит к грубому измельчению отбитого полезного ископаемого и уменьшению износа инструмента.

При ударном скалывании (рис. 3, б) в разрушаемом горном массиве с помощью тупого наконечника формируется область высоких сжимающих напряжений, перпендикулярных свободной поверхности горной породы. Разрушение может возникнуть только при незначительной прочности породы на разрыв.

### **Разрушение с применением вращающихся резцов**

В теории резания различают по способу образования три различных разновидности стружки (рис. 4): сливную стружку, стружку среза и стружку скалывания.



**Рис. 4. Схема формирования стружки**

<sup>7</sup> Под глубиной разрушающего воздействия понимают глубину проникновения породоразрушающего инструмента, которая может составлять от 0,3 до 0,5 м.

В отличие от классификации, принятой при обработке металлов резанием, когда режущий инструмент находится в постоянном контакте с обрабатываемой деталью, сливная стружка (рис. 4, в) формируется при сдвиговых деформациях разрушаемой горной породы, т.е. фактически сливная стружка образуется при её прерывистом резании.

Хотя резцы и находятся в постоянном контакте с разрушаемой горной породой, но стружка скалывания будет иметь нерегулярный характер (рис. 4, а) вследствие сильной неоднородности структуры горной породы.

Стружка среза (рис. 4, б) занимает промежуточное место, но также как и остальные типы стружек имеет прерывистый характер.

При принудительном движении режущего инструмента на нем реализуется мощность, расходуемая в разрушаемом материале на создание поля напряжений, которые по своей величине должны превосходить сопротивляемость материала резанию, складывающуюся из предела прочности при одноосном сжатии, предела прочности при растяжении и предела прочности при срезе. При разрушении горных пород резанием эта сопротивляемость будет целиком определяться пассивным сопротивлением горной породы.

Усилие резания состоит из суммы векторов силы резания и силы внедрения. Сила резания (рис. 5) действует в направлении резания. Она является касательной силой на вращающемся рабочем органе, на котором смонтирован резец<sup>8</sup>, производящий резание и вызывающий, за счет упругих деформаций породного массива, отжим горных пород. Сила внедрения действует в радиальном направлении относительно оси исполнительного органа и обеспечивает внедрение резца в горную породу и его удержание на заданной глубине.

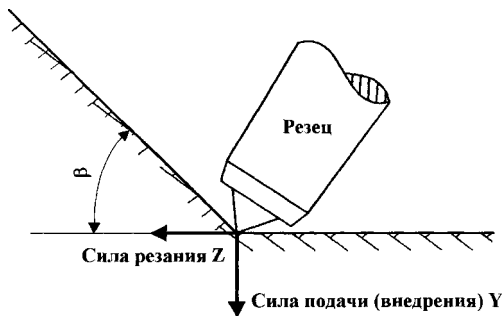
При рассмотрении одиночных резцов, работающих в полностью заблокированном режиме<sup>9</sup>, можно отметить, что вершина

---

<sup>8</sup> Здесь рассматриваются только вращающиеся резцы, так как плоские резцы, из-за меньшей износостойкости, не предназначены для добычи крепких полезных ископаемых.

<sup>9</sup> При полностью заблокированном резе резец производит разрушение массива с обеих сторон. При полублокированном резе одна боковая поверхность свободна (в ее сторону происходит разрушение породы главной режущей кромкой), а с другой стороны остается ненарушенный массив горной породы.





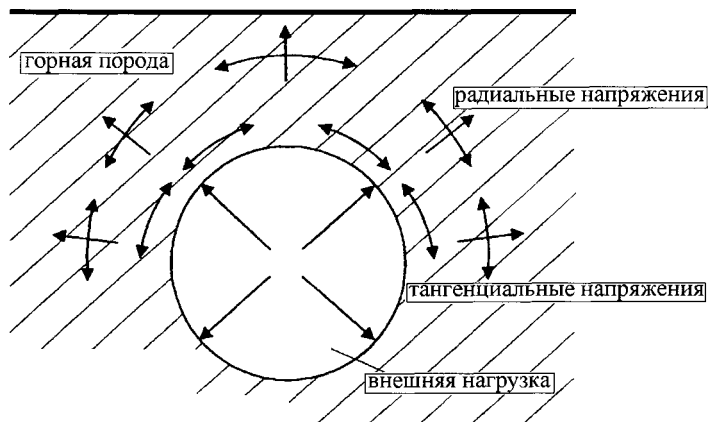
**Рис. 5. Схема сил, действующих на резце**

резца движется по основанию предыдущей стружки, причем выполняется, главным образом, упругая работа деформирования. После пре-

одоления сопротивления внедрению резца в породный массив под действием усилия подачи, начинают проявляться естественные локальные зоны ослабления массива, вследствие чего мелкие частицы материала начинают отделяться от массива горной породы в виде стружки скалывания. Естественные неоднородности массива, вызывающие неравномерность механических напряжений, приводит к образованию зародышевых трещин разрыва под лезвием инструмента, что приводит к локальным процессам движения дислокаций и дальнейшему проникновению резца в массив. При этом возникает, наряду с раздробленной структурой (зоны уплотненного ядра) в районе режущей кромки резца, поле сложного напряженного состояния горной породы, в котором помимо напряжения сжатия, образуются и зоны растяжения, редуцированные уплотненным ядром. В каждый определенный момент времени в массиве горной породы существует сечение, характеризующее своим распределением поля сжимающих и растягивающих напряжений (рис. 6).

В пределах этой зоны преобладающими являются напряжения сжатия, которые воздействуют на близлежащие горные породы. Вызываемые телом резца деформации сдвига в массиве горных пород порождают, в свою очередь, радиальные напряжения сжатия, а также перпендикулярные им тангенциальные напряжения.

Если величина напряжений этого комбинированного поля деформаций превосходит прочностные характеристики горной породы, то начинается слияние микротрещин в макротрещину разрыва и ее катастрофическое развитие, приводящее к отделению осколка. Рост макротрещины при этом происходит со скоростью более чем 1000 м/с.



**Рис. 6. Схема напряжений, возникающих в горной породе вблизи от точки входа резца в массив**

Разрушение структуры материала означает преобразование энергии, причем незначительная ее часть расходуется на собственно снятие стружки, а большая часть необходима для образования уплотненного ядра сжатия у вершины резца и преодоления внутреннего трения скольжения. Поэтому, с энергетической точки зрения, более выгоден процесс, при котором затраты энергии на переизмельчение горной породы и создание уплотненного ядра минимальны. Это возможно в том случае, если разрушаемый массив будет деформирован таким образом, чтобы образовался хрупкий излом, т.е. разрушение горной породы должно происходить сколом.

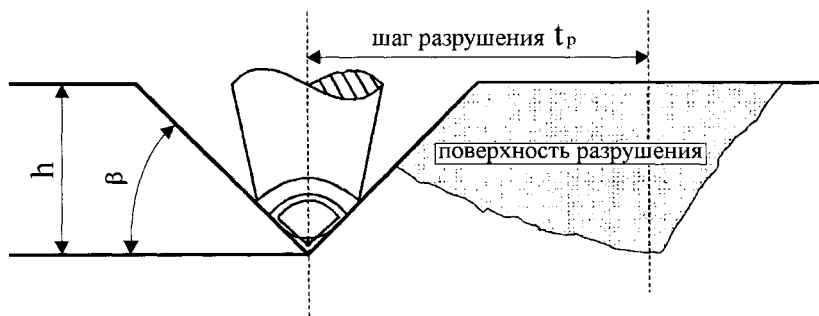
Кроме того, разрушение горной породы должно производиться, как минимум, двумя инструментами, расположенными последовательно в соседних линиях резания. В то время как первый резец для создания свободной поверхности должен (если он не использует свободную поверхность, образованную предыдущим резом) разрушать горную породу срезом, создавая при этом переизмельченное уплотненное ядро, следующий резец имеет возможность разрушать горную породу по механизму хрупкого излома в направлении образованной свободной поверхности. Поскольку хрупкое разрушение является деформационным изломом, при котором образование разрыва сплошности структуры происходит при напряжениях, лежащих го-

раздо ниже предела текучести, то скорость нагружения и вид напряженного состояния являются основными факторами, определяющими характер хрупкого излома горных пород. Наиболее отчетливо эффект хрупкого разрушения будет проявляться в плоскости, параллельной свободной, механически действенной, естественной поверхности.

Из практики проектирования рабочих органов добывающей техники известно, что шаг набора инструментов (шаг разрушения)  $t_p$  принимается примерно равный двойной глубине внедрения  $h$  (рис. 7). Однородные горные породы с показателем хрупкости<sup>10</sup> больше 10 разрушаются, как правило, при полностью заблокированном резе под углом  $\beta \approx 45^\circ$ . В горных породах с показателем хрупкости  $\chi \leq 10$  этот угол увеличивается [3].

Сопrotивляемость резанию определяется, главным образом, сопротивлением одноосному сжатию, прочностью на растяжение и показателем хрупкости. Поэтому на ее величину будут оказывать существенное влияние механически действенные поверхности разреза, существующие в массиве горных пород.

Наряду с рабочими органами добычных и проходческих машин этот тип рабочего инструмента находит применение на фрезерующих исполнительных органах машин для открытой разработки полезных ископаемых (добывающих поверхностных



**Рис. 7. Параметры разрушения горной породы резцом:**  $\beta$  — угол развала борозды;  $h$  — глубина внедрения

<sup>10</sup> Показатель хрупкости указывает отношение предела прочности на одноосное сжатие к пределу прочности на растяжение  $\chi = \sigma_{сж}/\sigma_p$ .

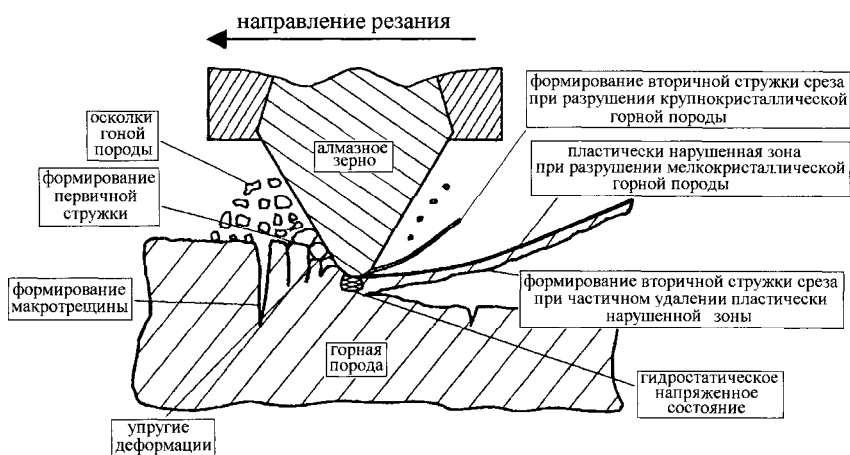
фрезях — ДПФ). В зависимости от типа применяемого инструмента добывающие поверхностные фрезы могут быть использованы для обработки горных пород, относящихся к IV...VIII категориям [4]. Область применения вращающихся резцов гораздо более широкая, чем у инструмента, основанного на ударном разрушении, или обычных плоских резцов. Техническая граница применения фрезерующих рабочих органов для добычи крепких полезных ископаемых ограничена, с одной стороны прочностью разрушаемых пород ( $\sigma_{сж} \leq 80$  МПа,  $\chi \geq 10$ ), а с другой — хрупким изломом (вырывом) крупных породных блоков, который требует специальных технологических решений, блокирующих данный процесс.

### **Разрушение алмазным инструментом**

Отдельный алмаз действует при нагрузке как наконечник твердомера, т.е. под ним происходит пластическая деформация разрушаемой горной породы. При дополнительном приложении нагрузки (придание инструменту вращения) горная порода срезается. Если разрушаемый горный массив обладает очень высокой хрупкостью и жесткостью, то его разрушение происходит под действием напряжений сжатия в виде выламывания осколков горной породы вдоль линии действия максимальных касательных напряжений. При этом наиболее важными характеристиками горной породы, определяющими категорию ее буримости, являются ее прочность при растяжении и предел прочности при срезе.

Отдельные лунки, образуемые при этом процессе, превышают глубину проникновения отдельных алмазных зерен в горную породу. Вследствие больших отрицательных углов резания перед алмазом образуются микротрещины. Наряду с микротрещинами в массиве горной породы образуются макротрещины (рис. 8), формирующиеся под алмазным зерном (видимая невооруженным глазом трещиноватость на топографии забоя).

Границы зерен, вследствие отчетливой их минерализации, а также легко растрескивающиеся по границам раздела отдельности горной породы, интенсифицируют процесс разрушения вдоль линии действия максимальных касательных напряжений, а также усиливают процесс образования макроскопических кратеров вырывов породы. Чем менее хрупкая горная порода, тем характернее проявление пластической дефор-



**Рис. 8. Схема разрушения горной породы алмазным инструментом**

мации массива под алмазным зерном. Горные породы при внешнем воздействии ведут себя как при гидростатическом давлении, переходя от характерного хрупкого излома к пластическому течению материала. Эти всесторонние напряжения сжатия, а также высокие температуры в зоне контакта «алмаз — горная порода» приводят к локальной ползучести горного массива. Под алмазом обычно понимают либо микроскопические осколки ювелирных камней, получаемые при их огранке, либо речь идет о синтетических промышленных алмазах.

Механическая буримость определяется при разрушении горных пород резанием с помощью алмазного инструмента, главным образом, пределом прочности при растяжении и пределом прочности при срезе, а также абразивностью. Плоскости спайности отдельных кристаллов, лежащие параллельно плоскости снимаемой стружки, могут увеличивать производительности разрушения, поскольку разрушение в этом случае происходит сколом, а не пластическим деформированием.

Кварц, из-за своей высокой твердости и монокристаллической структуры, плохо режется алмазными инструментами. Поэтому горные породы, содержащие высокий процент мелкодисперсного кварца, вызывают повышенный износ алмазного инструмента, проявляющийся в разрушении связки и выкрашивания алмазных зерен.

Весьма важным параметром, определяющим технические возможности метода разрушения на основе использования алмазного инструмента, является достаточная подача воды для охлаждения инструментов и выноса продуктов разрушения.

В качестве алмазных инструментов в горной промышленности используются для обработки поверхности горных пород VI...IX категории буримости (табл. 2.2) циркулярные, рамные, канатные и ленточные пилы, алмазные буровые долота и инструменты для колонкового бурения, а также цепные врубовые машины. Алмазы, используемые для оснащения бурильных головок, находятся в постоянном контакте с буримой горной породой. У алмазных пил в контакте с обрабатываемой поверхностью горной породы находится только небольшой сегмент каната или режущего диска. Из этого следует и различие в скоростях взаимодействия (при обработке гранита алмазной буровой коронкой скорость взаимодействия составляет 1...4 м/с, для циркулярной пилы она составляет 20...30 м/с, а для канатной пилы — 30 м/с).

В карьерах, где происходит добыча штучного камня (мрамор и гранит), алмазные канатные пилы используются в качестве альтернативы для буровзрывных работ при первичном отделении блоков от массива и их вторичной обработке. Во-первых, процесс пиления является непрерывным, во-вторых, отделяемый штучный камень имеет правильную форму и, наконец, в-третьих, отделение блока материала от массива горной породы происходит с очень незначительными потерями полезного ископаемого при образовании щели.

В ближайшем будущем при подземной разработке золота в ЮАР предполагается использовать, для уменьшения разубоживания, алмазные канатные пилы при отделении золотосодержащей руды от пустой породы. С целью уменьшения разубоживания, вследствие обвалов пустой породы, на английской флюоритовой шахте «Milldam Mine» проводились эксперименты по отделению флюорита от пустой породы с помощью фрезерно-отрезного станка [5].

Стационарные фрезерно-отрезные алмазные станки будут применяться при подготовительных работах на карьере для добычи штучного камня. Стационарные фрезерно-отрезные алмазные станки применяются при подземной разработке сланца для отделения сланцевых блоков от горного массива.

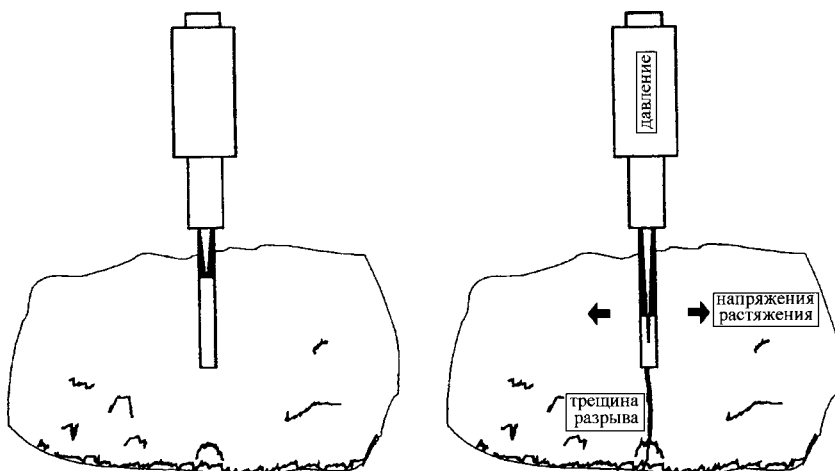
### **Щелевое разрушение**

Для городского строительства и архитектуры необходимо иметь по возможности целый и невредимый блок горной породы, который может быть добыт при щелевом разрушении массива горных пород.

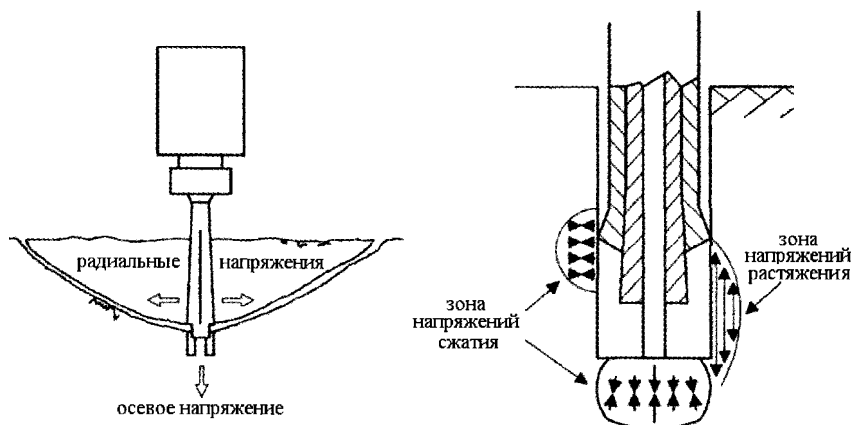
Речь идет о циклическом процессе, поскольку, прежде всего, в массиве должны быть пробурены отверстия, а затем по ним должно быть инициировано расщепление с помощью клина, или гидравлического (пневматического) устройства, создающего щель в камне. Естественные трещины и разрывы сплошности, существующие в породном массиве, а также пробуренные отверстия задают направление разрыва.

Перпендикулярно к направлению щели действует давление (рис. 9), которое создает напряжения растяжения в горной породе. При преодолении прочности на растяжение горная порода разрушается в направлении образующейся магистральной трещины. Так как горная порода в процессе метаморфизма часто бывает подвержена дополнительным тектоническим нагрузкам, создающим дополнительные напряжения в массиве, то для их снятия отделяемый блок должен быть разгружен. Этого можно достичь с помощью трех, по меньшей мере, свободных поверхностей. Расстояние между просверленными шпурами, их количество и глубина должны соответствовать механической разрушаемости горной породы, определяющим параметром которой является прочность на растяжение. Область применения этого процесса — породы VII...IX категории.

Модернизация этого метода привела к созданию так называемого шпурового отрыва радиально-осевого осколка горной породы, который может быть реализован при использовании свободной задней поверхности (например, образованной за поверхностью проходческого забоя с помощью щелеобразователя и пакера). После бурения скважины в ней с помощью щелеобразователя прорезается зародышевая инициирующая трещина, вставляется пакер и создается давление флюида (рис. 10). Напряжения сжатия приводит к формированию растягивающих напряжений в горной породе между забоем буровой скважины и свободной поверхностью, возникающих из-за разложения сил на образованном конусе. В горной породе образуются макротрещины разрыва, которые распространяются в сторону свободной обнаженной поверхности и приводят к отрыву осколка горной породы, имеющего форму кратера [6].



**Рис. 9. Схема разрушения при гидростатическом разрыве**



**Рис. 10. Схема разрушения при радиально-осевом разрыве**

### **Разрушение дисковым инструментом**

В настоящее время, как единственная альтернатива для отделения очень крепких горных пород от массива, предлагается использовать дисковый скалывающий инструмент<sup>11</sup>, которыми

<sup>11</sup> Дисковый скалывающий инструмент будет в дальнейшем сокращенно упоминаться как диск.

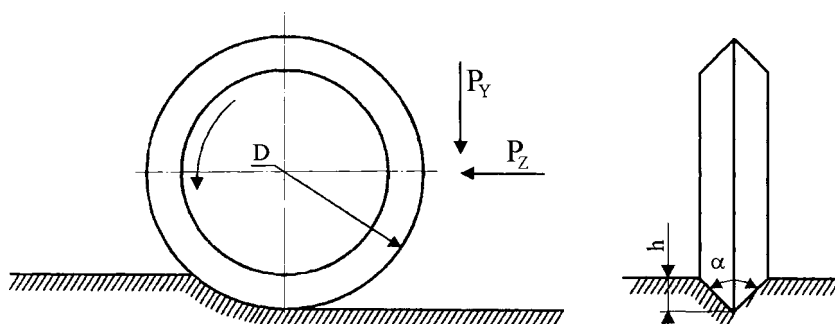


оснащают буровые туннелепроходческие машины [7, 8, 9]. Потенциальная возможность разрушения горных пород, обладающих сопротивлением одноосному сжатию до 300 МПа, свидетельствует о перспективности этого типа инструмента для создания добывающей техники, способной разрушать весьма крепкие породные массивы (IX категория пород).

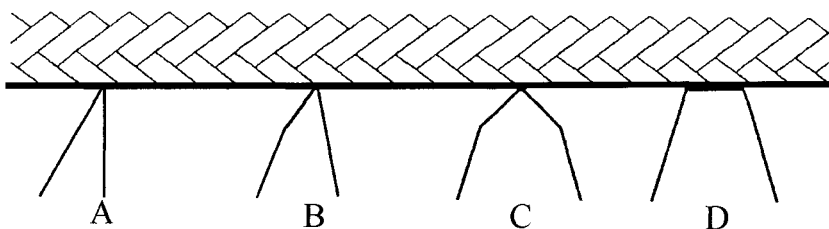
Диск, поворачиваясь вокруг мгновенного центра вращения, производит внедрение в разрушаемую горную породу, создавая в ней давление, приводящее к отделению от массива крупных осколков. При этом наблюдается скольжение лезвия диска относительно разрушаемого массива, однако износостойкость дисков значительно выше, чем вращающихся резцов за счет протяженной режущей кромки [10].

Однако для того, чтобы диск мог внедряться в горную породу необходимо иметь значительно большее усилие внедрения из-за протяженности линии контакта с разрушаемым массивом. Поэтому усилие подачи рабочего органа туннелепроходческих комбайнов, оборудованных дисками, должно быть очень большим, для чего используется распорно-шагающий механизм подачи. На рис 11 приведены геометрические и силовые параметры, характеризующие взаимодействие дисков с породным массивом.

На первых этапах разработки конструкции дисков для подземной добычи угля их тело представляло собой усеченный конус с углом заострения режущей кромки до  $30^\circ$  (рис. 12А).



**Рис. 11. Параметры дискового инструмента:**  $D$  — диаметр;  $\alpha$  — угол заострения;  $h$  — глубина внедрения;  $P_Y$  — усилие внедрения;  $P_Z$  — усилие перекачивания



**Рис. 12. Формы режущей кромки дискового инструмента**

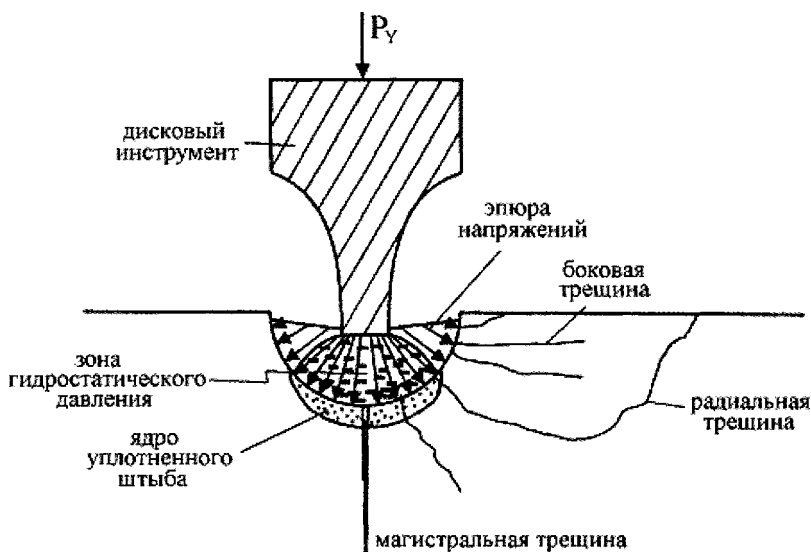
Однако уже при первых испытаниях, во время встречи инструмента с твердыми породными включениями и прослойками, была отмечена такая нагрузка, при которой режущая кромка выкрашивалась или отмечался высокий износ [11]. Поэтому в дальнейшем была изменена конструкция режущей кромки. Она была образована пересечением двух конических поверхностей с различными (асимметричные диски с углом заострения режущей кромки до  $45^\circ$ , рис. 12B) [12] или одинаковыми (симметричные диски с углом заострения режущей кромки до  $90^\circ$ , рис. 12C) образующими углами [13]. Такое изменение конструкции привело к устранению изломов и выкрашивания режущей кромки, что позволило производить добычу даже при сильно изношенной режущей кромке. Это позволило создать режущие кромки дисков постоянной ширины (рис. 12D), обеспечивающие не только постоянную нагрузку на диски время всего срока эксплуатации, но и равномерную, независимо от степени износа отдельных дисков [14], нагрузку на рабочем органе [15].

В результате экспериментов Дж. Ростами и Л. Оздемира [10] было установлено, что после внедрения диска в разрушаемый массив под его лезвием образуется уплотненное переизмельченное ядро (рис. 13).

Это ядро состоит из очень тонкого (пылевого) материала горных пород, находящегося в состоянии гидростатического сжатия под действием высоких напряжений, формирующихся на лезвии инструмента. Крупность материала уплотненного ядра возрастает от центра к периферии. Размер зоны уплотненного ядра зависит от геометрии режущей кромки и свойств горной породы. Распределение давления внутри ядра точно не известно, но принято считать, что оно подобно гидростатическому давлению [3].

Созданное под ядром напряжение сжатия приводит к возникновению в массиве напряжений растяжения, вызывающих разрушение (сдвиг) материала со стороны конической поверхности диска в сторону свободной поверхности.

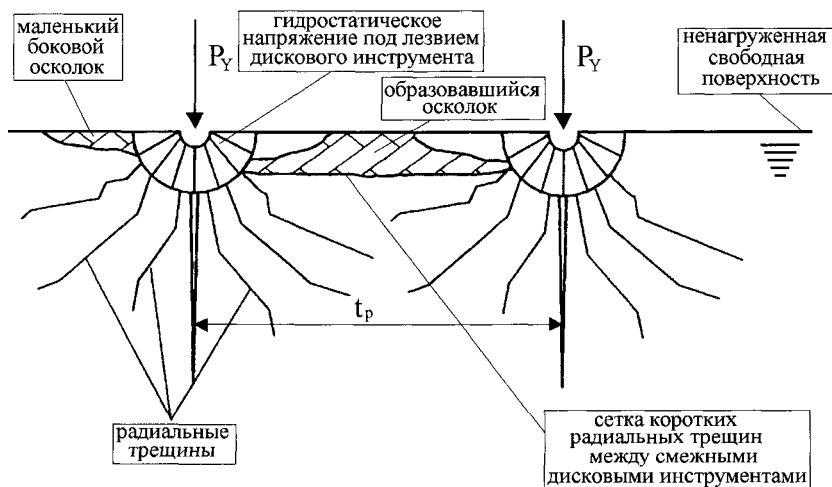
При этом в массиве горной породы возникают магистральные трещины разрыва. Л. Оздемир утверждает, что развитие этих трещин идет всегда в направлении самого минимального сопротивления горных пород разрушению [10]. Линдквист подразделяет эти трещины на магистральные, радиальные и боковые трещины разрыва. Длина этих трещин зависит от свойств разрушаемого материала, усилия и глубины заходки диска [15]. Так, например, при внедрении в гранит на глубину менее 7 мм с усилием до 200 кН создается трещина свыше 10 мм. Но если в породном массиве имеются зоны ослабления (концентраторы деформаций), такие как складчатость, естественная трещиноватость или свободные поверхности (например, вызванные разрушением в соседней линии резания), эти трещины могут развиваться в глубину горной породы значительно дальше [16].



**Рис. 13. Схема зоны разрушения и формирования трещины разрыва под лезвием одиночного дискового инструмента**

Из этого следует, что при разрушении породного массива диском сильное влияние оказывает предыстория разрушения (проход предыдущего инструмента, шаг разрушения, глубина внедрения за один проход). Такой режим разрушения назван симультанным (одновременным). В этом случае разрушение происходит следующим образом (рис. 14): после внедрения диска в горную породу и создания в ней нарушенной зоны в массиве формируются боковые трещины растяжения, направленные в сторону обнаженной поверхности. Если одна или более боковых трещин, образуемых под лезвием смежных дисков, сливаются или достигают свободной поверхности, то происходит отделение осколка горной породы [3, 16].

Механическая разрушаемость горных пород дисками будет определяться сопротивлением одноосному сжатию, хрупкостью и абразивностью. С возрастанием сопротивления горных пород одноосному сжатию должно увеличиваться потребное усилие внедрения [3, 18]. Хрупкость горной породы определяет величину формирующихся радиальных трещин, и в породах с высокой хрупкостью возникают, как правило, только очень плоские осколки (рис. 14). Разумеется, шаг набора дисков на исполнительном органе с возрастанием хрупкости разрушаемого породного массива может выбираться бульшим. В горных

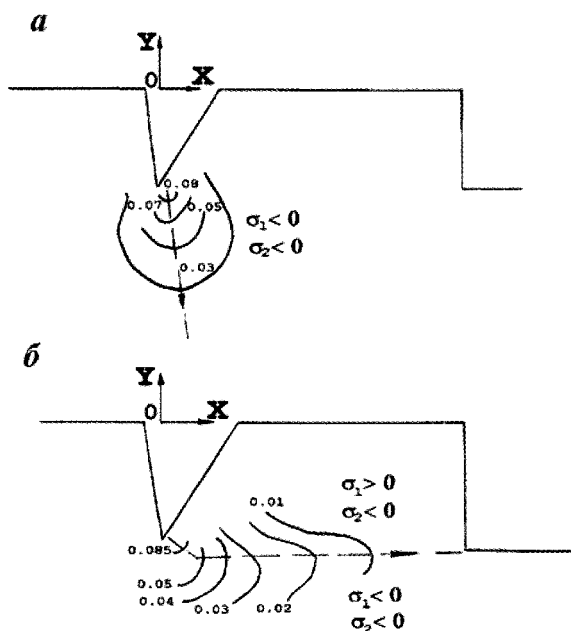


**Рис. 14. Схема разрушения горной породы под лезвием симультанного дискового инструмента**

породах со средним показателем хрупкости  $\chi = 10$  возникают более короткие боковые трещины, выходящие на свободную поверхность и приводящие к блокированию разрушения [18] (см. рис. 13). Шимазек утверждает [10], что износ дисков зависит от содержания в структуре горной породы острых осколков минералов и величины её зернистости. В отличие от вращающихся резцов, сопротивление сжатию и хрупкость разрушаемой породы не оказывает значащего влияния на износ.

Туро описывает влияние ориентации поверхностей раздела на внедрение рабочего органа туннелепроходческой буровой машины с расположенными на нем дисками. Способность к внедрению рабочего органа будет максимальной при диагональном расположении поверхностей раздела к оси туннеля [19]. Йоханессен отмечал, что проникающая способность дисков стремится к максимуму, если угол между поверхностями раздела и направлением подачи диска составляет около  $45^\circ$ . Впоследствии было доказано, что этот угол должен составлять  $\approx 60^\circ$ . На основании этого Йоханенссен установил, что при перпендикулярном расположении поверхностей раздела, относительно направления подачи диска, проникающая способность диска не может быть увеличена [20]. Это объясняется тем, что магистральные трещины, образующиеся под лезвием диска, могут распространяться только до перпендикулярно расположенных поверхностей раздела. Положительный эффект угловой ориентации этих поверхностей разреза можно пояснить с помощью примера, приведенного на рис. 14. Образование осколка происходит вследствие слияния боковых трещин. Под действием сжимающих напряжений в породном массиве формируется поле напряжений растяжения, обусловленное естественными концентраторами напряжений (поверхности раздела, трещины и т.п.). Наличие естественных поверхностей раздела может, как и при резании, влиять на механическую разрушаемость вследствие повышения проникающей способности дисков в породный массив.

Анализ новейших исследований по вопросам создания и взаимодействия породоразрушающего инструмента с горным массивом показывает, что исключительно хорошую перспективу при разрушении крепких пород с сопротивлением одноосному сжатию  $\sigma_{сж} = 80...140$  МПа имеет дисковый инструмент, работающий в режиме силового малоциклового разрушения.



**Рис. 15. Направление роста макротрещины под лезвием асимметричного диска при силовом малоцикловом разрушении**

Результаты исследований процесса силового малоциклового разрушения показали, что после первого прохода диска под лезвием инструмента образуется зона сжатия с одноименными знаками главных напряжений

$\sigma_1 < 0$ ,  $\sigma_2 < 0$ , где макротрещина образуется по сдвиговому механизму и направлена вглубь массива (рис. 15, а).

При повторном проходе, если поверхность разрушения не выходит на обнажение, зона сжатия перемещается в этом же направлении, т.е. происходит подрастание трещины. Трещина выходит на обнаженную поверхность после, например, последующего прохода диска с образованием зоны разноименных знаков главных напряжений  $\sigma_1 > 0$ ,  $\sigma_2 < 0$  (рис. 15, б), где разрушение происходит отрывом и сдвигом с преобладающим влиянием главных растягивающих напряжений в хрупких породах и уменьшением их влияния с увеличением вязкости разрушаемого материала. Развитие трещины в массиве зависит от шага разрушения  $t_p$ , суммарной глубины внедрения  $h_{\Sigma}$ , количества проходов инструмента до момента разрушения  $N$ , хрупкопластических свойств материала  $\chi$  и места положения угла выступа обнажения (концентратора напряжений).

Эффективное разрушение горных пород дисковым инструментом в режиме силового малоциклового разрушения (трещина выходит в угол обнажения) осуществляется при внедре-

нии в массив с относительным шагом разрушения  $t_p/h_\Sigma = 3,5 \dots 4,5$  и числе циклов нагружения (количестве проходов инструмента до момента разрушения)  $N = 2 \dots 4$ . Эти соотношения зависят от упруго-пластических свойств разрушаемой среды и составляют  $t_p/h_\Sigma = 4,5$  и  $N=2$  для хрупких пород ( $\chi \approx 0,05$ ),  $t_p/h_\Sigma = 4,0$  и  $N=3$  — для пород средней хрупкости ( $\chi \approx 0,11$ ) и  $t_p/h_\Sigma = 3,5$  и  $N = 4$  — для вязких горных пород ( $\chi \approx 0,22$ ).

Результаты производственных испытаний дискового скалывающего инструмента на очистных комбайнах при добыче руд цветных и благородных металлов [12], а также при выемке угольных пластов сложного строения [21] убедительно свидетельствуют не только о возможности, но и о практической целесообразности вооружения рабочих органов высокопроизводительных машин послойного фрезерования на открытых горных работах подобным инструментом. Удельная энергоёмкость разрушения пород дисковым инструментом в режиме силового малоциклового разрушения почти на порядок ниже по сравнению с потребными энергозатратами для разрушения тех же пород резцовым инструментом. Высокая износостойкость дискового инструмента, незначительное пылеобразование, а также возможность передачи на забой бульшей, по сравнению с режущим инструментом, энергии позволяет проектировать машины послойного фрезерования для пород с пределом сопротивления одноосному сжатию  $\sigma_{сж} = 90 \dots 120$  МПа и это при номинальной технической производительности  $Q = 800 \dots 1000$  м<sup>3</sup>/час.

Разрушение породных массивов дисковым инструментом характеризуется высокими напорными усилиями, однако машины для поверхностного фрезерования обладают достаточно большой собственной массой, которая может быть реализована для создания необходимого напорного усилия.

Одно из важнейших достоинств дискового инструмента заключается в том, что скол породы происходит перпендикулярно направлению отработки, т.е. вектор скалывающего усилия перпендикулярен силе резания. Такое разложение сил на исполнительном органе предотвращает образование негабаритов в процессе разрушения. Из опыта эксплуатации машин для послойного фрезерования, исполнительные органы которых оснащены резцовым инструментом, известны проблемы образо-

вания негабаритов [22] в тех случаях, когда равнодействующая сила на породоразрушающем инструменте направлена в сторону обнаженной поверхности.

Характеристики рабочих органов машин для послыйного фрезерования, оснащенных дисковым инструментом, делают этот экологически щадящий класс горной техники более чем конкурентоспособным с буровзрывным способом разработки и незаменимым при обработке тонких пластов крепких полезных ископаемых.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров. М.: Горная книга, 2007. — 678 с.
2. Witting H. Grundlagenuntersuchungen und Modellbetrachtungen zur reifenden Gewinnung in Tagebauen. Dissertation, Clausthal. 2004/
3. Frenyo P.; Henneke J. Gegenwärtigen Stand und mögliche Entwicklung der Teilschnitt-Vortriebstechnik. In Glückauf. — Essen 133 (1997) 3, S. 79-84.
4. Cohrs H.H. Surface Miner. In: Bergbau 11/95, S. 498-503.
5. Shaw C.T. Future developments in stopping methods with special reference to non-explosive methods of rock breaking. Tagungsband des Leobener Bergmannstages 1987: Bergbau im Wandel. Verlag Glückauf GmbH. S. 409-414.
6. Anderson S.J. Drill-split — a versatile technology. In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Mine Mechanization and Automation, Golden, Colorado, USA, June 12-14, 1995, S. 16/37-16/49.
7. Evans A.G., Wilshaw T.R. Quasi-static solid particle damage in brittle solids//Acta Met. — 1976. — V.24, №10. — P.939-956.
8. Lindquist P. — A.; Shao-Quan, K; Tan, X. Conceptual model of crack structure in rock caused by mechanical excavation. Project Report 44-94-022, Svensk Kärnbränslehantering AB, Box 5864, S.10-248. Stockholm, Juni 1994.
9. Thuro K.; Spaun G. Drillability in hard rock drill and blast tunneling. In: Felsbau 14 (1996), Nr. 2, S. 103-109.
10. Rostami J.; Ozdemir L. A new model for performance prediction of hard rock TBMs. In: RETC Proceedings, Boston MA, 1993, S. 793-809.
11. Герике П.Б. Обзор методов разрушения применительно к созданию рабочего органа машины для поверхностного фрезерования крепких полезных ископаемых.// ИУУ СО РАН. — Кемерово. — 2004. — 62 с.
12. Герике Б.Л. Разрушение крепких горных пород дисковым скальвающим инструментом очистных комбайнов. Дисс. ... докт. техн. наук./ИУ СО АН СССР. — Кемерово. — 1991. — 393 с.
13. Лазуткин А.Г. Создание проходческого комбайна с ударным исполнительным органом по многолетнемерзлым россыпям./ А. Г. Лазуткин, В. В. Нордин, Ф. Э. Цель // Машины ударного действия для горнодобывающей промышленности: Сб. науч. тр. — Караганда, 1987. — С. 69—72.



14. Крауч С., Старфила А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. — М.: Мир, 1987. — 328 с.
15. Lindquist P. — A.; Shao-Quan K; Tan X. Conceptual model of crack structure in rock caused by mechanical excavation. Project Report 44-94-022, Svensk Kärnbränslehantering AB, Box 5864, S.10-248. Stockholm, Juni 1994.
16. Rudolw W. u. a. Krupp Surface Miner KSM 2000R im russischen Tagebau. In Braunkohle. — Clausthal 48 (1996) 4, S. 357-362.
17. Maier H.; Jolas P. Geotechnische Schwerpunkte bei der Verkippung von Kesselstrukturen im Tagebau Profen./Surface Mining. Braunkohle&Other Minerals. #.2, 2001. S.207-214.
18. Полкунов Ю.Г. Циклическое разрушение крепких пород инструментами горных машин, формирующими трещины нормального разрыва. Дисс. на соискание степени докт. наук. Кемерово, КузГТУ. 2000 г. — 515 с.
19. Spachholz, F.H. Einsatzmöglichkeiten des Surface Miner und erste Erfahrungen außerhalb der Kohle. In Braunkohle. — Clausthal 49 (1997) 2, — S. 137—149.
20. Johannessen O. Hard rock tunnel boring. Project report 1-94. NTH, University of Trondheim, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, March 1995.
21. Логов А.Б. Механическое разрушение крепких горных пород./ А.Б. Логов, Б.Л. Герики, А.Б. Раскин — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. — 141 с.
22. Штейнцайг Р.М. Опыт и перспективы применения КСМ-2000Р на разрезе «Талдинский»./ Р. М. Штейнцайг, С. К. Коваленко// НПК «Гелюс Лтд.» — М. — 1997. — 147 с. **ГИАБ**

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Герики Борис Людвигович* — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории угольного машиноведения, gbl\_42@mail.ru,  
*Герики Павел Борисович* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории угольного машиноведения,  
Институт угля СО РАН.



---

ГОРНАЯ КНИГА

ISSN 0236-1493

ГОРНЫЙ ИНЖЕНЕР

# ГОРНЫЙ

ИНФОРМАЦИОННО-  
АНАЛИТИЧЕСКИЙ  
БЮЛЛЕТЕНЬ

(НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)

MINING INFORMATIONAL  
AND ANALYTICAL  
BULLETIN

(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)

ОТДЕЛЬНЫЙ  
ВЫПУСК 2

2012

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ГОРНО-ТРАНСПОРТНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

---

---

Журнал основан в 1992 г.

ISSN 0236-1493

**ГОРНЫЙ ИНЖЕНЕР**

# ГОРНЫЙ

**ИНФОРМАЦИОННО-  
АНАЛИТИЧЕСКИЙ  
БЮЛЛЕТЕНЬ**

*(НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ)*

**MINING INFORMATIONAL  
AND ANALYTICAL  
BULLETIN**

*(SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL)*

**ПЕРСПЕКТИВЫ  
РАЗВИТИЯ ГОРНО-  
ТРАНСПОРТНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

**ОТДЕЛЬНЫЙ  
ВЫПУСК 2**

**2012**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«ГОРНАЯ КНИГА»**

---

УДК 622.271; 622.002.5; 622.676-82; 622.333;  
622.285; 678.4; 622.86  
ББК 65.247  
П26

*Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253-03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124-94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953. Д.014367.12.11*

**Перспективы развития горно-транспортного оборудования:**  
П26 Сборник статей - 2012 г. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analytical bulletin (scientific and technical journal).— М.: Издательство «Горная книга».— 2012.— № ОВ 2. — 296 с.

ISSN 0236-1493 (в пер.)

В сборник вошли материалы Международной научно-практической конференции «Перспективы развития горно-транспортного оборудования», проведенной в Учебно-научно-производственном Центре «СТРОЙГОРМАШ» 23-24 апреля 2012 года. Работы выполнены учёными, сотрудниками и специалистами научных, проектных институтов, ВУЗов, горнодобывающих компаний России. Сборник представляет интерес для научных, инженерно-технических работников, аспирантов научных институтов, проектных организаций, горных предприятий и студентов вузов.

УДК 622.271; 622.002.5; 622.676-82; 622.333;  
622.285; 678.4; 622.86  
ББК 65.247

ISSN 0236-1493

© Коллектив авторов, 2012  
© Издательство «Горная книга», 2012  
© Дизайн книги.  
Издательство «Горная книга», 2012

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

<b>Клишин В.И., Кокоулин Д.И., Клишин С.В., Гуртенко А.П.</b> Исследование характера изменения прочности бурового става в зависимости от режимов бурения и глубины скважин.....	9
<b>Миронов В.И., Лукашук О.А., Савинов Д.В.</b> Способ оценки долговечности элементов экскаватора.....	17
<b>Апраксин М.А., Минеев А.В.</b> Повышение качества электроэнергии в системе электроснабжения приводов буровых установок .....	26
<b>Аксенов В.В., Костинцев И.К., Бегляков В.Б.</b> Влияние угла наклона поверхности взаимодействия исполнительного органа геолохода с породой забоя на её напряженно-деформированное состояние .....	30
<b>Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю.</b> Особенности трансмиссии геолохода с гидроцилиндрами в разных фазах выдвигания .....	37
<b>Аксенов В.В., Хорешок А.А., Блащук М.Ю.</b> Определение кинематических параметров трансмиссии геолохода с гидроприводом .....	43
<b>Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Блащук М.Ю.</b> Определение габарита свободного внутреннего пространства геолохода с гидроприводом.....	50
<b>Аксенов В.В., Ананьев К.А., Бегляков В.Ю.</b> Использование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геолохода с породой забоя для формирования исходных данных к проектированию разрушающего модуля .....	56
<b>Вагин В.С.</b> Сравнительный анализ динамики передвижных проходческих подъемных установок с асинхронным редукторным и безредукторным гидравлическим приводами.....	63
<b>Вагин В.С.</b> Динамика проходческой подъемной установки с безредукторным гидравлическим приводом.....	68
<b>Вагин В.С.</b> Сравнительная оценка динамики передвижных проходческих подъемных установок оснащенных тиристорным постоянным током и гидравлическим приводами .....	77
<b>Буялич Г.Д., Воеводин В.В., Буялич К.Г.</b> Выбор параметров конечно-элементной модели при расчете силовых гидроцилиндров .....	84
<b>Буялич Г.Д., Воеводин В.В., Буялич К.Г.</b> Повышение точности расчетов силовых гидроцилиндров методом конечных элементов .....	88

<b>Герике Б.Л., Шутова Е.А.</b> Влияние технического фактора производства на состояние безопасности труда на углеперерабатывающих предприятиях Кузбасса.....	<b>92</b>
<b>Квагинидзе В.С., Зарипова С.Н., Корецкая Н.А.</b> Прогнозирование опасностей — эффективный метод профилактики по повышению безопасности труда на производстве .....	<b>105</b>
<b>Великанов В.С., Шабанов А.А.</b> Оценка профессиональной компетентности операторов горно-транспортных машин в условиях нечеткой информации .....	<b>117</b>
<b>Квагинидзе В.С., Смирнов В.С.</b> Совершенствование организационной культуры компании как фактор ее эффективно-го и безопасного развития .....	<b>125</b>
<b>Квагинидзе В.С., Черкасов А.В.</b> Комплексная оценка профессиональной пригодности персонала предприятия .....	<b>132</b>
<b>Великанов В.С., Шабанов А.А.</b> Использование нечеткого логического вывода для оценки эргономических показателей карьерных экскаваторов .....	<b>145</b>
<b>Великанов В.С., Исмагилов К.В., Шабанов А.А.</b> Тренажерная подготовка кадров для горной промышленности как системообразующий фактор в сфере обеспечения эффективной эксплуатации горного оборудования .....	<b>153</b>
<b>Шебаршов А.А.</b> Обоснование выбора толщины пластин-заготовок для производства мелкогабаритной брусчатки .....	<b>159</b>
<b>Шебаршов А.А.</b> Обоснование выбора усилия раскола камне-кольных станков при производстве мелкогабаритной брусчатки из пластин-заготовок .....	<b>164</b>
<b>Квагинидзе В.С., Ворсина Е.В., Арсланов К.Р.</b> Определение показателей для оценки эффективности технологии горнодобывающего предприятия .....	<b>167</b>
<b>Мансуров А.А.</b> Анализ развития рынка углей в странах АТР и РФ .....	<b>175</b>
<b>Алиев С.Б., Кушеков К.К., Разумняк Н.Л.</b> Декомпозиция, генерирование и формализация задачи выбора технологических схем очистных работ .....	<b>181</b>
<b>Алиев С.Б., Демин В.Ф., Кушеков К.К., Разумняк Н.Л.</b> Исследование характера деформирования боковых пород вокруг горной выработки с анкерным креплением в зависимости от угла падения пласта и глубины анкерования приконтурного массива .....	<b>191</b>

<b>Алиев С.Б., Кенжин Б.М., Смирнов Ю.М., Разумняк Н.Л., Кушеков К.К.</b> Некоторые результаты сейсмоакустических исследований с применением импульсного источника и вибрационно-сейсмического модуля .....	<b>204</b>
<b>Дудник Г.А., Радьков В.В., Тихонов В.А.</b> Смесительно-зарядная машина с универсальным бункером эмульсионной матрицы .....	<b>228</b>
<b>Григорьева А.П., Григорьева А.А.</b> Нечеткие модели определения конкурентоспособности горно-шахтного оборудования.....	<b>235</b>
<b>Герике П.Б., Герике Б.Л.</b> Поиск инструмента для механического разрушения прочных породных массивов .....	<b>241</b>
<b>Хорешок А.А., Пудов Е.Ю., Прейс Е.В., Герике Б.Л.</b> Перспектива проектирования и производства новых конструктивных исполнений ковшей с целью импортозамещения .....	<b>266</b>
<b>Григорьева А.А., Григорьева А.П.</b> Применение системы поддержки принятия решений о конкурентоспособности инновационной продукции для оценки горно-шахтного оборудования .....	<b>271</b>
<b>Еремина Е.А.</b> К вопросу о нечетком моделировании выбора поставщика комплектующих и материалов для производства горно-шахтного оборудования .....	<b>278</b>



## CONTENT

---

- Klishin V.I., Kokoulin D.I., Klishin S.V., Gurtenko A.P.** RESEARCH of NATURE of CHANGE DURABILITIES drilling becoming IN DEPENDENCE FROM MODES OF DRILLING AND DEPTH OF WELLS ..... 9  
*Researches on definition of a rakter of change of durability chisel stava are carried out when drilling wells in underground conditions of coal mines on the basis of which the reasons of breakages drilling becoming are established and recommendations about technology of drilling and to improvement of designs of drilling bars for the purpose of increase in their durability are developed.*  
*Key words: drilling rig, bend, tension, rock.*
- Mironov V.I., Lukashuk O.A., Savinov D.V.** METHOD OF ASSESSMENT RELIABILITY ELEMENTS EXCAVATOR..... 17  
*On the example of calculating longevity of a dipper stick of the EKG-12 excavator an unusual approach to the problem of fatigue strength of the elements of mining machines is taken on the basis of the model of cyclic degradation of the material in use.*  
*Key words: degradation, fatigue life, resource, excavator.*
- Apraksin M.A., Mineev A.V.** ELECTRIC POWER IMPROVEMENT OF QUALITY IN SYSTEM OF THE ELECTRICAL SUPPLY OF DRIVES OF DRILLING UNITS ..... 26  
*The actual date on the issue of electric drills, power quality in the supply and use of filter-devices.*  
*Key words: electric drilling rig, PKU, electricity.*
- Aksenov V.V., Kostinets I.K., Beglyakov V.B.** EFFECT OF SURFACE INTERACTION ANGLE BODY GEOHODA WITH ROCK HAULING AT ITS STRESS-STRAIN STATE ..... 30  
*In this paper we propose a new approach to the design of the executive bodies of mining machines, is described by the change of stresses in the rock face, depending on the geometrical parameters of the surface interaction of the executive body of the mining machine with the breed.*  
*Key words: executive body, main tension, interaction model, interaction surface.*
- Aksenov V.V., Efremenkov A.B., Blashchuk M.Yu.** FEATURES OF TRANSMISSION OF THE GEOCOURSE WITH HYDROCYLINDERS IN DIFFERENT PHASES PROMOTIONS..... 37  
*The principle of work of transmission of a geocourse with hydrocylinders in different phases of promotion is considered. Features of transmissions with the guide-rotsilindrami, providing a continuity of work of a geocourse are defined. Ratios of total of hydrocylinders and hydrocylinders making the worker and idling, and also numbers of phases are given.*  
*Key words: geocourse, transmission, hydrocylinder, promotion phases.*



- Aksenov V.V., Horeshok A.A., Blashchuk M.Yu.** DEFINITION kinematical OF PARAMETERS OF TRANSMISSION OF THE GEOCOURSE WITH THE HYDRAULIC ACTUATOR ..... 43  
*The received analytical expressions for definition of an angle of rotation and angular speed of rotation of head section of a geocourse, and also communication of kinematic parameters of transmission with geometrical parameters of a geocourse and a consumption of working liquid of pump station are considered.*  
*Key words: geocourse, transmission, angle of rotation, angular speed, consumption of working liquid.*
- Aksenov V.V., Efremenkov A.B., Blashchuk M.Yu.** DEFINITION OF THE DIMENSION FREE INTERNAL SPACE OF THE GEOCOURSE WITH THE HYDRAULIC ACTUATOR ..... 50  
*The received analytical expressions for definition of a dimension of free space in a geocourse, and also its communication with design data of transmission and geometrical parameters of a geocourse are considered.*  
*Key words: geocourse, transmission, dimension of internal space.*
- Aksenov V.V., Ananiev K.A., Beglyakov V.Y.** USE OF PARAMETERS THE SURFACE INTERACTION EXECUTIVE BODY OF THE GEOCOURSE WITH BREED OF THE FACE FOR FORMATION OF BASIC DATA TO DESIGN OF THE DESTROYING MODULE ..... 56  
*It described the influence of surface parameters of interaction of the geohods operating unit with the rock face on the VAT of breed. The expediency of the use of rational parameters of the surface interaction as an input in the creation of the geohods operating unit.*  
*Key words: geohod, surface of interaction, ledge, operating unit.*
- Vagin V.S.** COMPARATIVE ANALYSIS OF PREDVIZHNYH TUNNEL LIFTS SYSTEMS WITH ASYNCHRONOUS GEARLESS GEAR AND HYDRAULIC ACTUATORS ..... 63  
*The results of comparative analysis of the dynamics of mobile tunnel lift systems with asynchronous gearless gear and hydraulic actuators.*  
*Key words: mobile tunnel lift installation; towing authority; steel tape; direct drive hydraulic drive; drive with asynchronous slip-ring motors.*
- Vagin V.S.** DYNAMICS OF SHAFT SINKING WITH HYDRAULIC DRIVE WITHOUT REDUCTION GEAR ..... 68  
*The analysis of the dynamic loading arising in elastic elements of the elevating installation equipped with hydraulic drive without reduction gear in unsteady operating modes has been made*  
*Key words: mobile tunnel lift installation; direct drive hydraulic drive; drive with asynchronous slip-ring motors.*

- Vagin V.S.** COMPARATIVE EVALUATION OF THE DYNAMICS OF MOBILE MACHINES OF TUNNEL EQUIPPED WITH A THRUSTERS DC AND HYDRAULIC ACTUATORS ..... 77  
*The results of a comparative assessment of the dynamics of mobile tunnel lift systems with electromechanical provodom thrusters DC gearless and hydraulic drive.*  
*Key words: mobile tunnel lift installation; towing authority; steel tape; direct drive hydraulic drive; thyristor DC drive.*
- Buyalich G.D., Voevodin V.V., Buyalich K.G.** CHOOSING FINITE-ELEMENT MODEL IN CALCULATING POWER HYDROCYLINDERS ..... 84  
*A method for assessing the size of the finite-element mesh model of the power cylinders.*  
*Key words: mesh finite element model, the power cylinder.*
- Buyalich G.D., Voyevodin V.V., Buyalich K.G.** CHOICE OF PARAMETERS OF THE FINAL AND ELEMENT MODELS AT CALCULATION OF POWER HYDROCYLINDERS ..... 88  
*The technique of an assessment of the sizes of a final and element grid of model of power hydrocylinders is given.*  
*Key words: grid of finite elements, model, power hydrocylinder.*
- Gericke B.L.; Shutova E.A.** THE INFLUENCE OF TECHNICAL FACTORS ON THE SAFETY CONCENTRATION PLANTS OF KUZBASS..... 92  
*This article contains production factors that determine safety at coal preparation plants of Kuzbass. It is shown that the main causes of injury in the repair of equipment are the organizational and technical reasons, as well as the causes of individual character.*  
*As shown by the analysis of accidents during repair work, most of them took place for organizational reasons for violating security regulations, rules, fuzzy plan works, weak monitoring by technical staff. For technical reasons most frequently accidents happen because of the poor condition of equipment, poor maintenance of tool and equipment design imperfection.*  
*Key words: maintenance, equipment for coal cleaning, injuries, reason.*
- Kvaginidze V.S., Zaripova S.N., Koretsky N.A.** FORECASTING OF DANGERS — EFFECTIVE METHOD OF PREVENTION ON INCREASE OF SAFETY OF WORK ..... 105  
 ON PRODUCTION  
*Various methods of forecasting of the dangers, being applied for the purpose of prevention and increase of safety of work at the modern mining enterprises are considered.*  
*Key words: ways of development of forecasts, dynamic programming, network methods of planning, statistical modeling.*

**Velikanov V.S., Shabanov A.A.** ASSESSMENT OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF OPERATORS MINING-TRANSPORT VEHICLES IN A FUZZY INFORMATION ..... **117**

*This paper presents an approach to assess the operator's activity through the use of fuzzy set theory and fuzzy logic. Practical implementation of algorithms for fuzzy models was carried out to determine the level of professional competence of driver mine excavators.*

*Key words: fuzzy set, linguistic variable, the coefficient of efficiency, expert evaluation.*

**Kvaginidze V.S., Smirnov V.S.** IMPROVEMENT OF THE ORGANIZATIONAL CULTURES OF THE COMPANY AS ITS FACTOR EFFECTIVE AND SAFE DEVELOPMENT ..... **125**

*Receptions of improvement of organizational structure are considered.*

*Key words: organizational structure, subculture, types of organizational cultures, organization cycle.*

**Kvaginidze V.S., Tcherkasov A.V.** COMPLEX ASSESSMENT OF THE PROFESSIONAL SUITABILITY OF THE PERSONNEL OF THE ENTERPRISE ..... **132**

*Parameters of performance appraisal of the enterprise from a point of sight of professional suitability are considered.*

*Key words: professional suitability, vocational guidance, vocational guidance methods, professional suitability analysis.*

**Velikanov V.S., Shabanov A.A.** USING FUZZY INFERENCE TO ASSESS THE ERGONOMIC PROPERTIES OF MINE EXCAVATORS ..... **145**

*The paper used fuzzy inference to assess the ergonomic properties of shovels. Practical implementation of algorithms for fuzzy models was implemented using the expansion pack to MatLab: Fuzzy Logic Toolbox.*

*Key words: fuzzy set, linguistic variable membership function, ergonomic features, light face, vibration seat driver.*

**Velikanov V.S., Ismagilov K.V., Shabanov A.A.** SIMULATOR PREPARING THE PERSONNEL (FRAMES) FOR MOUNTAIN INDUSTRY AS FACTOR IN SPHERE OF THE PROVISION TO EFFICIENT USAGE OF THE MOUNTAIN EQUIPMENT ..... **153**

*In article is motivated need of preparing the personnel for mountain industry with use the simulator technology, is offered standard of judgement of the simulator and quality of the education machinist-excavator.*

*Key words: operator, training, simulator, machinist of the excavator, quality of the simulator.*

<b>Shebarshov A.A.</b> JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE THICKNESS OF THE PLATES, BILLETS FOR THE PRODUCTION OF SMALL-SIZED PAVERS .....	<b>159</b>
<i>The question of the influence of the thickness of the plates, billets for the production of small-sized stone blocks on the deviation from the plane of division, and, consequently, the quality of the stab cobbled stones.</i>	
<i>Key words: plate, billet, the deviation from the plane of division, small-sized cobbles.</i>	
<b>Shebarshov A.A.</b> JUSTIFICATION OF THE CHOICE SPLIT EFFORT SPLITTING MACHINES FOR THE PRODUCTION OF SMALL-SIZED PAVING STONES, PIECES OF PLATES .....	<b>164</b>
<i>The question of the influence of height and width of the split at the maximum splitting force with a different form of the working body Splitting machines.</i>	
<i>Key words: force the split, the height of the split.</i>	
<b>Kvaginidze V.S., Vorsina E.V., Arslanov K.R.</b> DEFINITION OF INDICATORS FOR THE ASSESSMENT EFFICIENCY OF TECHNOLOGY MINING ENTERPRISE.....	<b>167</b>
<i>Methods of an assessment of applied technological decisions at the enterprises of mining branch are considered.</i>	
<i>Key words: technological indicators, quality of an assessment of efficiency of technology.</i>	
<b>Mansurov A.A.</b> ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF THE MARKET OF COALS IN THE COUNTRIES ATR AND THE RUSSIAN FEDERATION.....	<b>175</b>
<i>The prospect of development of the world market of coal is considered.</i>	
<i>Key words: consumption volumes, power consumption, energy sector, power safety.</i>	
<b>Aliiev S.B., Kushekov K.K., Razumnyak N.L.</b> DECOMPOSITION AND FORMALIZATION GENERATION TASK SELECTION PROCESS FLOW SEWAGE WORKS .....	<b>181</b>
<i>The mechanism of creation of mathematical models for the formation of rational treatment options for technological schemes of work for a global criterion based on the analysis and synthesis of elements of the scheme on local criteria.</i>	
<i>Key words: technological schemes, sewage treatment works, mathematical models, analysis, synthesis, subsystem elements.</i>	
<b>Aliiev S.B., Demin V.F., Kushekov K.K., Razumnyak N.L.</b> INVESTIGATION OF THE NATURE OF LATERAL DEFORMATION OF ROCKS AROUND MINE WORKINGS WITH ANCHORING DEPENDING ON THE ANGLE DIP DEPTH AND AREA ANCHORING THE MARGINAL.....	<b>191</b>

*Investigated the stress-strain state of rock pressure conditions to maintain the workings depending on the mining and process parameters. The research allowed to determine the degree of their influence on the development effectiveness of the anchoring of extraction workings and allow justified to use a passport retention, to ensure the stability of mine workings and reduce the cost of their implementation and maintenance.*

*Key words: analytical modeling, the stress-strain state of the technology, the marginal rock mass, fixing mine workings.*

**Aliev S.B., Kenzhin B.M., Smirnov J.M., Razumnyak N.L., Kushekov K.K.** SOME RESULTS OF RESEARCH SEISMO-ACOUSTIC USING PULSED SOURCE AND SEISMIC VIBRATION-MODULE ..... 204

*Results of seismoacoustic researches with application of a pulse source and the vibrating and seismic module are considered.*

*Key words: seismogeological model, channel waves, seismic forecast, tectonic violations.*

**Dudnik G.A., Radkov V.V., Tikhonov V.A.** MIXING AND CHARGING CAR WITH THE UNIVERSAL BUNKER EMULSION MATRIX ..... 228

*Advanced development of a design of the mixing and charging car, allowing to raise productivity of use of SZM is presented when conducting explosive works on breeds of a various fortress.*

*Key words: SZM (the mixing and charging car), EVV (emulsion explosives), the granulated explosives, the bunker, шнек, the pump, ammoniac saltpeter*

**Grigoreva A.P., Grigoryeva A.A** FUZZY MODEL FOR DETERMINING THE COMPETITIVENESS MINING EQUIPMENT ..... 235

*Proposed two models for assessing the competitiveness of mining equipment: a model based on the method of paired comparisons and rating model of an assessment of machine-building production.*

*The models are applied at different stages of product life cycle.*

*Key words: mining equipment, fuzzy set, competitiveness of machine-building production.*

**Gerike P.B., Gerike B.L.** TOOL SEARCH FOR MECHANICAL DESTRUCTION OF STRONG PEDIGREE ARRAYS ..... 241

*Various physicommechanical and physical and chemical methods of office of mineral raw materials are applied to extraction of minerals from a massif. The considerable successes reached by development of coal and hydrochloric fields, are caused by application of mechanical destruction of the pedigree massif, but both coal, and stone salt possess insignificant durability. Article is devoted to studying of mechanical ways with reference to destruction of strong pedigree massifs with  $\sigma_{CЖ} = 80 \dots 140$  MPas.*

*Key words: massif, mechanical destruction, working tool of mining cars.*

- Khoreshok A.A., Pudov E.Yu., Preys E.V., Goericke B.L.** PERSPECTIVE OF DESIGNING AND MANUFACTURING NEW BUCKETS DESIGN PERFORMANCES IN ORDER TO IMPORT SUBSTITUTION ..... **266**  
*Substantiates the relevance of the research survey, design and subsequent production of buckets of hydraulic excavators on the basis of advanced design proposals and patented innovations to undertake the repair work after the expiration of the warranty service of excavators.*  
*Key words: hydraulic excavator, bucket, repair, production, recovery, reliability.*
- Grigoryeva A.A., Grigoryeva A.P.** APPLICATION OF SYSTEM OF SUPPORT OF DECISION-MAKING ABOUT COMPETITIVENESS OF innovation PRODUCTION FOR THE ESTIMATION OF THE MINING EQUIPMENT ..... **271**  
*The system of decision-making support on competitiveness of innovation production is proposed. The system is based on the integrated model of competitiveness estimation of production. The given model is applied in production phases, realization and product operation.*  
*Key words: System of support of decision-making, competitiveness of innovation production, integrated model.*
- Eremina E.A.** TO QUESTION ABOUT FUZZY MODELING OF THE SUPPLIER OF CHOICE FOR MINING EQUIPMENT ..... **278**  
*This article considers the possibility of using fuzzy inference to the choice of optimal supplier of components and materials for the production of mining equipment at an engineering company.*  
*Key words: mining equipment, machine-building enterprise, decision making, supply chain, supplier, model, method of fuzzy inference; alternative.*



Секретариат ГИАБ  
*Н.А. Голубцов, И.А. Вершинина*  
Рабочая группа:  
Руководитель *Н.А. Голубцов*  
Подготовка макета *И.А. Вершинина*  
Зав. производством *Н.Д. Уробушкина*  
Дизайн оформления *В.Ю. Котов, Е.Б. Капралова*  
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

Подписной индекс издания  
в каталоге агентства «Роспечать» — 46466

Подписано в печать 18.05.2012. Формат 60×90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура «AGPresquire».

Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,5. Тираж 500 экз.

Изд. № 2522. Заказ № 01-18/06-12

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 ООО «Радугапринт»

115280, Москва, ул. Автозаводская, 25

