

*На правах рукописи*

ПУШМИН ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ АЛМАЗНОЙ КОРОНКИ НА ОСНОВЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ  
АНИЗОТРОПНЫХ ПОРОД**

Специальность 25.00.14 – «Технология и техника геологоразведочных работ»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2006

Работа выполнена на кафедре «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых» Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный технический университет»

Научный руководитель

Доктор технических наук, профессор  
Нескоромных Вячеслав Васильевич

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор  
Рябчиков Сергей Яковлевич

Кандидат технических наук  
Адам Альберт Мартынович

Ведущее предприятие

ФГУНИГП «Тульское НИГП»

Защита диссертации состоится «20» декабря 2006 г. в 15<sup>00</sup> часов в 210 аудитории 1 корпуса на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при Томском политехническом университете по адресу: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета

Автореферат разослан «14» ноября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Евсеев В.Д.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Алмазное бурение является наиболее производительным, основным и по-прежнему самым перспективным способом бурения геологоразведочных скважин в твердых горных породах.

Как известно, основная часть горных пород в различной степени обладает анизотропией физико-механических свойств, что в процессе их разрушения создаёт условия для естественного искривления стволов скважин. Кроме того, поперечные перемещения породоразрушающего инструмента при бурении твердых анизотропных пород приводят не только к искривлению стволов скважин, но и к увеличению объема разрушаемой породы и перераспределению усилий под торцом породоразрушающего инструмента, что в результате может являться причиной уменьшения механической скорости бурения, снижения ресурса породоразрушающего инструмента и увеличения стоимости буровых работ.

Таким образом, эффективность алмазного бурения определяется не только высокими механическими скоростями и ресурсом породоразрушающего инструмента, но и возможностью бурения скважин с минимальным отклонением стволов от проектных направлений, а также ограниченными поперечными перемещениями породоразрушающего инструмента на забое скважин.

Отклонением стволов скважин при бурении твердых анизотропных пород обусловлены затраты на направленное бурение, а поперечные перемещения породоразрушающего инструмента на забое скважины приводят к снижению эффективности процесса разрушения горных пород.

Решая задачу повышения механической скорости бурения при определенных граничных условиях, существует возможность одновременно обеспечить снижение интенсивности естественного искривления стволов скважин, поскольку данные процессы являются взаимосвязанными.

Совершенствование способов интенсификации процесса разрушения и очистки забоя скважин от разрушенной породы, снижения интенсивности естественного искривления и целесообразного использования энергии, подводимой к забою, основывается на исследовании механики разрушения твердых анизотропных горных пород, что позволит разработать рациональную модель алмазной коронки для эффективного бурения твердых горных пород.

Повышение эффективности алмазного бурения, введение новых и усовершенствование имеющихся технологий разрушения твердых горных пород является на сегодняшний день актуальной и требующей разработки задачей.

Поиск новых способов повышения производительности, качества и экономичности алмазного бурения путем совершенствования конструкции породоразрушающего инструмента имеет важное научное и практическое значение.

**Цель работы.** Повышение эффективности бурения скважин в твердых анизотропных горных породах.

**Идея работы.** Создание базовой модели алмазной коронки и технологии эффективного бурения скважин в твердых анизотропных горных породах.

### **Основные задачи исследования:**

1. Анализ показателей эффективности бурения твердых горных пород.
2. Анализ основных положений механики разрушения твердых пород.
3. Исследование механики разрушения твердых анизотропных пород.
4. Исследование механизма формирования дестабилизирующего усилия при бурении твердых анизотропных пород и уточнение зависимостей, определяющих теоретическую модель для расчета величины дестабилизирующего усилия.
5. Проведение экспериментальных исследований процесса разрушения анизотропной горной породы.
6. Разработка базовой конструкции алмазной буровой коронки на основе выявленных особенностей механики разрушения твердых анизотропных горных пород.

**Методика исследования.** Для решения поставленных задач приняты следующие методы исследований:

- сбор, анализ и обобщение литературных данных;
- исследование механики разрушения твердых горных пород;
- комплекс экспериментальных исследований;
- обработка результатов исследований.

**Личный вклад автора** состоит: в постановке и реализации цели и задач диссертационного исследования; в составлении обзора и анализе основных положений механики разрушения твердых пород; в исследовании особенностей механики разрушения твердых анизотропных пород; в уточнении зависимостей, определяющих теоретическую модель формирования дестабилизирующего усилия; в планировании и реализации экспериментальных исследований, анализе и статистической оценке достоверности их результатов; в участии при разработке базовой модели алмазной коронки и стендовых испытаниях алмазных коронок со смещением секторов относительно центра корпуса.

### **Научная новизна работы.**

1. Предложен и обоснован критерий эффективности работы породоразрушающего инструмента и технологии эффективного бурения твердых анизотропных горных пород, который определен как соотношение возможных скоростей фрезерования стенки скважины и углубки забоя.
2. Выявлены особенности механики разрушения твердых анизотропных горных пород на основе исследования деформационных процессов, трансформации формы и размеров ядра сжатия-смятия на передней грани алмазных резцов и формируемой зоны предразрушения забоя.
3. Уточнены аналитические зависимости, определяющие теоретическую модель формирования дестабилизирующего усилия при бурении твердых анизотропных горных пород.
4. Выявлен новый структурный элемент анизотропных горных пород – сформированные в направлении плоскостей слоистости пористые пространства, служащие дополнительными каналами фильтрации промывочного агента в область деформирования и зону предразрушения забоя.

5. Обоснован механизм снижения неравномерности разрушения твердой анизотропной горной породы на забое, вследствие активного развития трещин отрыва и трещин зоны предразрушения в направлении плоскостей слоистости.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** определяется современным уровнем теоретических и достаточным объемом экспериментальных исследований, близкой сходимостью их результатов и воспроизводимостью данных при повторных исследованиях. Статистическая оценка результатов экспериментальных исследований показала, что погрешность составляет не более 10 %.

**Практическая ценность и реализация работы** заключается в создании базовой модели алмазной коронки, способствующей повышению эффективности бурения твердых горных пород. Результаты работы могут найти применение при производстве буровых работ, а также в учебном процессе студентов горно-геологических специальностей.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 статей, получен 1 патент на полезную модель.

**Апробация исследований.** Основные материалы диссертации представлены и обсуждены на научно-технических конференциях факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии ИрГТУ (г. Иркутск, ИрГТУ, 2002, 2003, 2004, 2006 гг.), на смотрах-конкурсах лучших научных работ ИрГТУ (г. Иркутск, ИрГТУ, 2003, 2005 гг.), на Восьмом Международном симпозиуме студентов, молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, ТПУ, 2004 г.), на заседании научного семинара кафедры разведочного бурения РГГРУ (г. Москва, РГГРУ, 2005 г.), на заседании научного семинара кафедр бурения скважин, геологии и разведки нефтяных месторождений и транспорта и хранения нефти и газа Института геологии и нефтегазового дела Томского политехнического университета (г. Томск, ТПУ, 2006 г.), на расширенном заседании кафедры технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых ИрГТУ (г. Иркутск, ИрГТУ, 2006 г.).

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Работа изложена на 131 странице машинописного текста, включает 41 рисунок и 22 таблицы. Библиографический список литературы содержит 86 наименований.

Во **введении** представлена общая характеристика работы, раскрыта основная цель, обоснована актуальность и практическая значимость диссертационного исследования, изложены защищаемые положения и научная новизна.

В **первой главе** представлен обзор исследований механики разрушения твердых горных пород и проанализированы показатели эффективности алмазного бурения; представлен обзор технических решений по совершенствованию конструкции породоразрушающего инструмента; изложены задачи диссертационного исследования.

Во **второй главе** представлено исследование механики разрушения твердых пород, в том числе, обладающих анизотропией физико-механических

свойств; проанализирован механизм углубки алмазного породоразрушающего инструмента в твердую горную породу; обоснован механизм снижения неравномерности разрушения твердой анизотропной горной породы на забое.

В **третьей главе** изложена методика экспериментальных исследований процесса разрушения анизотропной горной породы.

В **четвертой главе** представлен анализ результатов экспериментальных исследований и произведена статистическая оценка достоверности их результатов.

В **пятой главе** приведено обоснование базовой конструкции алмазной коронки; представлены результаты стендовых испытаний алмазных коронок со смещением секторов относительно центра корпуса.

В **заключении** обобщены результаты исследований, выполненных в соответствии с поставленными задачами, решение которых обеспечило достижение цели диссертационной работы.

В **приложении** изложена методика и представлены результаты стендовых испытаний алмазных коронок со смещением секторов относительно центра корпуса.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, д.т.н., профессору Нескоромных В.В. за постоянную методическую помощь и консультации, а также благодарит сотрудников кафедры технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых ИрГТУ за оказанную поддержку.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Поиску методов повышения эффективности алмазного бурения посвящены исследования многих ученых и специалистов: Б.И. Воздвиженского, Е.А. Козловского, В.М. Питерского, Н.И. Корнилова, Г.А. Блинова, Н.В. Соловьева, Г.А. Воробьева, С.С. Сулакшина, В.В. Нескоромных, С.Я. Рябчикова, И.А. Нейштетера, В.В. Кривошеева, Н.А. Буглова, А.В. Карпикова, В.Н. Горина, С.Н. Тараканова и других исследователей.

Основные положения механики разрушения твердых горных пород алмазным инструментом изложены в работах А.А. Гриффитса, П.А. Ребиндера, Р.М. Эйгелеса, Е.И. Быченкова, В.В. Царицына, Л.К. Горшкова, Г.А. Блинова, Ю.И. Протасова, М.И. Исаева, Н.Ф. Кагарманова, П.Н. Курочкина, В.Г. Гореликова, Ю.И. Сычева, Ф.А. Шамшева, М.И. Исаева, А.В. Марамзина, Г.А. Арцимовича, В.Е. Копылова, В.П. Рожкова, Н.В. Соловьева, Н.И. Корнилова, Ю.Е. Будюкова, В.И. Спирина и других авторов.

Механика разрушения твердых анизотропных пород отражена в работах Ю.С. Васильева, Ч.Л. Мочульского, Ю.Л. Боярко, В.Д. Ларионова, В.П. Рожкова, Л.Г. Шолохова, А.Г. Калинина, В.Л. Блинец, Ю.Т. Морозова, В.В. Кривошеева, И.Н. Страбыкина, В.П. Зиненко, В.Г. Григулецкого, В.И. Рязанова, А.Е. Колесников, В. Бредли, Г. Вудса, А. Лубинского и других специалистов.

**Первое защищаемое положение.** Эффективность алмазного бурения обусловлена снижением скорости фрезерования стенки скважины и увеличением скорости углубки забоя при условии оптимизации осевого усилия на породоразрушающий инструмент. Факторы снижения скорости фрезерования при бурении твердых анизотропных пород определяются уменьшением дестабилизирующего усилия, а факторы увеличения скорости углубки – интенсификацией процесса деформирования и развития зоны предразрушения забоя.

Анализ существующих исследований процесса разрушения твердых горных пород позволил установить, что критерием эффективности работы породоразрушающего инструмента и технологии эффективного бурения твердых анизотропных горных пород может служить соотношение возможных скоростей фрезерования стенки скважины  $V_{\phi}$  и углубки забоя скважины  $V_B$ .

Направлением повышения эффективности работы породоразрушающего инструмента на забое скважины является определение факторов, снижающих возможности фрезерования стенки (снижение  $V_{\phi}$ ) и факторов, обеспечивающих рост скорости углубки забоя  $V_B$ , при условии оптимизации осевого усилия на породоразрушающий инструмент  $P_{oc}$ .

Последнее объясняется тем, что осевое усилие  $P_{oc}$  – один из наиболее активных факторов, обеспечивающих рост интенсивности естественного искривления стволов скважин, что связано с деформацией компоновки, с перекосом породоразрушающего инструмента на забое, а также с ростом дестабилизирующего работу породоразрушающего инструмента усилия  $\Delta F$ , возникающего при бурении твердых анизотропных пород.

В общем виде, отклоняющее усилие  $P_{отк}$ , способствующее реализации фрезерования стенки скважины при бурении твердых анизотропных горных пород, можно выразить:

$$P_{отк} = P_{oc} \cdot \sin \gamma_n + \Delta F, \quad (1)$$

где  $\gamma_n$  – угол перекоса породоразрушающего инструмента на забое вследствие прогиба компоновки, градус (рис. 1).

Учитывая, что при бурении твердых анизотропных пород фрезерование стенки скважины определяется в основном действием дестабилизирующего усилия  $\Delta F$  (2), в диссертационной работе рассмотрены условия возникновения этого усилия и некоторые возможные методы его снижения. Условия деформации буровой компоновки, связанные с действием  $P_{oc}$  и других факторов, в работе не рассматриваются.

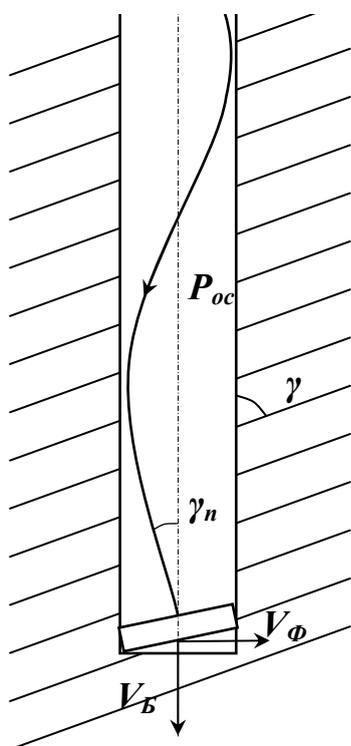


Рис. 1. Схема прогиба буровой компоновки

Возникновение дестабилизирующего усилия  $\Delta F$  при бурении твердых анизотропных пород обусловлено, главным образом, неравномерным разрушением забоя и стенки скважины. Неравномерность разрушения твердой анизотропной породы на забое приводит к неравенству усилий резания\*, реализуемых единичными резцами при их движении навстречу  $F_p^>$  и вслед  $F_p^<$  плоскостям слоистости.

Общий вид зависимости для расчета усилия резания  $F_p$  представлен:

$$F_p = \frac{0,1 \cdot \left(2h + \sqrt{dh}\right)^2 \cdot \sigma_{ск} + \frac{\mu_T \cdot P_{ос}}{n_p}}{tg\gamma_{ск}}, \quad (3)$$

где  $h$  – глубина внедрения единичного алмазного резца в породу, м; в зависимости от направления движения резца при разных углах встречи  $\gamma$  данный параметр выражается:  $h^<$  – при движении резца навстречу плоскостям слоистости;  $h^>$  – при движении резца вслед плоскостям слоистости;

$\sigma_{ск}$  – прочность породы на скалывание, МПа; в зависимости от направления деформирования при разных углах встречи  $\gamma$  данный параметр выражается:  $\sigma_{ск}^>$  – при деформировании породы в направлении навстречу плоскостям слоистости;  $\sigma_{ск}^<$  – при деформировании породы вслед плоскостям слоистости;

$\mu_T$  – коэффициент внешнего трения породы; в зависимости от направления деформирования при разных углах встречи  $\gamma$  выражается:  $\mu_T^>$  – при деформировании в направлении навстречу плоскостям слоистости;  $\mu_T^<$  – при деформировании породы вслед плоскостям слоистости;

$\gamma_{ск}$  – угол скалывания породы перед передней гранью алмазного резца, зависящий от угла встречи резца с плоскостями слоистости анизотропной породы  $\gamma$ , градус;

$d$  – диаметр алмазного резца, м;

$n_p$  – количество одновременно работающих резцов в линии резания инструмента.

Разность суммарных усилий резания каждой из половин кольцевого торца породоразрушающего инструмента определяет величину и степень воздействия дестабилизирующего усилия  $\Delta F$  на процесс формирования ствола скважины:

$$\Delta F = \sum_n^{i=1} F_p^> - \sum_n^{i=1} F_p^< = 0,317 \cdot n_p \cdot (F_p^> - F_p^<) - P_{ос} \frac{V_{\Phi}}{V_B} F(\gamma), \quad (4)$$

\* термин «резание» используем как определяющий процесс взаимодействия резцов инструмента с породой в общем виде, поскольку полагаем, что по существу процесс разрушения горных пород более сложен и включает другие составляющие

где  $\sum_n^{i=1} F_p^>$  и  $\sum_n^{i=1} F_p^<$  – суммарные усилия резания резцами, расположенными на половинах торца породоразрушающего инструмента, при их движении соответственно навстречу и вслед плоскостям слоистости, кН;  
 $F(\gamma)$  – функция главного вектора опрокидывающего момента от угла встречи с прослоями, модулей упругости и коэффициентов внутреннего трения, характеризующих анизотропную породу в разных направлениях относительно прослоев породы.

Согласно (4), величина и степень воздействия усилия  $\Delta F$  на процесс формирования ствола скважины во многом определяются соотношением скоростей фрезерования стенки скважины  $V_\phi$  и углубки забоя  $V_B$ , при этом, чем выше скорость  $V_B$ , тем меньше величина усилия  $\Delta F$  и вероятностная кривизна ствола скважины.

Учитывая, что рост осевой нагрузки  $P_{oc}$  вызывает повышение дестабилизирующего усилия  $\Delta F$ , эффективность алмазного бурения не может быть достигнута только за счет активного увеличения  $P_{oc}$ , следовательно, необходимо оптимизировать величину  $P_{oc}$  с учетом параметров породоразрушающего инструмента и горно-геологических условий, с одновременным применением дополнительных технологических методов повышения скорости углубки забоя  $V_B$ , одним из которых может являться интенсификация процесса деформирования и развития зоны предразрушения забоя. Установлено, что повышение механической скорости бурения при проведении экспериментальных работ с бурением технической водой и водным раствором сульфанола (ПАВ 0,3 %) в среднем составило до 2 и более раз за счет воздействия активного промывочного агента в направлении забоя.

Проникновение в забойную область активного промывочного агента способствует снижению упругих реакций породы в области деформирования, о чем свидетельствуют экспериментальные исследования, проведенные в соответствии с методикой проф. Л.А. Шрейнера. Учитывая, что рост дестабилизирующего усилия  $\Delta F$  наиболее активен на интервале упругого деформирования, предшествующего этапу пластического деформирования и объемного разрушения породы, при котором величина усилия  $\Delta F$  понижается, снижение упругих реакций породы за счет активного воздействия промывочного агента в направлении забоя, может способствовать уменьшению величины усилия  $\Delta F$ .

Таким образом, повышение эффективности алмазного бурения может быть достигнуто за счет интенсификации процесса деформирования и развития зоны предразрушения забоя в твердой анизотропной горной породе.

**Второе защищаемое положение. Неравномерность разрушения твердой анизотропной породы на забое определяется разной асимметричностью ядер сжатия-смятия, сформированных на передних гранях алмазных резцов, разрушающих твердую анизотропную породу в направлениях навстречу и вслед плоскостям слоистости.**

Механизм разрушения твердой анизотропной породы алмазными резцами породоразрушающего инструмента представлен в виде следующей формализованной модели.

В процессе работы единичных алмазных резцов, разрушающих твердую анизотропную породу в направлениях навстречу и вслед плоскостям слоистости, в условиях объемного разрушения, на передних гранях резцов формируются ядра сжатия-смятия (рис. 2). Соотношение форм и размеров ядер близко к соотношению модулей упругости, характеризующих анизотропную породу в направлении действия результирующего усилия  $R$ , определяемого соотношением осевой нагрузки  $P_{oc}$  и усилия резания  $F_p$ .

Учитывая, что при движении единичного алмазного резца навстречу плоскостям слоистости (рис. 2а), результирующее усилие  $R$  ориентировано вдоль прослоев анизотропной породы, то есть в направлении большей величины модуля упругости, ядро в этом направлении будет сжато.

При движении единичного алмазного резца вслед плоскостям слоистости (рис. 2б), усилие  $R$  ориентировано перпендикулярно прослоям анизотропной породы, то есть в направлении меньшего значения модуля упругости, следовательно, ядро получит некоторую вытянутость в данном направлении.

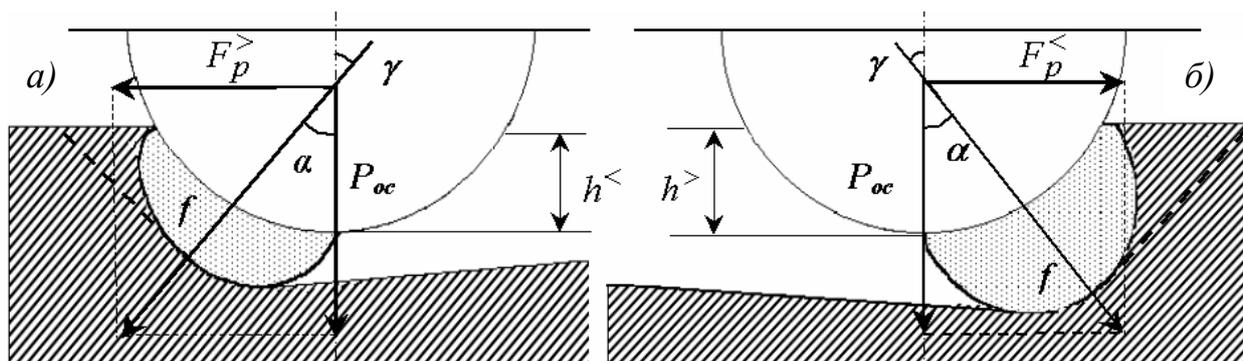


Рис. 2. Схемы процесса разрушения твердой анизотропной породы единичными алмазными резцами при их движении навстречу (а) и вслед плоскостям слоистости (б)

Трещины отрыва формируются из точек максимальных касательных напряжений  $f$ , расположенных на вершинах ядер сжатия-смятия, и стремятся к поверхности забоя вдоль выраженных плоскостей слоистости. Скорости формирования трещин отрыва перед передними гранями единичных алмазных резцов, разрушающих твердую анизотропную породу во взаимно противоположных направлениях, неодинаковы, так как более интенсивно трещины отрыва формируются при движении алмазного резца вслед плоскостям слоистости анизотропной породы (рис. 2б).

В связи с тем, что прочность на разрыв между прослоями существенно ниже прочности на разрыв перпендикулярно прослоям, более интенсивно формируются и развиваются трещины зоны предразрушения в направлении плоскостей слоистости (рис. 2а).

Рассмотренный механизм определяет общие закономерности неравномерного разрушения твердой анизотропной породы на забое, неодинаковость скоростей формирования трещин отрыва и трещин зоны предразрушения, а также объясняет причину возникновения дестабилизирующего усилия.

**Третье защищаемое положение.** Снижение неравномерности разрушения твердой анизотропной породы на забое обусловлено выравниванием асимметрии ядра сжатия-смятия, в связи с активным развитием трещин отрыва и трещин зоны предразрушения в направлении плоскостей слоистости, а также за счет интенсификации проникновения промывочного агента в пористые пространства, ориентированные в направлении плоскостей слоистости.

Поскольку трещины отрыва и трещины зоны предразрушения развиваются, главным образом, в направлении максимальной твердости и упругости анизотропной породы, проникновение в них активного промывочного агента может способствовать снижению показателя анизотропности породы за счет преимущественного понижения твердости и упругости в направлении плоскостей слоистости.

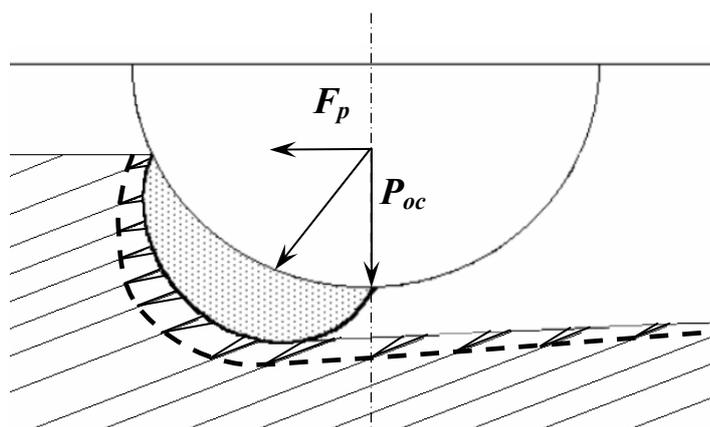


Рис. 3. Механизм выравнивания асимметрии ядра сжатия-смятия при разрушении твердой анизотропной горной породы

Интенсификация проникновения промывочного агента в трещины зоны предразрушения способствует повышению скорости роста трещин, обеспечивает выравнивание асимметрии ядра сжатия-смятия и соответствующее увеличение глубины поражения забоя, главным образом, для резцов, движущихся в направлении максимального сопротивления разрушению, то есть навстречу плоскостям слоистости анизотропной по-

роды (рис. 3).

С целью исследования воздействия активного промывочного агента на процесс разрушения анизотропной горной породы, разработана и реализована комплексная методика, включающая три этапа экспериментальных работ.

Первый этап исследований – планирование и реализация полного факторного эксперимента типа  $2^4$  по опытному бурению в стендовых условиях блока анизотропной горной породы (спекшегося туфа дацитового состава) в разных направлениях относительно плоскостей слоистости. В качестве промывочных агентов использованы техническая вода и активный промывочный агент – водный раствор сульфонола (ПАВ 0,3 %). Согласно плану эксперимента, исследования проведены варьированием четырех факторов: частоты враще-

ния инструмента, осевого усилия, количества ПАВ в технической воде и угла встречи оси инструмента с плоскостями слоистости анизотропной породы.

На основании результатов исследования получены зависимости прироста механической скорости бурения  $V_M$  (за счет использования активного промывочного агента) от осевого усилия  $P_{oc}$  и угла встречи с плоскостями слоистости анизотропной породы при разных частотах вращения (рис. 4). Анализ данных зависимостей показывает:

- по мере роста осевого усилия повышается прирост механической скорости бурения за счет воздействия активного промывочного агента на область деформирования и зону предразрушения забоя при любых углах встречи с плоскостями слоистости породы;
- более интенсивный прирост механической скорости бурения наблюдается при максимальных частотах вращения, что объясняется снижением напряжений и размеров области деформирования в породе при росте частоты вращения (усталостно-поверхностный режим разрушения);
- прирост механической скорости бурения является наибольшим при меньших значениях углов встречи  $\gamma$  на забое (25 – 30 градусов), что указывает на более активное воздействие промывочного агента на область деформирования и зону предразрушения породы, ориентированной прослоями преимущественно вдоль оси скважины.

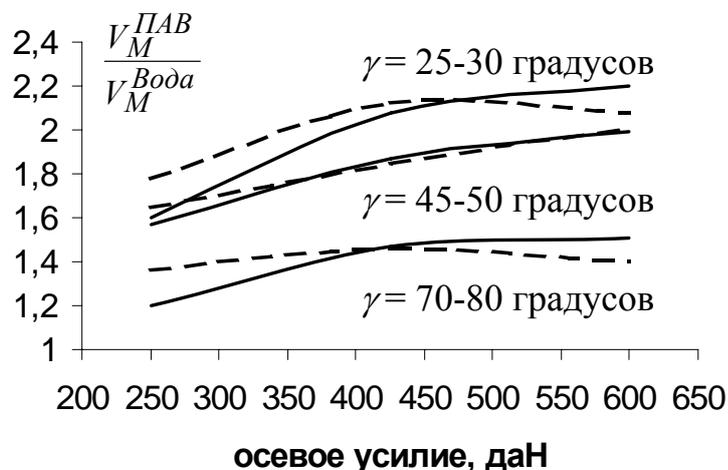


Рис. 4. Зависимости прироста механической скорости бурения от осевого усилия и угла встречи с плоскостями слоистости: при частоте вращения 560 мин<sup>-1</sup> (сплошные линии); 355 мин<sup>-1</sup> (пунктирные линии)

стремится устранить неравномерность разрушения забоя при движении резцов породоразрушающего инструмента навстречу и вслед плоскостям слоистости.

На втором этапе экспериментальных исследований произведены измерения диаметров пробуренных скважин. В результате отмечен рост диаметра ствола скважины по мере уменьшения угла встречи с плоскостями слоистости анизотропной породы на забое, что говорит о большей интенсивности фрезеро-

В результате экспериментальных исследований установлено, что воздействие активного промывочного агента в направлении забоя приводит к снижению показателя анизотропности породы по буримости, который составил: при бурении с технической водой  $K_a = 1,9$ ; при бурении с ПАВ  $K_a = 1,19$ .

Возможной причиной снижения показателя анизотропности породы по буримости является интенсификация процесса деформирования породы и развития зоны предразрушения, которая

вания стенки скважины при малых углах встречи с плоскостями слоистости породы на забое, связанной с меньшим сопротивлением разрушению со стороны стенки скважины при данной ориентации прослоев.



Рис. 5. Зона предразрушения в образце анизотропной породы: 1 – область разрушенной породы (до 0,12 мм); 2 – область пластических деформаций (до 0,42 мм). Увеличение в 57 раз.

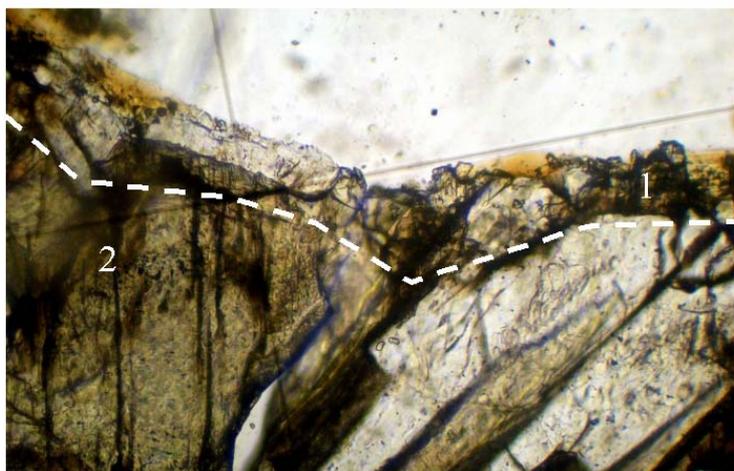


Рис. 6. Зона предразрушения в образце долерита: 1 – область чрезвычайно разрушенной породы (до 0,17 мм); 2 – область породы, ослабленной трещинами (до 1,7 мм). Увеличение в 155 раз

На третьем этапе экспериментальных работ исследована зона предразрушения анизотропной породы. Для изучения в отраженном свете под микроскопом ПОЛАМ Р-312 изготовлены шлифы из кернавого материала, полученного в результате разбуривания спекшегося туфа. Установлено, что зона предразрушения в анизотропной породе представлена преимущественно двумя областями (рис. 5): областью разрушенной породы и областью пластических деформаций. Первая область практически повторяет форму забоя скважины. Вторая область имеет округлую форму, охватывающую призабойную область и стенки скважины.

Для сравнения были проведены подобные исследования с использованием шлифов упруго-хрупкой породы (долерита). Установлено, что в упруго-хрупкой твердой породе первая область зоны предразрушения представлена чрезвычайно разбитой трещинами породой (рис. 6). Вторая область ослаблена явно выраженными трещинами.

В результате проведенного исследования выявлен новый структурный элемент анизотропных горных пород – ориентированные вдоль плоскостей слоистости пористые пространства, способствующие интенсификации развития деформационных процессов и обеспечивающие улучшение пропитываемости забойной области промывочным агентом.

тированные вдоль плоскостей слоистости пористые пространства, способствующие интенсификации развития деформационных процессов и обеспечивающие улучшение пропитываемости забойной области промывочным агентом.

В результате дополнительных исследований установлено, что направление проницаемости активной жидкой среды в забойную область по каналам фильтрации в основном согласуется с направлением прослоев анизотропной породы. При этом, пропитывание породы активной жидкостью вдоль прослоев происходит более интенсивно, чем перпендикулярно прослоям анизотропной породы.

Полагая, что область упругих деформаций в анизотропной породе имеет эллиптическую форму с вытянутостью перпендикулярно прослоям породы, а область проницаемости промывочного агента – эллиптическую форму с вытянутостью вдоль прослоев, следует ожидать снижения неравномерности разрушения анизотропной породы на забое.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о возможности уменьшения неравномерности разрушения забоя и снижения величины дестабилизирующего усилия за счет интенсификации процесса деформирования и развития зоны предразрушения забоя в твердой анизотропной горной породе.

**Четвертое защищаемое положение. Оптимизация конструкции алмазных коронок основывается на реализации бурения с оптимальными значениями осевого усилия при условии рациональных значений удельного контактного давления на забой, снижении поперечных перемещений породоразрушающего инструмента, а также интенсификации процесса деформирования породы и развития зоны предразрушения забоя скважины.**

Поддержание высокой механической скорости бурения при оптимизации осевого усилия и сохранении рациональных значений удельного контактного давления на забой возможно за счет обеспечения под режущими кромками породоразрушающего инструмента напряжений, способных создать режим объемного разрушения. Одним из возможных технических решений в этом случае является сокращение площади рабочего торца породоразрушающего инструмента, что, в первую очередь, имеет отношение к разработке современных конструкций коронок для снарядов со съемным кернаприемником.

Технологические методы повышения эффективности алмазного бурения основываются на интенсификации процесса деформирования и развития зоны предразрушения, способствующие снижению неравномерности разрушения твердой анизотропной породы на забое скважины.

Перечисленные методы определяют основу технических решений по оптимизации конструкции алмазных коронок и технологии их применения, большинство из которых учтены при разработке базовой конструкции алмазной коронки, на основании патента РФ на полезную модель № 49085 (рис. 7).

Возможность смещения секторов предлагаемой коронки относительно центра корпуса позволяет регулировать рабочую площадь разрушения при постоянных наружном и внутреннем диаметрах матрицы, что дает возможность использовать коронку при бурении снарядами со съемным кернаприемником.

Уменьшение площади рабочего торца коронки позволяет оптимизировать осевое усилие при сохранении рациональных значений удельного контактного давления на забой.

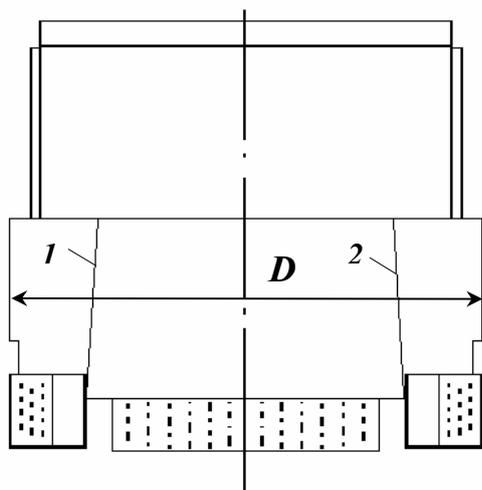


Рис. 7. Общий вид алмазной коронки

Благодаря увеличенному диаметру корпуса  $D$  коронки возможно снижение перекоса и поперечных перемещений породоразрушающего инструмента при бурении твердых анизотропных горных пород.

Возможность регулировать размерами секторов и их смещением относительно центра корпуса позволила спроектировать схемы рабочих торцов алмазной коронки, отличающихся разным уровнем функциональных возможностей (табл. 1).

Исполнение на внутренней стороне корпуса коронки продольных канавок  $1$  в виде лопастей с наклоном в сторону, противоположную вращению инструмента, позволяет активизировать поступление

промывочного агента в область деформирования и зону предразрушения, что в совокупности с продольными канавками  $2$  на внешней стороне корпуса коронки, выполненными в виде лопастей с наклоном в сторону вращения инструмента, создает активную циркуляцию промывочного агента в процессе бурения.

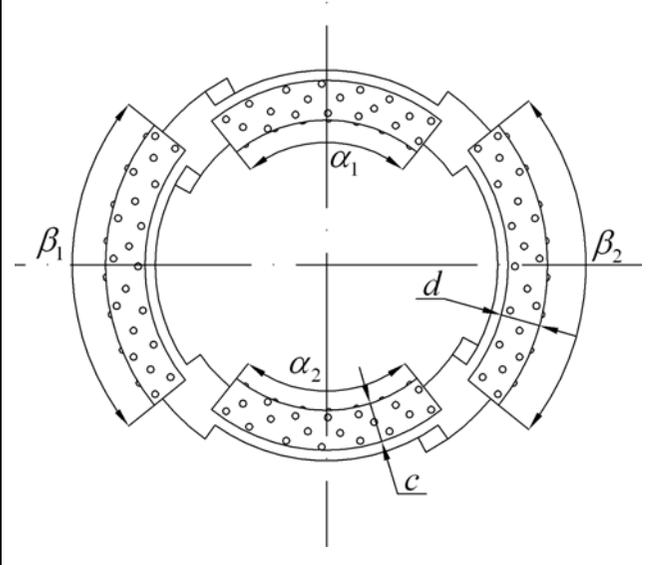
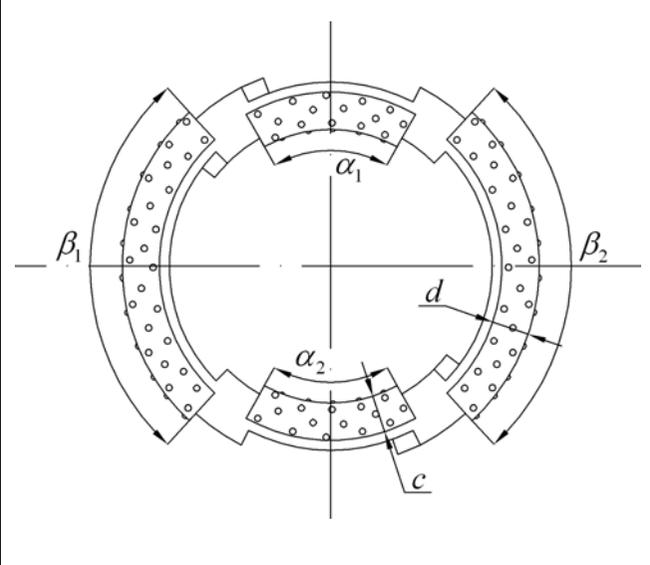
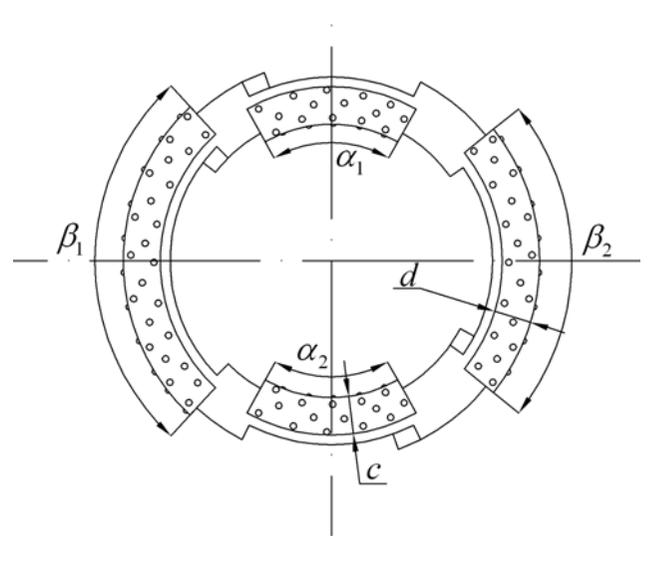
Таким образом, внутренние  $1$  и внешние  $2$  продольные канавки на корпусе коронки обеспечивают дополнительное пространство для беспрепятственной и активной циркуляции промывочного агента, способствуют снижению возможности заклинивания керна обломками и частицами, отколовшимися в процессе разрушения, а также повышают эффективность очистки забоя от разрушенной породы и охлаждение инструмента.

Кроме этого, исполнение внутренних продольных канавок на корпусе коронки позволяет использовать свободное пространство для размещения дополнительных средств активного воздействия на забой промывочным агентом (генераторов гидрокосилок, специальных лопастных заменяемых вставок и т.д.).

Предлагаемые конструктивные особенности частично реализованы в опытных коронках 01А3Н-59 со смещением секторов относительно центра корпуса (ширина каждого сектора коронки 6,0 мм).

Сравнительные испытания коронок 01А3Н-59 при бурении с водным раствором сульфанола (ПАВ 0,3 %) показали увеличение механической скорости бурения в среднем до 19 % в сравнении с бурением базовой коронкой 01А3-59. При этом, применение активного промывочного агента в сравнении с бурением технической водой опытной коронкой 01А3Н-59 позволило добиться увеличения механической скорости бурения и углубки за один оборот на 23 %, что для базовой коронки составило 9 %.

Таблица 1. Возможные схемы рабочих торцов алмазной буровой коронки

Рабочий торец концентрической формы	Рабочий торец эллиптической формы	Рабочий торец асимметричной формы
1	2	3
		
$\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_1 = \beta_2$	$\alpha_1 = \alpha_2; \beta_1 = \beta_2$	$\alpha_1 = \alpha_2; \beta_1 \neq \beta_2$
Возможна вариация параметрами $c$ и $d$		
<p>Обеспечивает снижение до оптимальных пределов осевого усилия без изменения удельного контактного давления на забой</p>	<p>Может использоваться в совокупности со специальными стабилизирующими компоновками, по аналогии с техническим решением (а.с. № 1680937)</p>	<p>Способствует повышению эффективности бурения за счет реализации вращения коронки вокруг оси скважины</p>

Уменьшение площади промывочных каналов опытных коронок 01А3Н-59 позволило активизировать поступление промывочного агента в забойную область и добиться увеличения механической скорости на 29 % при реализации режима объемного разрушения.

В целом, результаты стендовых испытаний новых алмазных коронок 01А3Н-59 показали эффективность их применения при бурении скважин в твердых горных породах.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

Основные выводы, научные и практические результаты диссертационного исследования заключаются в следующем:

1. Эффективность алмазного бурения обусловлена минимальным отклонением стволов скважин от проектных направлений благодаря снижению скорости фрезерования стенки скважины и увеличению скорости углубки забоя при условии оптимизации осевого усилия на породоразрушающий инструмент.

2. Факторы снижения скорости фрезерования при бурении твердых анизотропных пород определяются уменьшением дестабилизирующего усилия, а факторы повышения скорости углубки – интенсификацией процесса деформирования и развития зоны предразрушения забоя.

3. При работе единичного алмазного резца породоразрушающего инструмента в твердой анизотропной породе на передней грани резца образуется ядро сжатия-смятия асимметричной формы. Асимметричность ядра сжатия-смятия не одинакова при движении резца в направлениях навстречу и вслед плоскостям слоистости, что объясняется разными упругими характеристиками анизотропной породы относительно прослоев, определяет неравномерность разрушения забоя и, соответственно, величину дестабилизирующего усилия.

4. Зона предразрушения в анизотропной горной породе представлена преимущественно двумя областями: областью разрушенной породы и областью пластических деформаций. Дополнительным фактором развития зоны предразрушения в анизотропной породе является наличие пористых пространств, сформированных в направлении плоскостей слоистости. Ориентированная пористость способствует интенсификации развития деформационных процессов, снижению неравномерности разрушения забоя и, соответственно, повышению эффективности алмазного бурения.

5. Снижение неравномерности разрушения твердой анизотропной породы на забое обусловлено выравниванием асимметрии ядра сжатия-смятия, в связи с активным развитием трещин отрыва и трещин зоны предразрушения в направлении плоскостей слоистости, а также за счет интенсификации проникновения промывочного агента в пористые пространства.

6. Оптимизация конструкции алмазных коронок позволяет реализовать бурение скважин с оптимальными значениями осевого усилия и рациональными значениями удельного контактного давления на забой, при уменьшении боковых перемещений породоразрушающего инструмента на забое, а так-

же интенсификации развития деформационных процессов при разрушении породы и активном формировании зоны предразрушения забоя.

7. На основании анализа механики разрушения твердых анизотропных горных пород обоснована базовая конструкция алмазной коронки, способствующая повышению эффективности бурения твердых горных пород. Вместе с тем, разработаны возможные схемы рабочих торцов коронки, отличающиеся разным уровнем функциональных возможностей.

8. Результаты стендовых испытаний новых алмазных коронок со смещением секторов относительно центра корпуса показали эффективность применения данного типа инструмента при бурении скважин в твердых горных породах.

## **ОСНОВНЫЕ ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Сборники научных трудов:

1. Нескоромных, В.В. Анализ влияния технических и технологических параметров на скорость резания горной породы алмазным резцом / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин, Д.А. Коновалов // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые: сб. науч. тр. / Уральская гос. горно-геологическая академия. – 2003. – Вып. 25. – С. 81 – 87.

2. Нескоромных, В.В. Аналитическое исследование влияния технических и технологических факторов на механическую скорость бурения алмазным породоразрушающим инструментом / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: сб. науч. тр. / Иркутский гос. техн. ун-т. – 2004. – Вып. 4. – С. 40 – 45.

3. Нескоромных, В.В. Аналитическое исследование влияния усилия резания-скалывания и коэффициента сопротивления на процесс разрушения горной породы алмазным резцом / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: сб. науч. тр. / Иркутский гос. техн. ун-т. – 2003. – Вып. 3. – С. 212 – 217.

4. Нескоромных, В.В. Аналитическое исследование процесса разрушения горной породы алмазным резцом / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: сб. науч. тр. / Иркутский гос. техн. ун-т. – 2002. – Вып. 2. – С. 273 – 281.

5. Нескоромных, В.В. Исследование углубки алмазного породоразрушающего инструмента в твердую горную породу / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: сб. науч. тр. / Иркутский гос. техн. ун-т. – 2004. – Вып. 4. – С. 45 – 50.

6. Нескоромных, В.В. Лабораторные исследования формирования и развития зон предразрушения в горных породах / В.В. Нескоромных, А.И. Лам-

бин, П.С. Пушмин // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: сб. науч. тр. / Иркутский гос. техн. ун-т. – 2005. – Вып. 5. – С. 316 – 320.

7. Нескоромных, В.В. Механика разрушения горной породы алмазным резцом с учетом деформационно-пластических явлений в процессе резания-скалывания / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин, Р. Пурэвсурэн // Известия ВУ-Зов. Геология и разведка: сб. науч. тр. – 2005. – Вып. 1. – С. 48 –51.

8. Нескоромных, В.В. Экспериментальные исследования буримости анизотропной горной породы / В.В. Нескоромных, А.И. Ламбин, П.С. Пушмин // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: сб. науч. тр. / Иркутский гос. техн. ун-т. – 2005. – Вып. 5. – С. 310 – 316.

9. Пушмин, П.С. Некоторые факторы интенсификации процесса разрушения горных пород / П.С. Пушмин // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2004. – № 4. – С. 182.

#### Международные конференции:

10. Нескоромных, В.В. Аналитическое исследование влияния технических и технологических факторов на механическую скорость бурения / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин // Проблемы геологии и освоения недр: сб. науч. тр. VIII международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 400-летию города Томска. – Томск, 2004. – С. 581 – 583.

11. Нескоромных, В.В. Влияние зоны предразрушения забоя на искривление при бурении анизотропных горных пород / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин, А.А. Малахов // Проблемы геологии и освоения недр: сб. науч. тр. VIII международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 400-летию города Томска. – Томск, 2004. – С. 583 – 585.

#### Патенты на полезные модели

12. Пат. 49085 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> E21В 10/48. Алмазная буровая коронка / В.В. Нескоромных, П.С. Пушмин, Р. Пурэвсурэн. – № 2005119091/22, заявл. 20.06.05, опубл. 10.11.05, Бюл. № 31.