

На правах рукописи



**КОРНЕЕВ Петр Александрович**

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРНОГО  
ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ  
ШПУРОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

Специальность: 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины»

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тула – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тульский государственный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**ЖАБИН Александр Борисович**

Официальные оппоненты:

**СЫСОЕВ Николай Иванович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»/профессор кафедры горного дела;

**КУЗИЕВ Дильшад Алишерович**, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС»/доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

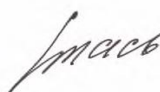
Защита диссертации состоится « 27 » ноября 2024 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.417.05 при Тульском государственном университете по адресу: 300012, г. Тула, просп. Ленина, д. 90, 6-й уч. Корпус, ауд.220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТулГУ (г. Тула, просп. Ленина, 92) и на сайте <http://www.tsu.tula.ru>).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 300012, г. Тула, просп. Ленина, 92, Ученый совет ТулГУ, факс: +7 (4872) 35-81-81.

Автореферат разослан «27» сентября 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Стась  
Галина Викторовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Вращательное бурение горных пород на угольных шахтах является неотъемлемой частью всего технологического процесса по добыче полезных ископаемых. В настоящее время оно применяется в основном при бурении шпуров для проведения анкерного крепления горных выработок с использованием сталеполимерных и механических анкеров.

Повышение эффективности ведения горных работ при разработке месторождений полезных ископаемых, а также освоении подземного пространства мегаполисов – одна из основных задач, решаемых в горной промышленности. Увеличение масштабов горного производства требует постоянного совершенствования техники и технологии крепления горных выработок. В связи с этим совершенствование технических средств и горного инструмента для вращательного бурения шпуров является актуальной научно-практической задачей.

Диссертационная работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.607.21.0028 от 05.06.2014 г.

**Цель работы.** Создание горного инструмента, обеспечивающего повышение эффективности вращательного бурения шпуров на угольных шахтах.

**Идея работы** заключается в использовании буровых штанг с геометрией поперечного сечения, обеспечивающей увеличение свободного проходного пространства для удаления буровой мелочи и лезвий буровых резцов с повышенной износостойкостью.

**Методы исследований** – научный анализ и обобщение опыта использования вращательного бурения на угольных шахтах, а также результатов ранее выполненных исследований бурения горных пород рабочим инструментом; теоретические исследования геометрии и прочности буровых штанг в программных комплексах «T-FLEX CAD» и «Компас-3D»; производственные исследования на угольных шахтах Кузбасса серийных и разработанных конструкций резцов; обработка экспериментальных данных с применением методов теории вероятности и математической статистики; сопоставление расчетных и экспериментальных данных.

### **Научные положения, выносимые на защиту.**

1. Снижение массы буровой штанги и повышение площади свободного пространства для удаления буровой мелочи при аналогичной прочности в сравнении с ближайшим аналогом – серийной штангой с профилем в форме равностороннего треугольника с углами, усеченными прямыми, параллельными сторонам треугольника, обеспечивается использованием поперечного сечения в форме треугольника Рело в конструкции буровой штанги. При этом диаметр окружности, описанной вокруг треугольника Рело, равен расстоянию между сторонами равностороннего треугольника, расположенных напротив прямых линий, отсекающих его стороны в профиле поперечного сечения серийной штанги.

2. Повышение скорости бурения шпуров в горных породах крепостью до 8 единиц по шкале М.М. Протодяконова резцами двухперой асимметричной

конструкции с передним углом 0 градусов при использовании пневматического переносного анкероустановщика и увеличение их ресурса достигается применением в резцах лезвий в форме эллипсообразного овала Кассини по сравнению с серийными резцами.

3. Процесс производства шпуров под анкерное крепление трхперыми резцами с симметрическими режущими кромками, характеризующийся скоростью бурения, необходимо осуществлять гидравлическими машинами с учетом коэффициента крепости горных пород по установленной зависимости.

**Научная новизна работы:**

- обоснована конструкция буровой штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело, отличающаяся меньшей массой и большей площадью свободного пространства для удаления буровой мелочи при аналогичной прочности в сравнении с серийными аналогами;

- обоснована конструкция бурового резца с режущими вставками в форме эллипсообразного овала Кассини, отличающаяся большей скоростью бурения и ресурсом в сравнении с ближайшими серийными аналогами.

- установлена зависимость скорости бурения шпуров трехперыми резцами для гидравлических бурильных машин.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается корректной постановкой задач исследований; результатами теоретических исследований и производственных испытаний, проведенных на угольных шахтах. а также рекомендациями к внедрению разработанных конструкций буровых штанг и резцов, выданными экспертными и научно-исследовательскими организациями.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке буровых штанг и режущих пластин резцов для процесса вращательного бурения шпуров и повышении его эффективности на угольных шахтах.

**Реализация работы.** Результаты исследований в полном объеме используются ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» при разработке и создании буровых станков и инструмента. Разработанные конструкции буровых резцов и штанг рекомендованы к внедрению на угольных шахтах научно-исследовательскими организациями: Europejska Grupa Innowacyjna Sp. z o.o. (Польша); ООО «Алтик ШахтМонтаж», ООО «ОК «Сибшахтострой». Результаты исследований положены в основу научно-методических и учебных материалов дисциплины «Горные машины оборудование» в ТулГУ.

**Апробация работы.** Научные положения, практические разработки диссертационной работы и отдельные ее разделы докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (г. Новокузнецк, 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources» (г. Новокузнецк, 2016 г.); Всероссийской конференции «Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry devoted to the 85th anniversary of Academician Mikhail Kurlenya» (г. Новосибирск, 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Knowledge-based Technologies in Development and

Utilization of Mineral Resources» (г. Новокузнецк, 2019 г.); Международной научно-практической конференции «Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах» (г. Новокузнецк, 2021 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество» (г. Новокузнецк, 2021 г.), других конференциях гг. Северный Чарлстон (2016), Магнитогорск (2019), Санкт-Петербург (2019), Москва (2017 и 2020). Екатеринбург (2020), Кемерово (2022) и научных семинарах в ТулГУ (2022-2024 гг.).

**Личный вклад** заключается в разработке новых конструкций горного инструмента; проведении исследований разработанных буровых штанг посредством математического моделирования в программных комплексах «T-FLEX CAD» и «Компас-3D»; проведении шахтных испытаний серийных и разработанных конструкций резцов для вращательного бурения шпуров, обработке и интерпретации экспериментальных данных, а также апробации работы и подготовке публикаций

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации; 3 статьи в изданиях, включенных в международные реферативные базы данных Scopus и Web of Science; 7 статей в прочих изданиях и получено 5 патента РФ на изобретения.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 102 страницах машинописного текста, содержит 59 иллюстрации, 13 таблиц, список литературы из 122 наименований и 6 приложений.

Автор выражает глубокую благодарность доктору технических наук, профессору Дворникову Л.Т. за помощь и ценные советы при написании диссертационной работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Современная теория бурения была создана в результате объемных теоретических и экспериментальных исследований. У истоков изучения механизма вращательного бурения шпуров стояли такие исследователи, как: Дерягин А.В., Асикритов М.Д., Островский А.П., Родионов Г.В., Володченко В.И., Эпштейн Е.Ф., Суханов А.Ф., Михайлов В.Г., Дворников Л.Т., Сысоев Н.И. и др. Учеными и практиками были получены следующие результаты. Предложены методические решения по оценке эффективности работы электросверл для бурения шпуров в различных условиях; установлены основные коренные зависимости, описывающие процесс бурения; введены понятия оптимальной частоты вращения рабочего инструмента, оптимальных усилия подачи и внедрения инструмента за один оборот; разработан ряд конструкций буровых резцов. Полученные результаты нашли широкое применение в отечественной горнодобывающей промышленности.

Интенсификация процесса добычи полезных ископаемых на современном этапе развития горной отрасли, переход к бурению шпуров малого диаметра, а

также широкое применение высокопроизводительных гидравлических буровых установок, потребовали совершенствование конструкции и научного обоснования параметров горного инструмента, обеспечивающих полное использование технических возможностей существующих горных машин.

На основании изложенного, а также в соответствии с целью работы были поставлены следующие задачи исследований:

1. Обосновать рациональную форму поперечного сечения буровой штанги, обеспечивающую эффективное удаление отбуренной горной породы.
2. Определить эксплуатационные характеристики разработанной буровой штанги в сравнении с серийным инструментом посредством математического моделирования.
3. Обосновать рациональную геометрию режущих вставок буровых резцов и изготовить их экспериментальные конструкции.
4. Определить эксплуатационные характеристики и уточнить область применения разработанных и серийных резцов посредством шахтных испытаний.

Повышение эффективности вращательного бурения шпуров может быть достигнуто посредством использования в конструкции буровой штанги поперечного сечения с рациональной геометрией, обеспечивающей беспрепятственное удаление отбуренной горной породы с сохранением ею требуемой прочности, обусловленной параметрами бурового станка.

В связи с этим была разработана новая конструкция штанги, удовлетворяющей этим требованиям. Особенностью предлагаемой буровой штанги является использование поперечного сечения в форме треугольника Рело (рисунок 1). С использованием пакета компьютерных программ «Компас-3D» установлено следующее. Применение такого поперечного сечения позволяет исключить на нем точки, в которых происходит концентрация напряжений, увеличить продольную и осевую жесткости штанги, а также обеспечивает одинаковый момент инерции на ее главных центральных осях.

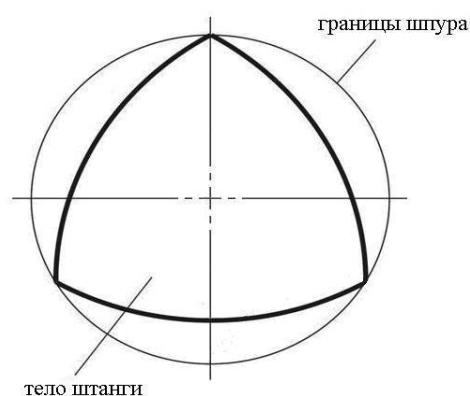


Рисунок 1. Буровая штанга с поперечным сечением в форме треугольника Рело

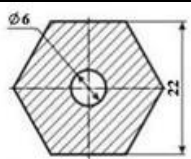
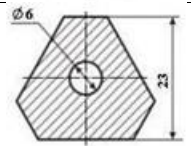
Математическое моделирование разработанной штанги и ее аналогов на предмет определения коэффициента запаса прочности по эквивалентным напряжениям, а также площади свободного пространства (площадь между телом штанги и поверхностью шпура), через которую происходит удаление буровой

мелочи в процессе бурения шпура, было произведено с использованием компьютерной программы «T-FLEX CAD».

В качестве аналогов разработанной штанги были приняты серийные штанги, выпускаемые ООО «Горный инструмент», представленные в таблице 1.

На рисунке 2 представлена трехмерная модель исследуемой буровой штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело, при воздействии на нее в процессе работы осевого усилия и крутящего момента, выполненная в системе автоматизированного проектирования «T-FLEX CAD». Модель штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело содержит 845 узлов и состоит из 2780 объемных элементов.

Таблица 1 – Штанги производства ООО «Горный инструмент»

№ п/п	Модель штанги	Профиль поперечного сечения буровой штанги
1	ШБ 22-L/22-R17 [88]	
2	ШБТ 23-L/23-M16 [88]	

Результаты моделирования этой буровой штанги на предмет определения коэффициента запаса прочности по эквивалентным напряжениям приведены на рисунке 3. Значения приложением к ней внешних нагрузок в виде осевого усилия и крутящего момента составили  $F_z=11$  кН и  $M_z=251$  Н·м соответственно, которые характерны для пневматической буровой установки «RAMBOR», предназначенной для вращательного бурения вертикальных и наклонных шпуров в горных выработках с коэффициентом крепости пород меньше 10. Из рисунка 3 видно, что в процессе работы наибольшие напряжения в исследуемой буровой штанге возникают в области соединения хвостовика с телом (на рис. 3 данная область выделена красным цветом).

Эксплуатационные характеристики разработанных конструкций буровых штанг, а также их аналогов, полученные по результатам компьютерного моделирования, приведены в таблице 2, где  $S_{св}$  – площадь свободного пространства между телом штанги и буримым шпуром, мм<sup>2</sup>;  $m$  – масса 1 метра штанги, кг.

Коэффициент запаса прочности по эквивалентным напряжениям – количественное отношение рассчитанных эквивалентных напряжений к допускаемому напряжению, которое указывается в характеристиках материала, из которого изготовлена штанга.

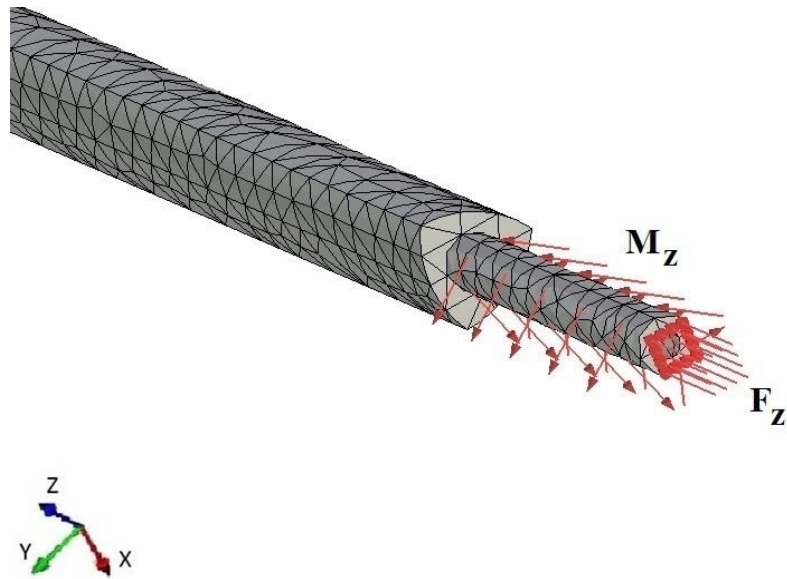


Рисунок 2 – Трехмерная модель буровой штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело с приложенными нагрузками

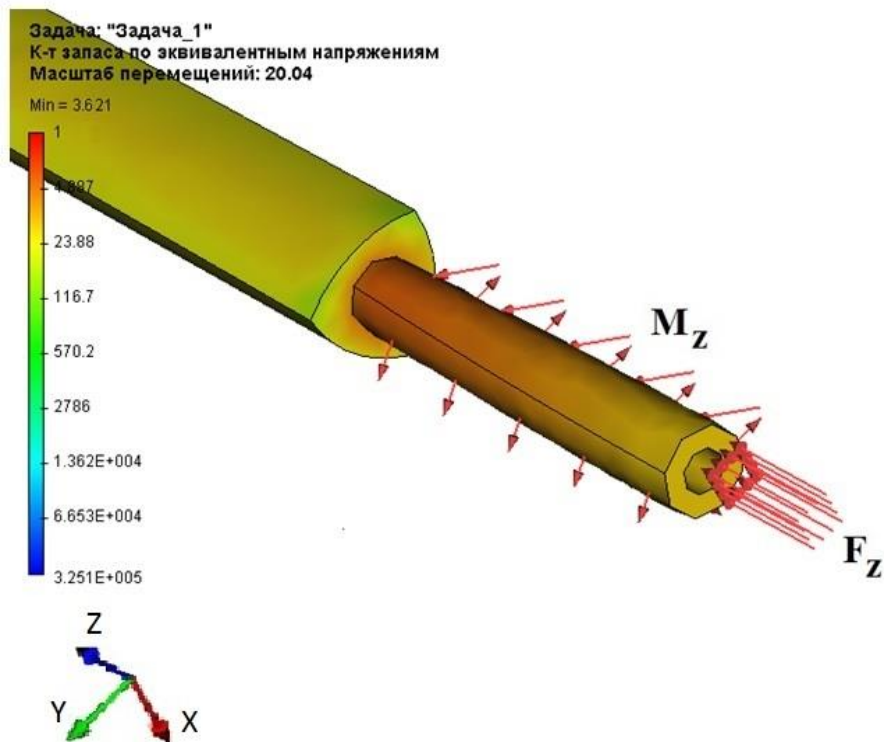


Рисунок 3 – Определение коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям для буровой штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело



Таблица 2 – Характеристики конструкций штанг для вращательного бурения шпуров

№ п/п	Модель штанги	Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям	$S_{св}$ , мм <sup>2</sup>	$m$ , кг
1	ШБ 22-L/22-R17	3,5	286,7	3
2	ШБТ 23-L/23-M16	1,3	287,5	2,8
3	Штанга буровая с поперечным сечением в форме треугольника Рело	3,6	321,2	2,7

Анализ расчетных данных, приведенных в таблице 2, свидетельствуют о следующем. Предлагаемая конструкция буровой штанги имеет значительные преимущества: обладает большим коэффициентом запаса прочности по эквивалентным напряжениям (3,6), меньшей массой (на 4%) и обеспечивает улучшенное удаление отбуренной горной породы (на 12 %) в сравнении с ближайшим аналогом – серийной штангой ШБТ 23-L/23-M16.

Предложены конструкции штанг для вращательного бурения шпуров, показанные на рисунке 4.

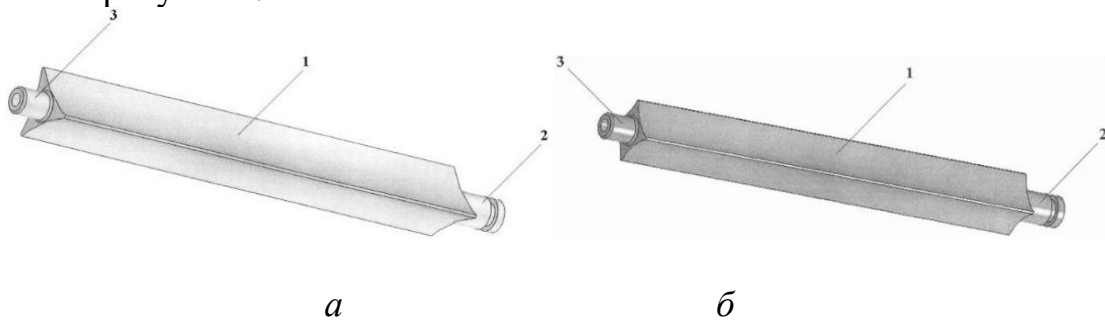


Рисунок 4 – Буровые штанги:

*а* – штанга с поперечным сечением в виде гипоциклоиды со скругленными концами ветвей; *б* – штанга с поперечным сечением в виде астроида со скругленными концами ветвей

Технический результат, получаемый при использовании этих конструкций, заключается в увеличении прочности (*а*) и повышении устойчивости (*б*) штанг при передаче крутящих моментов на буровой инструмент. Выполнение концов ветвей скругленными, увеличивает пространство между стенкой шпура и телом штанги, что улучшает процесс удаления отбуренной горной породы.

Установлено, что оптимальным конструкционным материалом для производства буровых штанг является буровой прокат шведской компании «Sandvik», выдерживающий нагрузку в виде крутящего момента до 455 Н·м.

Также было выявлено, что применение крепления для штанг с резьбовым соединением R17, является наиболее надежным по сравнению с соединением M14.

Производительность вращательного бурения шпуров зависит от степени износа горного инструмента. Так, результаты проведенных автором исследований, направленных на установление причин выхода резцов из строя и установление веса каждой ее в общем объеме поломок горного инструмента, показывают, что основной причиной выхода из строя буровых резцов является затупление вольфрамкобальтовых пластин, которое составляет около 95% от всех выявленных причин.

Известно, что на эффективность процесса вращательного бурения оказывают влияние форма и углы заточки лезвий резцов (рисунок 5).

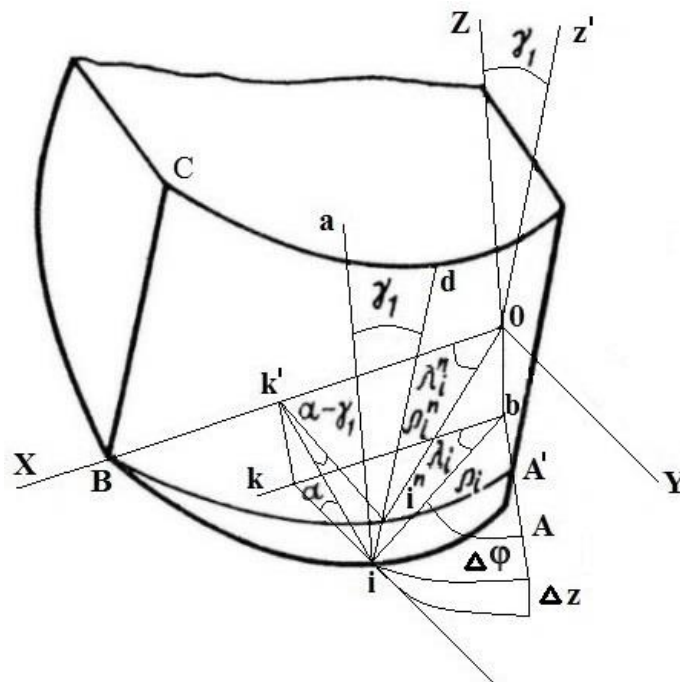


Рисунок 5 – Форма вставки с постоянным передним рабочим углом резания по всей длине режущей кромки

Л.Т. Дворниковым и О.Д. Алимовым была предложена зависимость для производства режущих вставок резцов, позволяющая обеспечивать постоянство в процессе бурения переднего рабочего угла резания по всей длине режущей кромки:

$$tg\gamma_p = \frac{tg\gamma_1 - tg\left(\frac{1}{\rho_i^n} \cdot \frac{\Delta z}{\Delta\varphi}\right) \cos\lambda_i^n}{\cos\lambda_i^n + tg\left(\frac{1}{\rho_i^n} \cdot \frac{\Delta z}{\Delta\varphi}\right) tg\gamma_1}, \quad (1)$$

где  $\gamma_1$  – передний отрицательный угол заточки;  $\Delta z$  – расстояние перемещения режущей кромки резца;  $\Delta\varphi$  – угол поворота резца;  $\lambda_i$  – угол между плоскостями;  $\rho_i$  – координата точки на режущей кромке резца.

По мнению авторов для наиболее распространенных на практике бурения передних углов заточки  $\gamma_1 = -15^\circ$  и задних углов  $\alpha = 30^\circ$  искомая кривая с достаточной степенью точности может быть аппроксимирована уравнением эллипса

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (2)$$

где  $x$  и  $y$  – координаты точек направляющей;  $a$  и  $b$  большая и малая полуоси эллипса.

Однако существенным недостатком вставки с геометрией в форме эллипса является отсутствие концентраторов напряжений на лезвии, что приводит к колебанию бурового става относительно оси шпура при бурении и повышает нагрузки на режущие пластины резца, а это в свою очередь способно привести к их сколу.

Для устранения данного недостатка было предложено использование режущей вставки в форме эллипсообразного овала Кассини (рисунок 6).

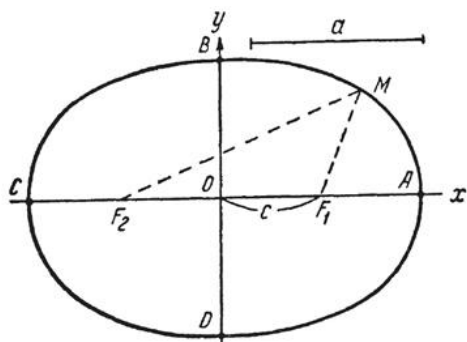


Рисунок 6 – Геометрия режущей вставки в форме эллипсообразного овала Кассини

На рисунке 6  $F_1$  и  $F_2$  – фиксированные фокусы;  $M$  – геометрическое место точек, для которых произведение расстояний  $F_1M \cdot F_2M = a^2$ ;  $a$  – постоянная величина.

Овал Кассини, как геометрическая кривая, описывается уравнением

$$\left(x^2 + y^2\right)^2 - 2c^2\left(x^2 - y^2\right) = a^4 - c^4. \quad (3)$$

Изменение отношения величины  $a$  к величине  $c$  уравнения (3) приводит к изменению формы кривой овала Кассини (см. рисунок 6). В случае эллипсообразного овала Кассини необходимо чтобы  $a > c\sqrt{2}$ .

Буровой резец с режущей вставкой в форме эллипсообразного овала Кассини представлен на рисунке 7, *а*.

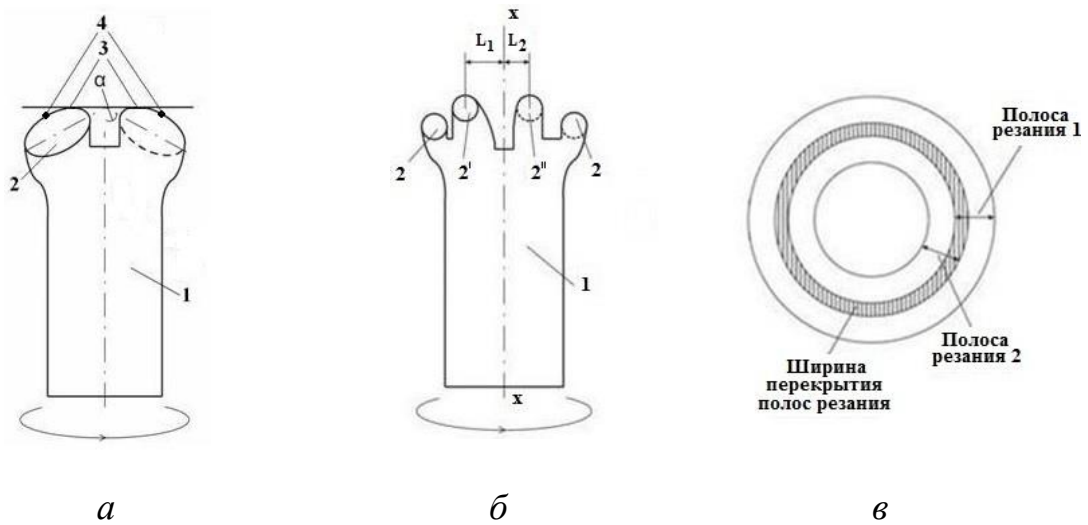


Рисунок 7 – Буровые резцы:

*а* – резец с режущей вставкой в форме эллипсообразного овала Кассини;  
*б* – резец с ассиметричной кольцевой рассечкой; *в* – схема  
 резания резцом с ассиметричной кольцевой рассечкой

Этот буровой резец состоит из корпуса *1*, двух перьев с твердосплавными режущими вставками *2* в форме эллипсообразного овала Кассини, лезвия которых *3*, выполнены вдоль большей оси овала, а большие оси овалов наклонены к оси резца под острым углом  $\alpha$ .

При рассмотрении геометрических свойств эллипсообразного овала Кассини можно отметить на нем две точки, обладающих кривизной, которая стремится к бесконечности (см. рисунок 7, *а*, точки *4*). Достоинством такой режущей вставки является снижение колебаний резца в процессе разрушения им горной породы, в виду наличия на лезвиях этих точек, обеспечивающих полный контакт лезвий с забоем. Помимо этого, предлагаемая конструкция резца позволяет снижать уровень затупления лезвий *3* в отличие от известных конструкций буровых резцов, у которых взаимодействие лезвий с разрушаемым забоем происходит по размещенным на них концентраторам напряжений.

Стоит отметить, что наименее энергоемкое бурение горных пород достигается при разрушении их крупным сколом. Так, в настоящей диссертационной работе была предложена конструкция бурового резца с ассиметричной кольцевой рассечкой, которая позволяет создавать резцы с разными комбинациями полулезвий, соответствующих различным условиям бурения шпуров, приведенная на рисунке 7, *б* и *в*.

Буровой резец включает в себя корпус *1* (см. рисунок 7, *б*) и два пера с прерывистыми лезвиями, изготовленными в виде периферийных *2* и внутренних *2'* и *2''* полулезвий, при этом внутренние полулезвия установлены ассиметрично относительно оси резца на расстояниях  $L_1$  и  $L_2$ .

В процессе бурения полулезвия *2*, *2'* и *2''* срезают горную породу на забое. За счет ассиметричной установки внутренних полулезвий *2'* и *2''*, полосы их

резания перекрывают друг друга (см. рисунок 7, в) и тем самым обеспечивают разрушение забоя крупным сколом, что влечет снижение энергоемкости процесса бурения.

Экспериментальные образцы буровых резцов «Кузбас-300», режущие вставки которых были выполнены в форме эллипсообразного овала Кассини, были изготовлены в количестве 8 штук на базе серийного бурового резца РП 30-14Т (рисунок 8, а) производства ООО «Кузнецкий машиностроительный завод» посредством переточки его лезвий (рисунки 8, б и 9).

На первом этапе для осуществления сравнительной оценки экспериментальных резцов с серийным инструментом при испытаниях использовались резцы РПУ-30 (см. рисунок 8, в), выпускаемые ООО «Горный инструмент» и предназначенные для работы в данных горно-геологических условиях (см. рисунок 8, в). Количество образцов каждой конструкции резцов определялось в соответствии с рекомендациями ООО «Горный инструмент».



а

б

в

Рисунок 8 – Буровые резцы:

а – резец РП 30-14Т; б – экспериментальный резец «Кузбас-300»; в – резец РПУ-30



Рисунок 9 – Экспериментальные буровые резцы «Кузбас-300» после проведения испытаний

После затупления экспериментальных резцов проводилась их повторная заточка и использование в дальнейших испытаниях. Критерием затупления резцов являлось падение скорости бурения в два раза от первоначальной, которая была зафиксирована при бурении острым резцом. Скорость бурения вычислялась как отношение глубины пробуренного шпура ко времени его бурения. Ресурс инструмента определялся как максимальное количество пробуренных шпурометров одним резцом до затупления. Результаты исследований приведены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что область наиболее эффективного применения разработанной конструкции резца с лезвиями в форме эллипсообразного овала Кассини («Кузбасс-300») включает в себя как уголь, так и горные породы средней крепости, порядка 8 по шкале профессора М.М. Протоdjeяконова.

Таблица 3 – Результаты испытаний буровых резцов

Место проведения исследований, буровая установка	Горная порода / средняя крепость по шкале М.М. Протоdjeяконова	Скорость бурения (м/мин) / марка резца / (кол-во)		Ресурс резца (м) / (кол-во)	
		Серийный РПУ-30	«Кузбасс-300»	Серийный РПУ-30	«Кузбасс-300»
ООО «Шахта Есаульская», Конвейерный штрек 29-39, буровая установка MQT	Уголь / 1	1,86 4 шт.	2,01 4 шт.	132,4 4 шт.	133/ 4 шт.
ООО «Шахта Алардинская», Вентиляционный штрек 3-14, буровая установка Rambor	Песчаник, алевролит / 8	0,79 4 шт.	0,93 4 шт.	2,68 4 шт.	4,65 4 шт.

При составлении математической пропорции по полученным данным (см. таблицу 3), было установлено, что экспериментальный резец «Кузбасс-300» двухперой асимметричной конструкции с передним углом 0 градусов (см. рисунок 8, б и 9), лезвия которого выполнены в форме дуг овала Кассини, обеспечивает скорость бурения на 18 % больше чем у серийного резца РПУ-30 (см. рисунок 8, в), имеющего лезвия в форме ломанной с тремя вершинами, две из которых определяют начало и конец лезвия, а третья – опережающий концентратор напряжений. Кроме того, экспериментальный резец обладает ресурсом в 1,74 раза выше по сравнению с резцом РПУ-30.

Бурение шпуров для анкерного крепления выработок является одним из важнейших технологических процессов при подземной добыче угля, от оперативности которого напрямую зависит прибыль горного предприятия. В этой связи оценка скорости бурения в зависимости от типа бурильной установки, конструкции резца и крепости горной породы приобретает особую значимость для планирования временных затрат на осуществление буровых работ. Учитывая это, на втором этапе в процессе проведения исследований были также получены зависимости скорости бурения от крепости разрушаемых горных пород для различных типов используемых бурильных установок и резцов.

Наличие зависимостей, обеспечивающих определение скорости бурения аналитически на основании характеристик горной породы и технологического процесса, способствует значительному повышению качества планирования и эффективности буровых работ. Наиболее обоснованной здесь можно считать следующую зависимость, которая была получена О.Д. Алимовым и Л.Т. Дворниковым на основании комплексных исследований процесса вращательного бурения шпуров:

$$V = \frac{2,19N}{S_{ш} \cdot f}, \quad (4)$$

где  $V$  – скорость бурения, м/мин;  $N$  – мощность, расходуемая на бурение, Вт;  $S_{ш}$  – площадь сечения шпура, см<sup>2</sup>.

Следует отметить, что выражение (4) было установлено для широкого применения гидравлических анкероустановщиков и трехперых резцов. В этой связи проверка соответствия расчетных значений скорости, полученных с его помощью, представляет значительный научный и практический интерес, так как позволяет оценить возможность использования этой зависимости для планирования буровых работ в современных условиях.

В настоящее время в практике горного производства наиболее массово используются резцы двухперой и трехперой конструкций. Выбор типа резца определяется крепостью горной породы и используемой бурильной машиной. Трехперые буровые резцы применяются, как правило, для работы с гидравлическими буровыми установками, обладающими значительными крутящим моментом и усилием подачи. Наличие третьего пера в конструкции таких резцов снижает нагрузку на каждое перо в отдельности.

Двухперые резцы в основном применяются с пневматическими и электрическими буровыми станками. Использование такого инструмента для работы с гидравлическими буровыми установками зачастую приводит к поломке резцов.

На рисунке 10 представлены условные обозначения параметров бурового резца:  $1$  – корпус резца,  $2$  и  $3$  – главные режущие кромки твердосплавной пластины,  $h$  – высота пера от рассечки (в данном случае совпала с высотой режущей пластины),  $M$  – присоединительная резьба,  $D$  – диаметр резца,  $\alpha$  – задний угол.

При проведении исследований второго этапа использовались технически острые резцы для вращательного бурения шпуров с номинальным диаметром бурения 28 мм и передним углом 0 градусов следующих типов.

*Tun 1* – двухперый с асимметричными режущими кромками, высотой пера от рассечки 12 мм, U – образной рассечкой 5 мм, маркой вставки ВК6В (толщина 4,5 мм), присоединительной резьбой М16, задним углом 18 градусов.

*Tun 2* - двухперый с асимметричными режущими кромками, высотой пера от рассечки 9 мм, U – образной рассечкой 5 мм, маркой вставки ВК6В (толщина 3 мм), присоединительной резьбой М14, задним углом 22 градуса.

*Tun 3* - трехперый с симметричными режущими кромками, высотой пера от рассечки 11 мм, кольцевой рассечкой 4 мм, маркой вставки ВК6В (толщина 3,7 мм), присоединительной резьбой М16, задним углом 25 градусов.

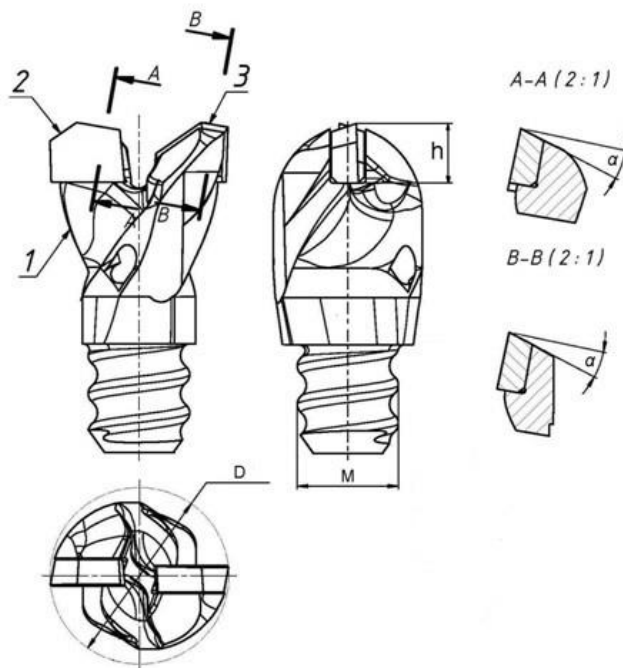


Рисунок 10 – Условные обозначения параметров бурового резца

Распределение конструкций резцов в зависимости от типа бурильных машин и крепости разрушаемых горных пород приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Область применения конструкций буровых резцов

Вид горных пород	Коэффициент крепости, $f$	Тип бурильной машины	
		Пневматический	Гидравлический
Уголь, $f = 1-3$	1	<i>Tun 1</i>	<i>Tun 3</i>
	2		
	3		
Алевролит, $f = 3-7$	4	<i>Tun 2</i>	<i>Tun 3</i>
	5		
	6		
	7		
Песчаник, $f = 6-10$	8	<i>Tun 2</i>	<i>Tun 3</i>
	9		
	10		



Бурение резцами *Tun 1* и *Tun 2* осуществлялось только на пневматической буровой установке. Бурение резцами *Tun 3* производилось на установках обоих типов.

При проведении исследований в качестве пневматического бурового станка использовалась машина MQT с двигателем мощностью 1800 Вт. В качестве гидравлической бурильной машины применялся анкероустановщик Flethcer, крутящий момент на буровой системе которого при проведении исследований составил 406 Нм, а скорость вращения - 560 об/мин. Мощность, подводимая к буровому резцу, определялась по формуле

$$N = M \cdot \omega, \quad (5)$$

где  $N$  – мощность, расходуемая на бурение, Вт;  $M$  – момент на буровой системе, Нм;  $\omega$  – скорость вращения резца, рад/сек.

В процессе проведения исследования было испытано по 10 образцов каждого типа инструмента. Полученные данные представлены на рисунках 11 и 12. Эти графики иллюстрируют зависимость скорости вращательного бурения резцами от крепости горных пород по шкале профессора М. М. Протодьяконова.

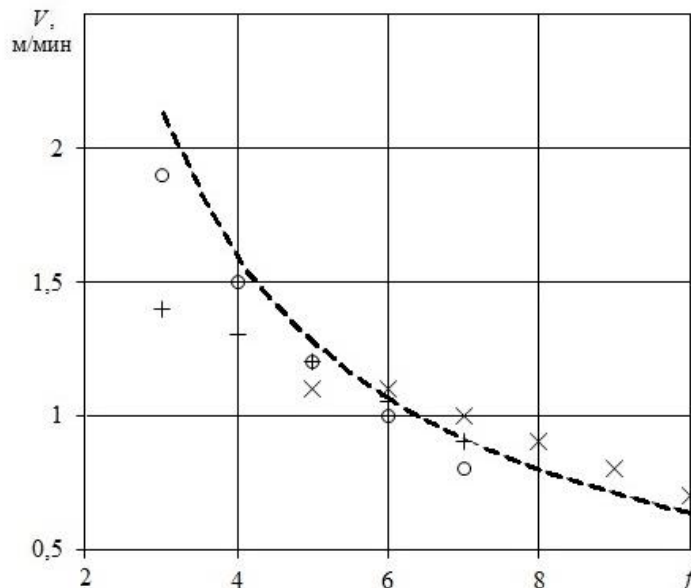


Рисунок 11 – Зависимости скорости бурения  $V$  от крепости горных пород  $f$  при бурении пневматической установкой MQT:

о - резец *Tun 1*;      х – резец *Tun 2*;      + - резец *Tun 3* ;  
 ----- расчетная зависимость О.Д. Алимова и Л.Т. Дворникова (3)

График, построенный на основании выражения (4) для случая бурения горной породы пневматической буровой установкой MQT, приведен вместе с экспериментальными графическими зависимостями на рисунке 11, анализ которых показывает, что рекомендации производителей горного инструмента относительно применения двухперых буровых резцов исключительно с пневматическими бурильными установками являются верными. Полученные данные свидетельствуют о низкой скорости бурения горных пород трехперыми резцами *Tun 3* в сравнении с двухперыми конструкциями *Tun 1* и *Tun 2* при

использовании пневматических буровых установок в породах малой крепости (см. рисунок 11). Использование трехперых резцов целесообразно в трещиноватых массивах. В этом случае третье перо будет препятствовать заклиниванию инструмента при попадании его в трещину или каверну.

Наибольшая скорость бурения горной породы может быть достигнута при использовании гидравлических бурильных машин, работающих с резцами трехперой конструкции. Расчетный график, полученный для случая бурения горных пород гидравлической буровой машиной Fletcher, показан на рисунке 14 вместе с экспериментальной зависимостью. Анализ показывает, что скорость бурения в горных породах средней крепости в этом случае превосходит скорость бурения пневматической буровой машиной с двухперым резцом примерно в полтора-два раза (см. рисунок 11). В дальнейшем, с ростом крепости пород, уменьшение скорости бурения гидравлической установкой с резцом *Tun 3* (см. рисунок 12) и двухперыми резцами с установкой MQT (см. рис 11) происходит с одинаковой интенсивностью. При крепости горной породы равной 10 их скорости бурения отличаются незначительно.

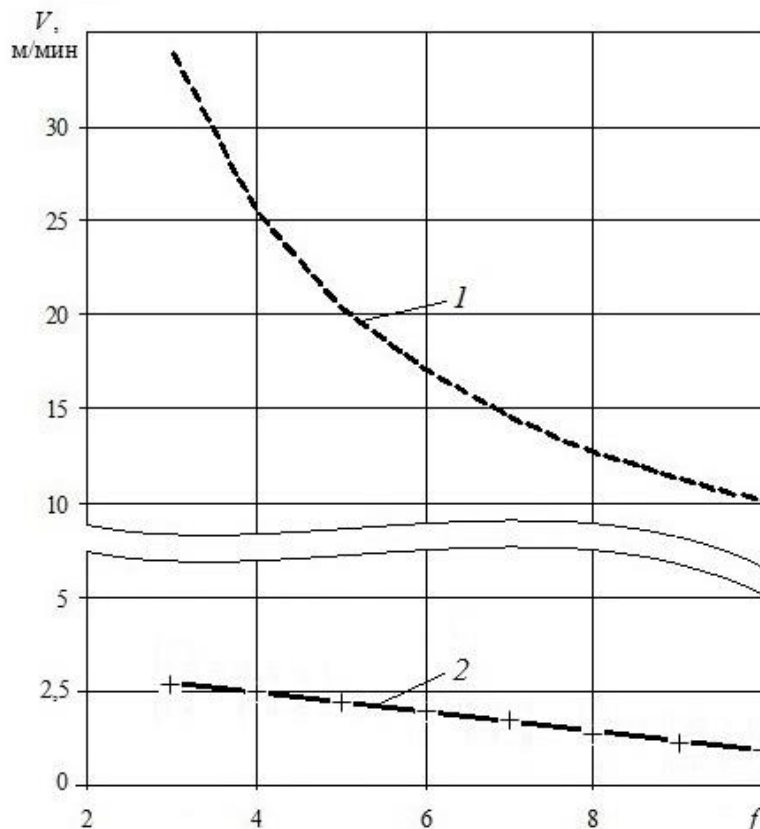


Рисунок 12 – Зависимости скорости бурения  $V$  от крепости горных пород  $f$  для гидравлической машины Fletcher с трехперым резцом *Tun 3*:  
 1 – расчетная зависимость О.Д. Алимова и Л.Т. Дворникова (3);  
 2 – экспериментальная зависимость

Полученные данные (см. рисунки 11 и 12) также показывают, что зависимость (4) с высокой достоверностью обеспечивает расчет скорости бурения двухперыми конструкциями резцов на пневматических буровых установках. Однако она не пригодна для планирования буровых работ при использовании

гидравлических анкероустановщиков, работающих с трехперыми резцами. В этом случае расчетные значения значительно превышают экспериментальные (см. рисунок 12).

В связи с этим получение математического выражения, описывающего работу трехперых резцов на гидравлических бурильных машинах, представляет значительный научный и практический интерес.

Математическая обработка результатов проведенных исследований позволяет представить зависимость скорости бурения на гидравлическом буровом станке от крепости горных пород для трехперых симметричных резцов, имеющих передний угол 0 градусов и лезвия в форме ломанной с тремя вершинами, две из которых определяют начало и конец лезвия, а третья – опережающий концентратор напряжений в следующем виде:

$$V = -0,28f + 3,65. \quad (6)$$

Достоверность аппроксимации экспериментальных данных составляет  $R^2=0,99$ . Доверительный интервал при оценке скорости бурения этим инструментом составил  $\pm 6\%$ . Таким образом, установленная в ходе экспериментальных исследований зависимость (6) позволяет осуществлять планирование скорости ведения буровых работ под анкерное крепление при использовании гидравлических машин с трехперыми резцами описанной выше конструкции.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований в производственных условиях научно обоснованы технические решения по разработке конструкции горного инструмента, а также его геометрические параметры, обеспечивающие повышение эффективности вращательного бурения шпуров на угольных шахтах, что имеет существенное значение для развития угледобывающих предприятий и горного машиностроения страны.

Основные выводы, научные и практические результаты и рекомендации сводятся к следующему:

1. Установлено, что использование в качестве поперечного сечения штанги треугольника Рело позволяет на нем исключить точки, в которых происходит концентрация напряжений, увеличить продольную и осевую жесткости штанги, а также обеспечивает одинаковый момент инерции на главных центральных осях поперечного сечения.

2. Коэффициенты запаса прочности по эквивалентным напряжениям разработанной буровой штанги и ее ближайших аналогов с применением компьютерной программы «T-FLEX CAD» составили для экспериментальной штанги 3,6, а для серийных штанг производства ООО «Горный инструмент» 3,5 и 1,3 соответственно.

3. Разработанная буровая штанга обладает меньшей массой на 4% и обеспечивает площадь свободного пространства для удаления буровой мелочи на 12% больше в сравнении с ближайшим аналогом - серийной штангой ШБТ 23-Л/23-М16, поперечное сечение которой имеет форму равностороннего треугольника с усеченными углами. При этом соотношение размеров поперечных сечений штанг следующее - расстояние между параллельными сторонами равностороннего треугольника с усеченными углами равно диаметру окружности, описанной вокруг треугольника Рело.

4. Проведены испытания буровых штанг с резьбовыми соединениями на предмет определения оптимального резьбового соединения для штанги и конструкционного материала для ее производства. Показано, что оптимальным конструкционным материалом для производства буровых штанг является буровой прокат шведского производства, выдерживающий нагрузку в виде крутящего момента до 455 Н·м. Выявлено, что применение крепления для штанг с резьбовым соединением R17 является наиболее надежным по сравнению с соединением M14.

5. Предлагаемый буровой резец за счет твердосплавных вставок в форме эллипсообразного овала Кассини обеспечивает полный контакт лезвий с забоем шпура, снижая колебание инструмента при бурении им горной породы, а также способствует уменьшению затуплений лезвий и увеличивая таким образом ресурс работы резца.

6. Установлено, что при бурении пневматическим переносным анкероустановщиком шпуров в горных породах крепостью 8 по шкале М.М. Протодьяконова резцами двухперой асимметричной конструкции с передним углом 0 градусов применение лезвий в форме эллипсообразного овала Кассини обеспечивает скорость бурения на 18% больше и увеличивает ресурс инструмента в 1,74 раза в сравнении с резцами, имеющими лезвия в форме ломанной с тремя вершинами, две из которых определяют начало и конец лезвия, а третья – опережающий концентратор напряжений.

7. Получена зависимость, позволяющая осуществлять планирование скорости ведения буровых работ под анкерное крепление шпуров при использовании гидравлических машин, оснащенных трехперыми резцами с симметричными режущими кромками.

**Основные положения диссертации отражены в следующих работах:  
статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК**

1. **Корнеев П.А.**, Корнеев В.А., Пугачев Е.В. Поиск рациональных конструкций резцов для вращательного бурения шпуров в отечественной истории горного дела / Известия Уральского государственного горного университета. 2020. Вып. 4 (60). С. 250-258.

2. Совершенствование конструкций буровых резцов / В.А. Корнеев, **П.А. Корнеев**, П.Д. Крестовоздвиженский, Е.В. Пугачев // Горный журнал. 2020. № 12 (2281). С. 67-70.

3. Повышение эффективности бурильных работ на угольных шахтах при осуществлении анкерного крепления горных выработок / А.Б. Ефременков, **П.А. Корнеев**, В.А. Корнеев, А.А. Хорешок и др. // Техника и технология горного дела. 2022. № 4. С. 62-72.

4. Жабин А.Б., **Корнеев П.А.**, Корнеев В.А. Исследование штанг для вращательного бурения шпуров / Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2024. № 1. С. 430-440.

**в зарубежных изданиях, включенных в Международные базы данных  
Scopus и Web of Science**

5. A study on directions of significant efficiency increase of rock fracture by tools equipped with super hard inserts from composite / L.T. Dvornikov, V. I. Klishin, S.M. Nikitenko, V.A. Korneyev, **P.A. Korneyev** // International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources 2016. 2016. Volume 45. P. 33-42.

6. Main development trends and some technical decisions on mining tools equipped with super-hard composite materials inserts / L.T. Dvornikov, P.D. Krestovozdvizhensky, S.M. Ni-

kitenko, V.A. Korneyev, **P.A. Korneyev** // All-Russian Conference on Challenges for Development in Mining Science and Mining Industry devoted to the 85th anniversary of Academician Mikhail Kurlenya 2017. 2017. Volume 53. P. 1-10.

7. The influence of geometrical parameters of the drill-rod on the ultimate axial feed force and the efficiency of drill cuttings removal during rotary drilling of holes / V.A. Korneyev, **P.A. Korneyev** // International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources 2019. 2019. Volume 377. P. 1-5.

#### Статьи, опубликованные в РИНЦ

8. **Korneyev P.A.**, Korneyev V.A., Gusev M.M. From the history of rotary hole drilling in mining // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2016. Issue 2. P. 48-51.

9. Обоснование направлений существенного повышения эффективности разрушения горных пород инструментом, оснащенным вставками из сверхтвердых композиционных материалов / Л.Т. Дворников, В.И. Клишин, С.М. Никитенко, В.А. Корнеев, **П.А. Корнеев** // Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал. 2016. № 2. С. 540-545.

10. **Корнеев П.А.**, Корнеев В.А. Особенности процесса разрушения углепородного массива при вращательном бурении инструментом, оснащенным твердосплавными вставками // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2019. № 3. С. 39-46.

11. **Корнеев П.А.**, Корнеев В.А. Буровая штанга, обеспечивающая эффективное удаление шлама при бурении шпуров // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Естественные и технические науки. Часть IV. 2019. Выпуск 23. С. 112-115.

12. Исследование штанги для вращательного бурения шпуров с поперечным сечением в форме треугольника Рело / В.А. Корнеев, **П.А. Корнеев**, С.А. Бедарев, И.И. Кулебакин // Металлургия: технологии, инновации, качество. Часть 2. 2021. С. 264-266.

13. Методика развития у обучающихся навыков построения 3D-моделей горных машин, оборудования и инструмента и их математического моделирования в системе автоматизированного проектирования «T-FLEX CAD» / В.А. Корнеев, **П.А. Корнеев**, К. Климович, А.С. Добрынин и др. // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды V Международной научно-практической конференции (14 апреля 2021 г.). 2021. С. 108-112.

14. **Корнеев П.А.**, Корнеев В.А. Современное состояние изученности вращательного бурения шпуров в отечественной науке // Актуальные проблемы горного дела. 2019. № 2 (8). С. 49-53.

#### Патенты на изобретения

15. Буровой резец: пат. 2619958 РФ / Дворников Л.Т., Никитенко С.М., Корнеев В.А., **Корнеев П.А.** № 2015125831; заявлено 29.06.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1. 3 с.

16. Буровая штанга для вращательного бурения шпуров: пат. 2681164 РФ / Дворников Л.Т., Корнеев В.А., **Корнеев П.А.** № 2018109159; заявлено 12.03.2018; опубл. 04.03.2019, Бюл. № 7. 2 с.

17. Буровой резец: пат. 2709900 РФ / Дворников Л.Т., Никитенко С.М., Корнеев В.А., **Корнеев П.А.** № 2017142892; заявлено 07.12.2017; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 16. 2 с.

18. Буровая штанга для вращательного бурения шпуров: пат. 2703571 РФ / Дворников Л.Т., Корнеев В.А., **Корнеев П.А.** № 2019112194; заявлено 22.04.2019; опубл. 21.10.2019, Бюл. № 30. 5 с.

19. Штанга для вращательного бурения шпуров: пат. 2712872 РФ / Дворников Л.Т., Корнеев В.А., **Корнеев П.А.** № 2019115404; заявлено 20.05.2019; опубл. 31.01.2020, Бюл. № 4. 5 с.

Авторское редактирование

Подписано в печать 25.09.2024

Формат бумаги 70x100<sup>1/16</sup>. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1,7. Тираж 100 экз. Заказ 103к

Отпечатано в Издательстве ТулГУ. 300012, г. Тула, просп. Ленина, 95