

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

На правах рукописи

*Жоб-*

КОРНЕЕВ ПЕТР АЛЕКСАНДРОВИЧ

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

2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
Жабин Александр Борисович

Тула – 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ШПУРОВ</b> .....	9
1.1 Основные этапы исследования вращательного бурения шпуров и установленные закономерности .....	9
1.2 Краткий обзор развития конструкций резцов для вращательного бурения шпуров .....	19
1.3 Особенности процесса разрушения углепородного массива при вращательном бурении инструментом, оснащенным твердосплавными вставками.....	32
1.4 Анализ развития конструкций буровых штанг для вращательного бурения шпуров .....	40
1.5 Цель и задачи исследования.....	45
<b>2.ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДОВ К УЛУЧШЕНИЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ ШТАНГ</b> .....	47
2.1 Обоснование рациональной геометрии поперечного сечения и разработка новой конструкции штанги для вращательного бурения шпуров..	47
2.2 Определение эксплуатационных характеристик разработанной штанги для вращательного бурения шпуров.....	52
2.3 Испытание резьбовых соединений буровых штанг на предмет определения оптимального конструкционного материала для их производства .....	57
2.4 Перспективные конструкции буровых штанг .....	61
2.5 В ы в о д ы .....	63
<b>3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЕЖУЩИХ ВСТАВОК И БУРОВЫХ РЕЗЦОВ</b> .....	65
3.1 Исследование причин выхода из строя серийных буровых резцов .	65

3.2	Обоснование рациональной геометрии режущей кромки инструмента для вращательного бурения шпуров .....	70
3.3	Разработка конструкций буровых резцов, обеспечивающих снижение энергоемкости бурения шпуров и облегчающих процесс забуривания в горную породу .....	74
3.4	В ы в о д ы .....	79
<b>4.</b>	<b>ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГОРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ БУРЕНИЯ ШПУРОВ .....</b>	<b>81</b>
4.1	Программа и методика производственных испытаний партии буровых резцов .....	81
4.2	Результаты испытаний экспериментальных буровых резцов .....	82
4.3	В ы в о д ы .....	98
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>100</b>
	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>103</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>117</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность работы.**

Российская Федерация является одним из мировых лидеров в области добычи и экспорта угля. Добыча угля ведется как открытым, так и подземным способом. Среди угледобывающих регионов самым мощным поставщиком угля является Кузнецкий угольный бассейн, где производится более половины (56 %) от всего добываемого угля России и 71 % углей коксующихся марок. В настоящее время на территории Кузбасса располагается 47 шахт и 31 разрез. Около 40 % получаемого угля из Кузнецкого угольного бассейна потребляется в самой Кемеровской области, а 60 % отправляется в другие регионы России и на экспорт.

Одним из основных процессов при добыче полезных ископаемых подземным способом является крепление горных выработок, которое осуществляется в основном с использованием сталеполимерных и механических анкеров. Крепление горных выработок в свою очередь сопровождается бурением шпуров под анкерные крепи. В последние годы наметилась тенденция на увеличение объема применения анкерной крепи на угольных шахтах России [1].

Известно [2], что в среднем, в месяц, потребность угольных шахт в буровых резцах в России составляет около 40-50 тыс. шт. для бурения шпуров под анкерное крепление и около 2000 шт. резцов диаметром 42 мм для проведения буровзрывных работ.

Стоит отметить, что бурение шпуров для буровзрывных работ производится крайне редко ввиду снижения общего объема этих работ при переходе на комбайновую проходку горных выработок [3].

Угольные месторождения разнообразны по условиям залегания и по физико-механическим свойствам горных пород, ввиду этого глубина буримых шпуров под анкерную крепь колеблется в пределах от 1,5 м (при креплении бортов) и величины порядка 10 м (при креплении канатными анкерами). Диаметр шпуров составляет до 43 мм.

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.

Диссертационное исследование выполнено 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 равно-стороннего 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, усекающих 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 трехперыми 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.); на Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения» (г. Новокузнецк, 2019 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 (2023, 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 патентов РФ на изобретения.

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

# **1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ШПУРОВ**

## **1.1 Основные этапы исследования вращательного бурения шпуров и установленные закономерности**

Современная теория бурения была создана в результате объемных теоретических и экспериментальных исследований. У истоков изучения механизма вращательного бурения шпуров стояли такие исследователи как Асикритов М.Д., Володченко В.И., Дерягин А.В., Дворников Л.Т., Михайлов В.Г., Островский А.П., Родионов Г.В., Суханов А.Ф., Эпштейн Е.Ф. Сысоев Н.И. и др.

Процесс развития представлений о физических основах вращательного бурения может быть условно представлен в виде последовательных периодов, характеризующихся различной направленностью исследований (таблица 1.1). Так, исследователи в 30-е годы 20 века ставили своей целью решение сугубо практической задачи по оценке эффективности работы электросверл для бурения шпуров в различных условиях.

К началу 50-х годов стало очевидно, что исследование процесса вращательного бурения должно носить более глубокий характер. В результате проведенных научных изысканий различными исследователями к концу 60-х годов 20 века был накоплен обширный экспериментальный материал. Его обобщение и анализ позволили выявить основные коренные зависимости, описывающие процесс бурения.

Были установлены нелинейные связи между главными параметрами процесса вращательного бурения шпуров. Введены понятия оптимальной частоты вращения рабочего инструмента, оптимального усилия подачи, оптимальной подачи инструмента на оборот [4].

Конец 20 века ознаменовался началом широкого использования новых типов бурильных машин значительной мощности. Помимо этого, практика

ведения горных работ потребовала бурения шпуров малого диаметра, порядка 30 мм, для проведения анкерного крепления. Все это способствовало дальнейшим исследованиям, направленным на повышение эффективности вращательного бурения и создание новых конструкций буровых резцов.

Успехи науки в области создания сверхтвердых материалов способствовали разработке конструкций буровых резцов на их основе. Использование такого инструмента способно расширить границы вращательного бурения на горные породы с коэффициентом крепости  $f > 10$ .

Таблица 1.1 – Исследования процесса вращательного бурения шпуров

Период проведения исследований	Характеристика исследований	Исследователи
1935 – 1939 гг.	Апробация электросверл в условиях шахт; определение главных параметров, характеризующих процесс вращательного бурения (скорость бурения, осевое усилие, мощность), и сравнение по ним эффективности использования электросверл в различных условиях.	А.В. Дерягин, М.Д. Асикритов, А.П. Островский, Г.В. Родионов, В.И. Володченко [4] и др.
1940 – 1949 гг.	Анализ режимов работы электросверл в лабораторных условиях; выявление взаимосвязей между главными параметрами процесса бурения.	Е.Ф. Эпштейн [5], А.Ф. Суханов, В.Г. Михайлов [4] и др.
1950 – 1962 гг.	Обоснование физических основ процессов разрушения горных пород при вращательном бурении. Попытки установления рациональных соотношений между параметрами процесса бурения и широкие лабораторные исследования режимов вращательного бурения шпуров.	Л.А. Шрейнер [6], А.Д. Имас [7], В.В. Царицын, М.К. Цехин, Ю.К. Аликин [4], Г.Н. Покровский [8], Г.П. Верескунов [9], А.Н. Волков, Е.И. Рудаковский, П.Н. Июдин [4, 10], В.Г. Михайлов [11], В.Г. Fish [12] и др.

Продолжение таблицы 1.1

1963 – 1966 гг.	Попытки обобщений результатов исследований главных параметров в зависимости от механических свойств горных пород.	В.З. Дозмаров [13], Н.Н. Симонов [14], Г.Р. Вишневецкий [15], Н.Н. Сидоров [16], Л.Т. Дворников [17], Е.Н. Чайковский, В.Г. Загороднюк, В.А. Яцкевич [4] и др.
1967 – 1979 гг.	Поиск коренных зависимостей, описывающих процесс бурения.	А.П. Таран [18], П.М. Алабужев, Б.А. Шеховцов, С.Ф. Воротников, Г.М. Маслюк, Г.И. Яковлев, Л.М. Васильев [4], Г.И. Карпенко [19], М.Г. Крапивин [20], В.И. Ивин [21], Л.Т. Дворников [22], А.И. Шубный [23-27], Л.И. Барон, С.В. Скоробогатов [24], Н.С. Родионов [25, 26, 28], Е.И. Суслов [29], Г.М. Водяник [30-32], М.Г. Крапивин [33], И.Ф. Медведев [34], А.Н. Москалев [35, 36], М.Н. Шагалин, А.И. Чибалин [37] и др.
1980 – 1997 гг.	Дальнейшие исследования закономерностей механического разрушения горных пород при бурении. Разработка новых конструкций буровых резцов.	Н.Н. Буренков [38, 39], Е.И. Суслов, Н.С. Родионов [40, 41], М.Г. Крапивин, Ю.Ф. Литкевич [39, 40, 42, 43], Н.И. Сысоев, И.Я. Раков [42], С.Г. Мирный [43], О.Д. Алимов, М.Т. Мамасаидов [44], Ю.Е. Батурин, Г.Ф. Смирнов [45-47], В.Н. Шамшин [48] и др.
1998 – 2013 гг.	Поиск путей повышения эффективности вращательного бурения. Исследования, направленные на расширение границ использования вращательного бурения на горные породы повышенной крепости и абразивности.	С.Г. Мирный, Н.И. Сысоев [49, 50], П.А. Дундуа, Г.А. Мартыненко [51, 52, 53], Ю.Ф. Литкевич [54], Ю.А. Прядко [55], Л.Т. Дворников [56, 57], В.В. Калинин [57] и др.

2014 г. – и позже	Использование средств компьютерного моделирования для исследования процесса вращательного бурения шпуров. Дальнейшие исследования, направленные на разработку новых конструкций буровых резцов.	Л.Т. Дворников [58], Д.А. Гринько, Н.И. Сысоев, Н.Н. Буренков [59, 60, 61], М.А. Лемешко [62], В.В. Калинин [63, 64], Н.М. Панин [65], Р.В. Кузнецов [66], А.А. Кожевников, А.А. Борисевич, Б.Т. Ратов [67], В.А. Корнеев [68] и др.
-------------------	---	--

Стоит отметить, что режим бурения шпуров в массиве горных пород вращательным способом определяется такими параметрами как скорость бурения, удельная подача резца, усилие его подачи и частота его вращения.

Скорость бурения является главным показателем эффективности буровых работ и определяется по формуле [4]

$$V = n \cdot h, \quad (1.1)$$

где  $n$  – частота вращения инструмента;  $h$  – удельная подача инструмента.

Из формулы (1.1) видно, что увеличение скорости  $V$  возможно с увеличением удельной подачи  $h$  или частоты вращения  $n$ , или  $h$  и  $n$  одновременно. Однако физические явления, сопровождающие процесс вращательного бурения, вносят ограничения по удельной подаче инструмента и по частоте его вращения. Параметры  $h$  и  $n$  являются взаимозависимыми величинами, т.е. изменение  $n$  вызывает закономерное изменение  $h$  [4].

При бурении мягких горных пород и средней крепости ( $f \leq 10$ ) повышение производительности бурового оборудования вращательного действия может быть достигнуто без существенного изменения геометрических параметров рабочего инструмента путем настройки оборудования на рациональные частоты вращения и оптимальные величины удельных подач. При этом дополнительный эффект может быть достигнут в результате совершенствования рабочего инструмента при повышении прочности и стойкости буровых резцов [4].

О.Д. Алимовым и Л.Т. Дворниковым [4] при обобщении экспериментальных данных различных исследователей по поиску рациональных частот вращения бурового инструмента была рекомендована следующая зависимость:

$$n_p = \frac{2200}{f}, \quad (1.2)$$

где  $f = 2 \div 4$ .

При вращательном бурении горных пород с коэффициентом крепости  $f > 4$  рациональная частота вращения составит [4]

$$n_p = (700 - 50f). \quad (1.3)$$

Зависимости скорости бурения  $V$  и объемной работы, затрачиваемой на разрушение горной породы, от осевого усилия  $P$  приведены на рисунке 1.1 [4].

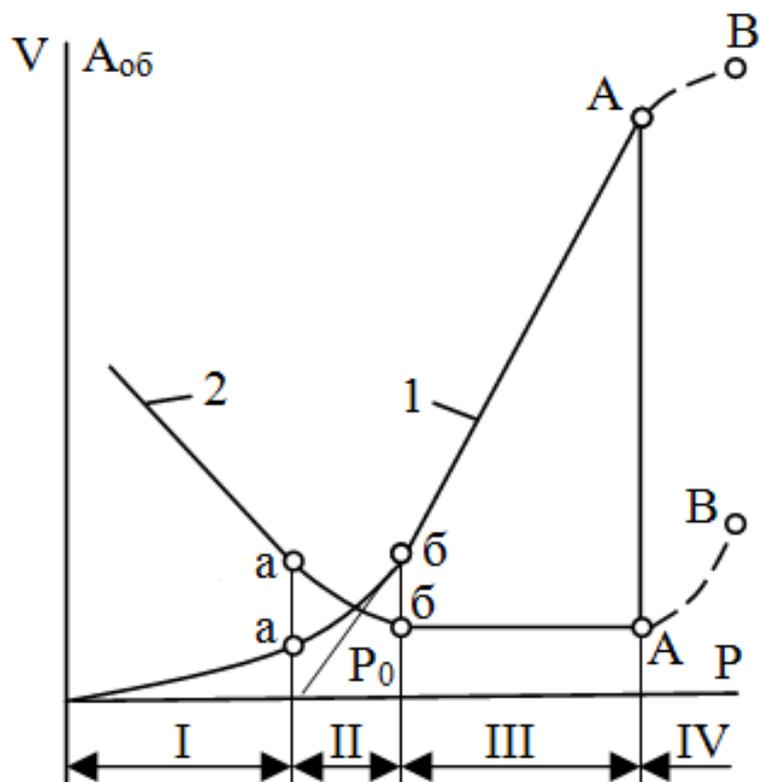


Рисунок 1.1 – Зависимости скорости бурения  $V$  и объемной работы разрушения  $A_{об}$  от осевого усилия  $P$ :

$$1 - V(P) \text{ и } 2 - A_{об}(P).$$

Выше приведенные зависимости характеризуются четырьмя зонами: зоной I – зона истирания породы инструментом; II – переходная зона; III – зона объемного разрушения забоя; IV – зона, в которой скорость бурения практически не возрастает при дальнейшем увеличении осевого усилия  $P$  [4].

Наибольшая эффективность бурения достигается в зоне III, в которой существует линейная зависимость удельной подачи  $h$  от осевого усилия  $P$ . В этой зоне происходит скалывание наиболее крупных частиц горной породы и энергоемкость процесса разрушения минимальна [4].

На взаимосвязь между удельной подачей бурового инструмента  $h$  и осевым усилием  $P$  влияют физико-механические свойства углепородного массива, а также форма и размеры инструмента. Влияние этих факторов можно оценить коэффициентом эффективности бурения вращательным способом  $k$  [69]. Зависимость между осевым усилием, коэффициентом  $k$  и удельной подачей бурового резца выражается в следующем виде [4]:

$$h = k(P - P_0), \quad (1.4)$$

где  $P_0$  – минимальное осевое усилие, условно соответствующее точке пересечения прямой  $h(P)$  зоны III с осью абсцисс.

Минимальное осевое усилие необходимое для разрушения горных пород должно удовлетворять следующему условию [4]:

$$P_0 \geq p_{ш} \cdot F_m, \quad (1.5)$$

где  $F_m$  – площадка притупления резца;  $p_{ш}$  – твердость горной породы на вдавливание штампа.

В исследованиях Н. Алпана [4] при вращательном бурении шпуров в мелкозернистом песчанике было выявлено, что с увеличением осевого усилия происходит возрастание скорости бурения и в свою очередь снижение износа бурового инструмента. Предельная же величина осевого усилия зависит от механической прочности рабочего инструмента.

Влиянием осевого усилия на скорость бурения также занимался П. Шульц [4]. В своих исследованиях им было установлено, что увеличение

осевого усилия до 1000 кгс и выше весьма выгодно с точки зрения повышения производительности бурения.

Б. Фишем [12] были изучены зависимости скорости бурения и износа резцов от осевого усилия при разрушении горных пород разной крепости. Он показал, что износ инструмента во многом зависит от скорости бурения и глубины самого шпура.

Исследованиями Г.Н. Покровского было установлено, что в диапазоне площадок притупления резцов от 5 до 25 мм<sup>2</sup> скорость бурения линейно уменьшается в зависимости от увеличения площадки притупления [4].

Известно [4], что объемная работа разрушения горных пород в процессе их бурения составит

$$A_{об} = 6,12 \frac{N}{V \cdot S_{ш}}, \quad (1.6)$$

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

О.Д. Алимовым и Л.Т. Дворниковым была выявлена взаимосвязь объемной работы  $A_{об}$ , направленной на разрушение горной породы, с коэффициентом крепости породы  $f$  [4]

$$A_{об} = \delta \cdot f, \quad (1.7)$$

где  $\delta$  – коэффициент пропорциональности.

Среднее значение  $\delta_{cp} = 2,8$  кгс·м/см<sup>3</sup> при средней квадратической ошибке, равной  $\pm 0,3$  кгс·м/см<sup>3</sup>. Зависимость (1.7) в виде  $A_{об} = 2,8f$  может быть использована для расчетов режимов бурения шпуров вращательным способом в горных породах с коэффициентом  $f = 2 \div 16$  [4].

Используя формулы (1.6) и (1.7), можно получить расчетную формулу для определения расходуемой мощности на бурение горных пород

$$N = \frac{S_{ш} \cdot V \cdot f}{2,19}. \quad (1.8)$$

Из зависимости (1.8) также становится возможным определение скорости бурения шпуров при известных величинах подводимой мощности, крепости разрушаемой породы и площади сечения шпура.

$$V = \frac{2,19N}{S_{ш} \cdot f}. \quad (1.9)$$

В исследованиях И.А. Остроушко [70] была получена формула, позволяющая определять расход мощности на разрушение горной породы в процессе ее бурения при числе оборотов  $n$

$$N = \frac{2\pi \cdot R_{cp} \cdot P_x \cdot n}{60 \cdot 75}, \quad (1.10)$$

где  $R_{cp}$  – радиус приложения резцов;  $P_x$  – тангенциальное усилие резания;  $n$  – число оборотов резца.

Исследуя полученные зависимости на рисунке 1.1 можно отметить, что применение станков с мощным приводом особенно эффективно при бурении шпуров в горных породах с коэффициентом крепости  $f \leq 10$  и в меньшей степени – для пород с  $f > 12$ .

В исследованиях [4] были установлены зависимости, позволяющие оценить скорость вращательного бурения шпуров в горной породе различной крепости (рисунок 1.2), а также ограничения скоростей бурения и мощности бурильных машин по техническим и технологическим параметрам (рисунок 1.3).

Из рисунка 1.2 следует, что с увеличением мощности, подводимой к рабочему инструменту, скорость бурения увеличивается, а с повышением крепости пород уменьшается.

Из полученных зависимостей, приведенных на рисунке 1.3, видно, что кривая 1 ограничивает возможные скорости бурения предельным осевым усилием  $P_n = 1200$  кгс. Кривая 2 ограничивает скорости бурения из условия максимально допустимой по прочности удельной подачи инструмента при

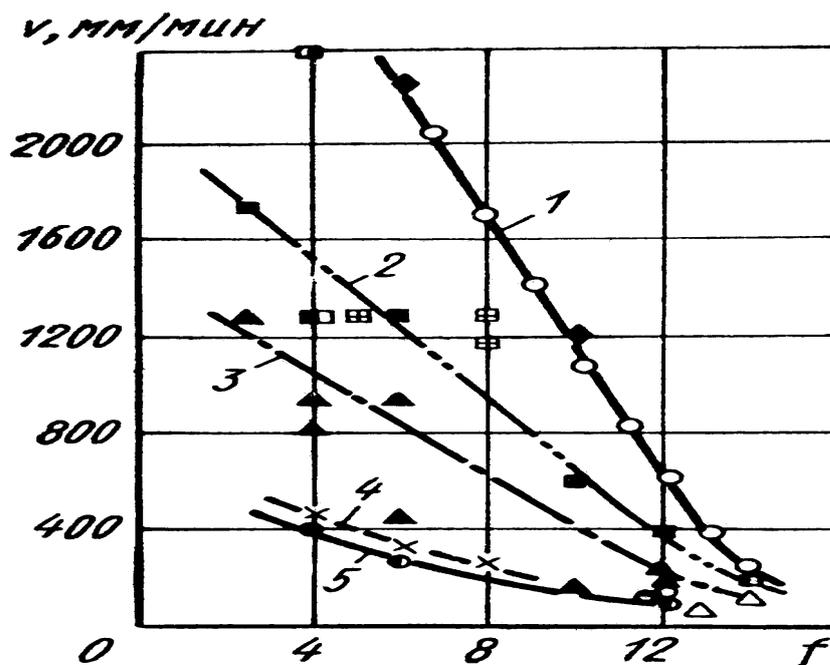


Рисунок 1.2 – Зависимости скорости бурения  $V$  от крепости горных пород  $f$  при различных мощностях, подводимых к рабочему инструменту:

1 – при  $N=4$  кВт; 2 – при  $N=3$  кВт; 3 – при  $N=2,4$  кВт; 4 – при  $N=1,8$  кВт;  
5 – при  $N=1,5$  кВт

его рациональных частотах вращения. При сопоставлении кривых 1 и 2, можно выявить, что для горных пород с коэффициентом крепости  $f \leq 6$  максимально возможные скорости бурения ограничиваются геометрическими параметрами инструмента. Для горных пород с  $f > 6$  предел возможных скоростей бурения определяется прочностью рабочего инструмента. В данных случаях (особенно при бурении пород с  $f > 10$ ) для последующего увеличения скоростей необходимо заниматься изысканиями более прочных материалов для армирования режущих пластин.

При исследовании экспериментального материала по вращательному бурению шпуров в горных породах О.Д. Алимовым и Л.Т. Дворниковым была предложена формула по определению рациональной частоты вращения горного инструмента [4]

$$n_p = 700 - 50f, \quad (1.11)$$

В процессе вращательного бурения с увеличением усилия подачи на

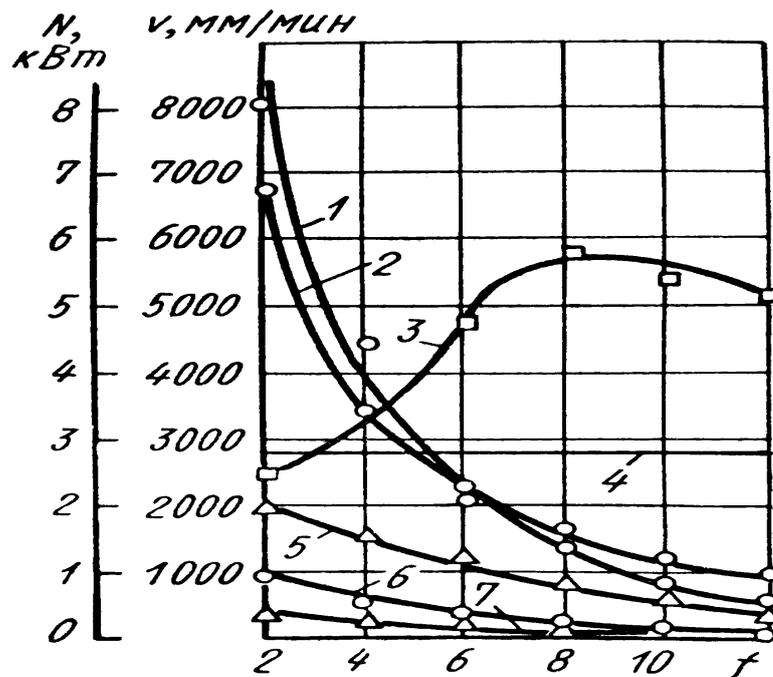


Рисунок 1.3 – Ограничения скоростей бурения и мощности бурильных машин по следующим параметрам:

1 – при прочности инструмента ( $P_n = 1200$  кгс); 2 – при геометрическом параметре  $h_{\max} = 6,0$  мм/об; 3 – при рациональном значении мощности в зависимости от коэффициента  $f$ ; 4 – при удалении отбуренной горной породы промывкой; 5 – при мощности двигателя ( $N=2,7$  кВт); 6 – при удалении отбуренной горной породы витыми штангами; 7 – при мощности двигателя ( $N=1$  кВт).

забой бурового инструмента и частоты его вращения с одной стороны происходит увеличение скорости бурения и производительность буровых работ, а с другой – интенсивность износа буровых резцов и расход электрической энергии, потребляемой на бурение.

Таким образом, усилие подачи и частота вращения рабочего инструмента являются величинами взаимозависимыми.

Также влияние на процесс вращательного бурения оказывает инерционность механизма подачи бурильной машины. Даже при абсолютно жесткой буровой штанге после скола частиц горной породы резец поворачивается на определенный угол, не внедряясь в породу до тех пор, пока осевое усилие не достигнет необходимой величины [4].

Стоит отметить, что чем больше инерционность механизма подачи, тем больше и время нарастания осевого усилия и тем больший угол проходит резец без внедрения в углепородный массив. Этот факт приводит к снижению удельной подачи. Физическую сущность влияния инерционности механизмов осевой подачи резца на процесс вращательного бурения можно представить в виде выражения [4]

$$\Delta\varphi = \omega \cdot \tau, \quad (1.12)$$

где  $\Delta\varphi$  – угол, проходимый резцом без внедрения в горную породу,  $\omega$  – средняя угловая скорость инструмента,  $\tau$  – время нарастания осевого усилия.

Очевидно, что повышение эффективности вращательного бурения шпуров может быть достигнуто не только посредством разработки новых режимов работы буровых машин, но также за счет создания инновационных конструкций горного инструмента. В этой связи проведение анализа развития конструкций буровых резцов приобретает особый интерес, так как позволяет определить базовые элементы инструмента, совершенствование которых будет рассматриваться в дальнейших разделах настоящей работы.

## **1.2 Краткий обзор развития конструкций резцов для вращательного бурения шпуров**

История горного дела неразрывно связана с созданием новых и совершенствованием уже существующих конструкций буровых резцов. Вращательное бурение шпуров является одной из основных технологических операций при разработке месторождений угля подземным способом.

В настоящее время буровзрывные работы на угольных шахтах, в процессе проведения которых требуется бурение шпуров, практически не осуществляются. При разработке месторождений с использованием комбайнов в соответствии с современными технологиями бурение шпуров применяется в основном для установки анкерной крепи, а также при ведении исследовательских работ [71].

Материалом для производства буровых резцов до применения твердого сплава являлись углеродистые и высоколегированные инструментальные стали. При этом резцы производились как одно целое со штангами (рисунок 1.4, *а*), так и съемными (рисунок 1.4, *б*). В первом случае конец витой буровой штанги делали в виде перьев и производили термическую обработку [21, 72].

В исследованиях В.И. Бакуля [21] была установлена средняя стойкость резцов, изготовленных из углеродистой и быстрорежущей сталей, при бурении антрацита с включениями колчедана и кварцита. Она составила 0,45 м для резцов из углеродистой стали и 1,77 м для резцов из быстрорежущей. Скорость бурения при этом достигала соответственно 11,2 см/мин и 19 см/мин. Стоит отметить, что невысокая скорость бурения и необходимость частой замены инструмента в виду его затупления актуализировали поиск новых материалов, обеспечивающих повышение ресурса буровых резцов.

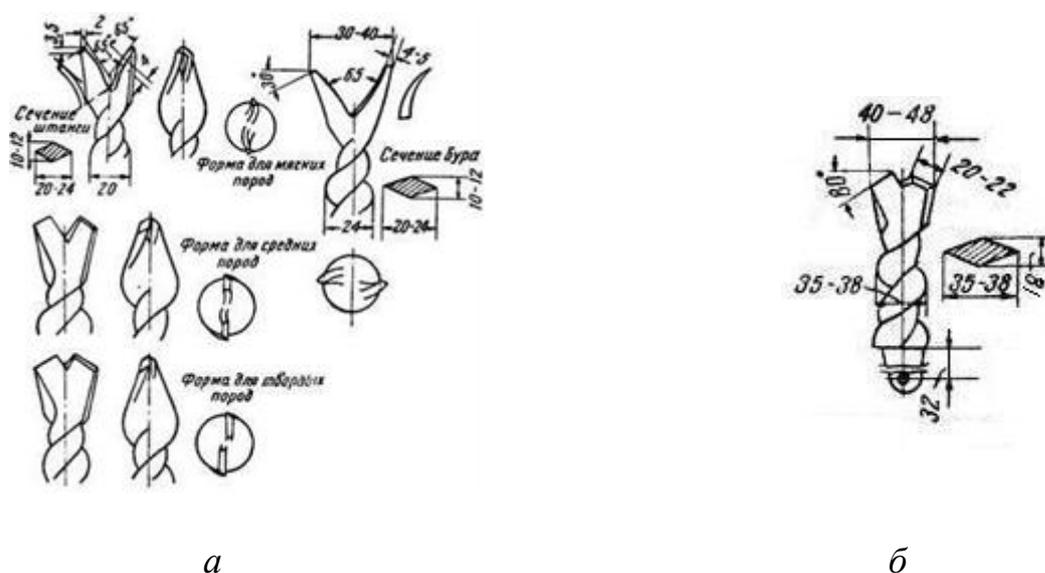
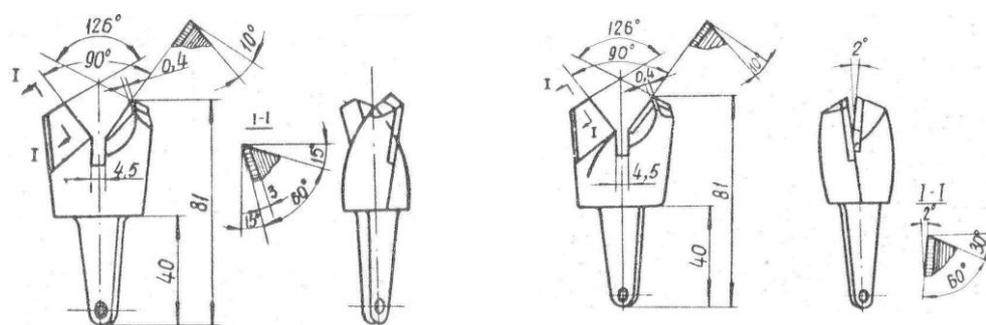


Рисунок 1.4 – Буровой инструмент цельной (*а*) и съемной (*б*) конструкции

С 1930 года начинаются исследования резцов с наплавленными на их режущие перья порошкообразными и стержневыми сплавами, такими как сталинит, сормайт, вокар и др. В дальнейшем были проведены эксперименты по армированию резцов твердыми сплавами победит и РЭ8. Проведенные ис-

следования показали, что армированный буровой резец за одну заточку про- буривает в среднем в 15÷20 раз больше по сравнению с резцом, выполнен- ным из быстрорежущей стали, и в 25÷40 раз больше резца из углеродистой стали. Скорость бурения армированными резцами при этом в 4 раза выше в сравнении с резцами, изготовленными из быстрорежущей, и в 7÷8 раз выше резцов из углеродистой сталей. Данный факт позволил увеличить производи- тельность бурильных работ от 50 до 200%. Стоит отметить, что в середине тридцатых годов резцы, армированные твердыми сплавами, использовались уже на большинстве шахт Донбасса [21].

До середины 20-го века усовершенствование конструкций буровых резцов проводилось в основном на шахтах [4]. Так, в Кизеловском угольном бассейне на шахте им. Калинина бурильщиком В.А. Луником была произве- дена модернизация резца №1 конструкции Харьковского опытного завода Комбината твердых сплавов (КТС), получившего наибольшее распростране- ние при бурении шпуров и выпускавшегося с 1934 года по 50-е годы (рису- нок 1.5, а). Усовершенствование конструкции резца заключалось в развороте его перьев таким образом, чтобы образовались отрицательные передние углы у главной режущей кромки (рисунок 1.5, б). Резец получил название №1-У – угольный улучшенный. Произведенная модернизация способствовала увели- чению производительности бурильных работ [21, 72].



а

б

Рисунок 1.5 – Буровые резцы:  
а – резец №1 КТС; б – резец №1-У

В дальнейшем, к работам по усовершенствованию буровых резцов подключились научно-исследовательские организации. С этого момента начинаются научные изыскания рациональной геометрии лезвий резцов, форм и размеров их вставок из твердых сплавов и способов соединения резцов с буровыми штангами [4].

Одним из направлений совершенствования буровых резцов является создание конструкций, обеспечивающих расширение области применения вращательного бурения шпуров.

Так, Институтом физики и механики горных пород Академии наук Киргизской ССР был усовершенствован буровой резец Д-2С (рисунок 1.6, а), предложенный Г.П. Верескуновым, который предназначался для разрушения пород с коэффициентом крепости по проф. М.М. Протодяконову  $f \leq 16$  крупным сколом. Необходимость в совершенствовании резца Д-2С была обусловлена проведенными в 1960 г. массовыми производственными испытаниями этих резцов на ряде шахт Луганского совнархоза. Эти резцы показали плохое разрушение горной породы между пластинками твердого сплава, неудовлетворительное удаление крупных фракций буровой мелочи от забоя и низкую стойкость. Усовершенствованный резец Д-2С получил название Д-2СУ (рисунок 1.6, б) [21, 73].

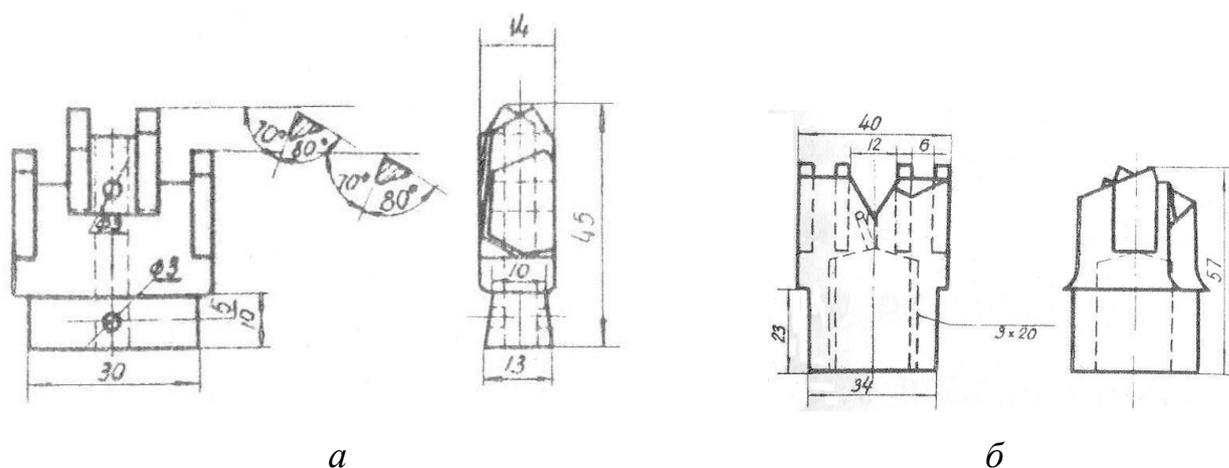


Рисунок 1.6 – Буровые резцы:

а – резец Д-2С; б – резец Д-2СУ

Резец Д-2СУ имеет в своей конструкции усиленный корпус, увеличенную толщину пластинок твердого сплава до 5 мм, цилиндрический хвостовик диаметром 30 мм под внутреннюю резьбу прямоугольного профиля диаметром 20 мм с упором, разгружающим витки от передачи крутящего момента. Рабочий диаметр усовершенствованного резца 40 мм, углы заточки пластинок оставлены прежними [21].

При работе резцами Д-2СУ по породам с коэффициентом крепости по проф. М.М. Протодяконову  $f = 10 - 14$ , скорость бурения в 1,25 - 2,5 раза выше, а энергоёмкость процесса разрушения в 2,2 - 2,3 раза ниже в сравнении со скоростью и энергоёмкостью процесса разрушения такими резцами, как РП-7Ц и РСТ [74].

На базе бурового резца Д-2С также была создана серия резцов для разрушения пород крупным сколом под маркой РКП (РКП-1, РКП-1К, РКП-3 и РКП-3К). Эти резцы представлены на рисунке 1.7 [73].

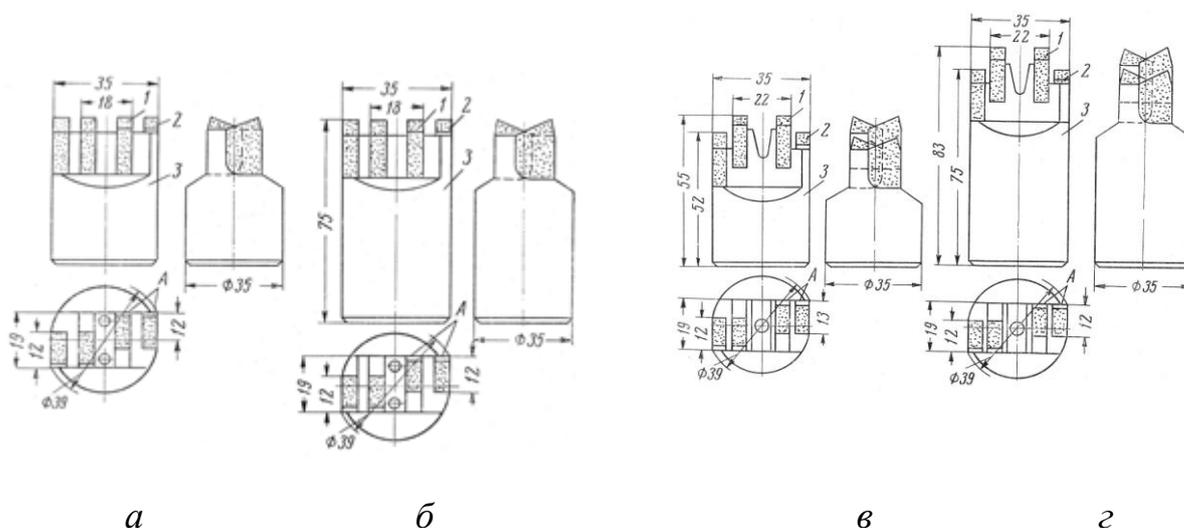


Рисунок 1.7 – Буровые резцы:

*а* – резец РКП-1; *б* – резец РКП-1К; *в* – резец РКП-3; *г* – РКП-3К

Резцы имеют в своих конструкциях опережающие и периферийные лезвия 1 и 2, которые вмонтированы в корпус 3. Плоскости А армированы твердосплавными пластинками [73].

Применение этих резцов в Киргизии на руднике Хайдаркан, позволило успешно заменить ударное бурение на вращательное [73].

Институтом физики и механики горных пород Академии наук Киргизской ССР также был предложен резец крупного скола РКС (рисунок 1.8), напоминающий по своей конструкции буровой резец Д-2С. Отличие резца РКС от резца Д-2С состоит в конструкции хвостовика (конусное соединение или резьбовое) и несколько измененной геометрии режущей части [21].

Испытания резца РКС были проведены на руднике Хайдаркан и на шахтах комбината Ростовуголь. Эти испытания показали, что стойкость у резца РКС примерно в два раза выше, чем у резца РП-7ЦБ (рисунок 1.9). Однако, около 50% испытуемых резцов выходили из строя в виду поломок твердосплавных пластин [21].

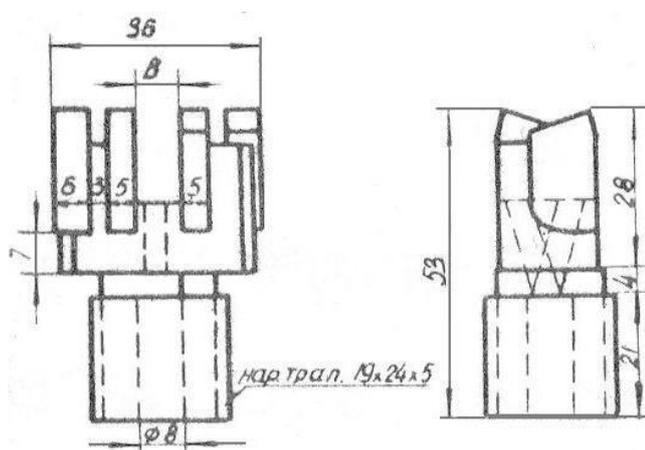


Рисунок 1.8 – Буровой резец РКС

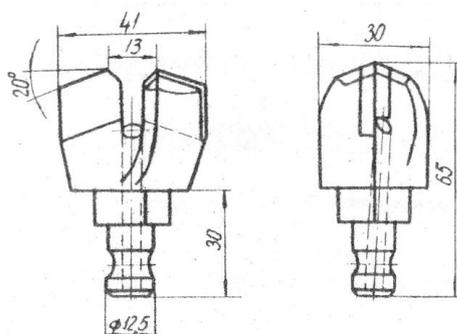


Рисунок 1.9 – Буровой резец РП-7ЦБ

Институтом сверхтвердых материалов Академии наук Украинской ССР в 1960 г. был разработан резец РБ42-2 для вращательного бурения шпуров в горных породах с коэффициентом крепости  $f = 5 - 15$  и серийно выпускавшийся с 1968 г. Особенность его конструкции заключается в наличии твердосплавных режущих вставок с линзообразным сечением, которые установлены под отрицательным углом 20 градусов. В процессе эксплуатации этого резца было установлено, что при бурении пород с коэффициентом крепости более 8, происходят частые поломки твердосплавных пластин, а скорость бурения относительно низкая [21, 75].

В дальнейшем, на смену резцу РБ42-2 Новочеркасским политехническим институтом совместно с ИГД им. А.А. Скочинского, ВНИИТС и Краснолучским машиностроительным заводом был разработан резец РП-42, предназначенный для бурения крепких горных пород. Серийное производство резца РП-42 взамен резца РБ42-2 было организовано в 1977 г. на Краснолучском машиностроительном заводе. Резцы РБ42-2 и РП-42 представлены на рисунке 1.10 [75].

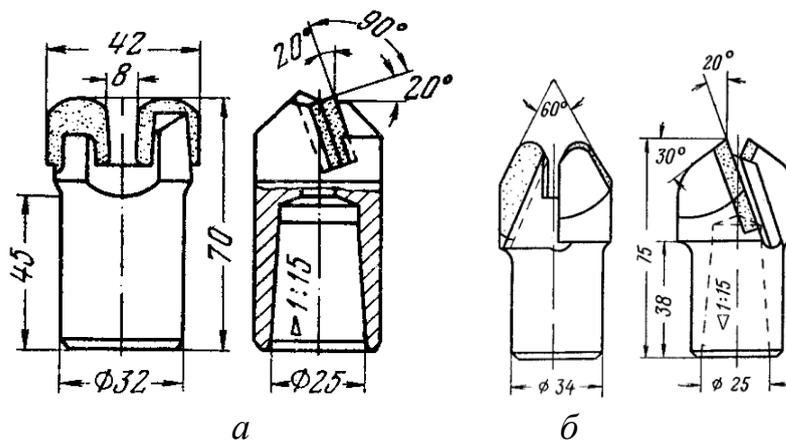


Рисунок 1.10 – Буровые резцы:

*а* – резец РБ42-2; *б* – резец РП-42

В настоящее время промышленностью для бурения крепких пород выпускаются резцы с лезвиями, изготовленными из сверхтвердого композиционного материала (СТКМ) на основе синтетического алмаза, обладающего повышенной износостойкостью в сравнении с вольфрамокобальтовым спла-

вом. На ООО «Горный инструмент» налажен выпуск таких резцов под маркой РПК (рисунок 1.11) [76].



Рисунок 1.11 – Буровой резец РПК-28/R17/13К

Одним из показателей эффективности вращательного бурения шпуров является энергоёмкость процесса разрушения горной породы. Снижение энергоёмкости бурения можно достичь путем совершенствования конструкций резцов.

Так, исследователем Н.В. Дервянко было предложено эксцентричное расположение режущих перьев, за счет чего в процессе бурения каждое перо срезало свежую часть породы с забоя шпура, а не двигалось по траектории предыдущего пера. Предложение Н.В. Дервянко было использовано при создании резца №3 - эксцентрикового, конструкции КТС, выпускавшегося в период с 1948 по 1952 г.г. (рисунок 1.12) [21].

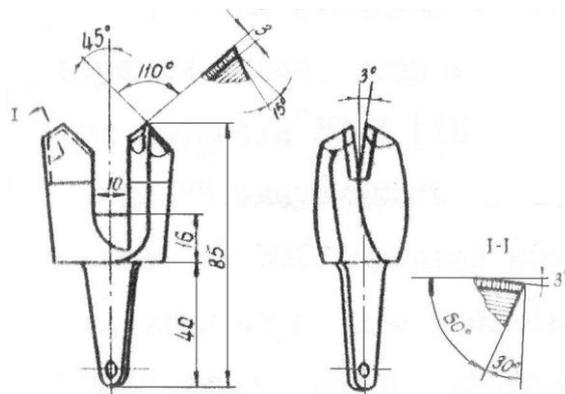


Рисунок 1.12 – Буровой резец №3 - эксцентриковый

К конструкциям резцов, позволяющих снизить энергоемкость бурения, так же можно отнести резцы Д-2С и Д-2СУ (рисунок 1.6), резцы РКП-1, РКП-1К, РКП-3 и РКП-3К (рисунок 1.7) и резец РКС (рисунок 1.8), разрушающие горную породу крупным сколом.

В процессе вращательного бурения шпуров, при проведении буровзрывных работ, было замечено, что при бурении некоторыми конструкциями резцов образуется винтовая нарезка, уменьшающая эффективное сечение шпура, что затрудняет его зарядание. Для устранения этого негативного фактора было предложено несколько вариантов – увеличение рабочего диаметра бурового резца, а так же использование в конструкции резца «контурной ленты» (рисунок 1.13), обеспечивающей направление резца в шпуре, а так же направление выхода буровой мелочи [21].

Помимо классических двухперых конструкций буровых резцов, различными исследователями предпринимались попытки создания инструмента с большим количеством перьев.

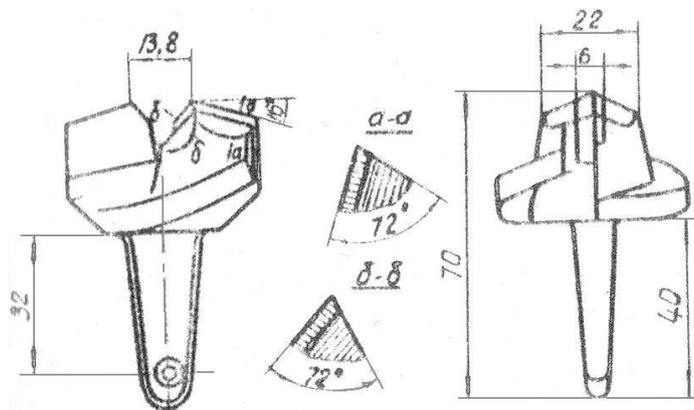


Рисунок 1.13 – Буровой резец БИ 739

Так, в 1956-1959 г.г. проводились экспериментально-исследовательские работы ЦНИИПодземмаш по поиску наиболее целесообразных конструкций резцов для бурения по породе. Наилучшие результаты по скорости бурения при удовлетворительной износостойкости были отмечены у четырехперых резцов РПГ-2 и РПГ-3 (рисунок 1.14). Конструкции этих резцов

имеют два дополнительных пера, располагающихся в плоскости, перпендикулярной к центральным (опережающим) перьям, и предназначены для расширения буримого шпура до требуемого диаметра [21].

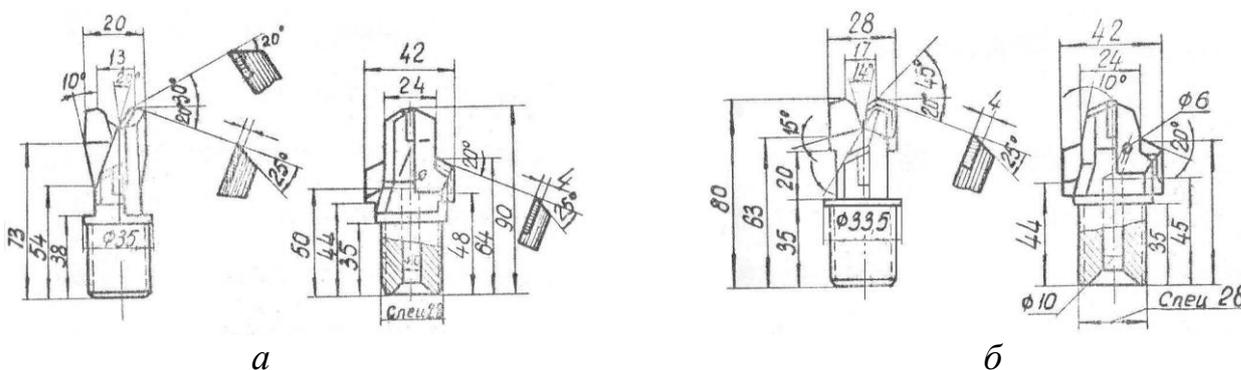


Рисунок 1.14 – Буровые резцы:

*а* – резец РПГ-2; *б* – резец РПГ-3

Стоит отметить, что выпуск этих резцов так и не был налажен. Возможно, это произошло в виду сложности конструкции и отсутствия специальных армирующих пластинок твердого сплава для перьев [21].

В настоящее время отечественной промышленностью освоен выпуск трехперых буровых резцов. Создание такого инструмента было вызвано заклиниванием двухперых резцов в шпуре при попадании их в трещины горной породы при бурении. Кроме того, трехперые буровые резцы обладают более прочной конструкцией, за счет чего обеспечивают передачу большей разрушающей энергии на забой, и в отличие от двухперых конструкций, могут использоваться с более мощными гидравлическими буровыми станками.

В 2005 г. ООО «Горный инструмент» в содружестве с ОАО «Воркутауголь» разработали трехперый буровой резец РПА-27-3/14 (рисунок 1.15) предназначенный для разрушения трещиноватых горных пород с коэффициентом крепости по проф. М.М. Протодяконову  $f=3 - 7$  [77, 78]. Ресурс разработанного резца оказался в 2 - 7 раз выше по сравнению с резцами иностранного производства, применяемыми на ОАО «Воркутауголь» [77].

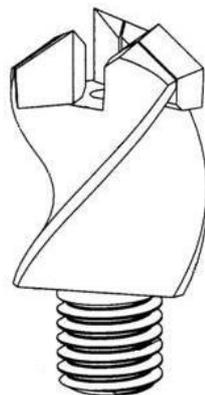


Рисунок 1.15 – Буровой резец РПА-27-3/14

Однако конструкция этого резца имеет некоторые недостатки, заключающиеся в цилиндричности шнека корпуса, что приводит к трению корпуса резца о стенки шпура, и вызывает износ корпуса, тем самым уменьшая ресурс самого резца. Помимо этого, на резце отсутствует ступень для его установки и снятия с буровой штанги [79].

В 2014 г. компанией ООО «Горный инструмент» был предложен трехперый резец (рисунок 1.16), позволяющий устранить недостатки резца РПА-27-3/14. Резец имеет усовершенствованную конструкцию корпуса с наличием зажимной ступени, обеспечивающей силовое соединение резца со штангой [79].

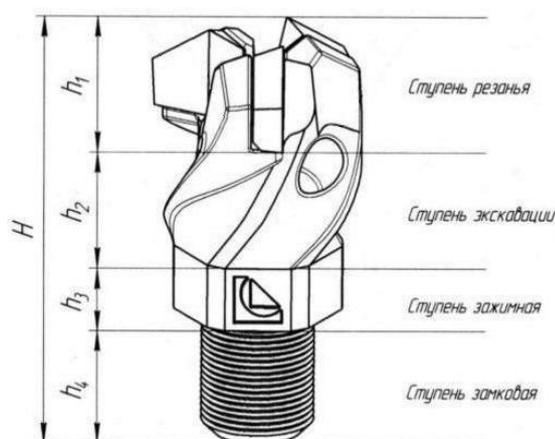


Рисунок 1.16 – Резец РПА-27-3/14 после модернизации

Помимо постепенного развития геометрии лезвий резцов и поиска оптимального армирующего материала для оснащения их режущих пластин,

совершенствованию также подвергались конструктивные схемы для соединения инструмента со штангой.

В 1930-е годы широкое распространение получили конструкции буровых резцов с хвостовиками в виде плоского выступающего клина. Примером такой конструкции хвостовика может служить резец №1 КТС (см. рисунок 1.5, а) [21].

В процессе бурения хвостовик резца испытывает значительные нагрузки, способные привести к его поломке при некачественном изготовлении инструмента. Для недопущения этого было предложено изготавливать хвостовики в форме цилиндров, разгруженными от передачи крутящего момента, который передается от штанги к резцу через шлицевой выступ в верхней части резца. Примером таких резцов могут служить резцы РП-7ЦБ (рисунок 1.9) и РП-10 (рисунок 1.17) производства Краснолучского машиностроительного завода. Стоит отметить, что конструкция хвостовика резца РП-7ЦБ помимо этого обеспечивает более точную посадку резца в гнездо буровой штанги [21].

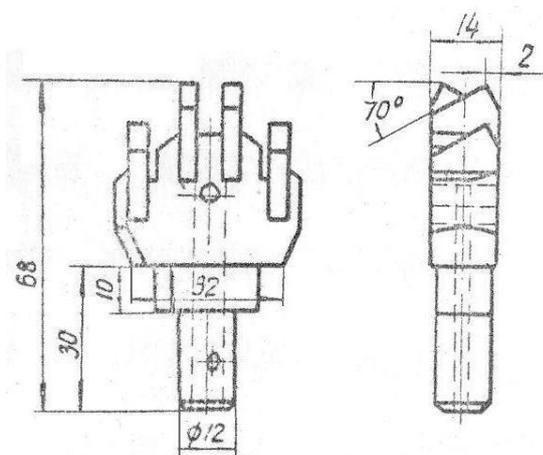


Рисунок 1.17 – Буровой резец РП-10

В истории горного дела также известна конструкция хвостовика резца, выполненная с замком для прикрепления его к буровой штанге (рисунок 1.18) [80].

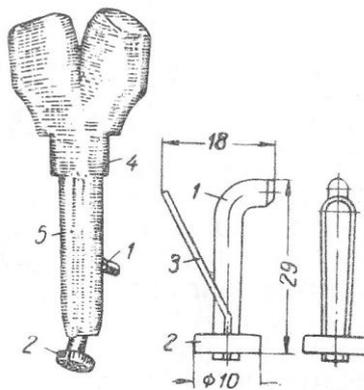


Рисунок 1.18 – Резец с замковым соединением

Замок состоит из крючка 1, головки 2 и пружины 3. Функция замка заключается только в удержании резца от выпадения, вращение же на резец передается при помощи выступов 4, находящихся на хвостовике 5, которые входят в соответствующие пазы, располагающиеся в головке буровой штанги [80].

В настоящее время наибольшее распространение в конструкциях резцов получили следующие варианты их соединения со штангой: в виде плоского выступающего клина (рисунок 1.5), конусное (рисунок 1.19, а) [81], резьбовое (рисунок 1.11) и (рисунок 1.19, б) [76].

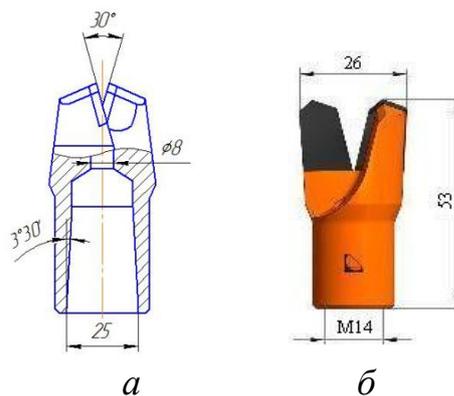


Рисунок 1.19 – Соединения хвостовиков:

а – конусное (резец БИ 741-25); б – внутреннее резьбовое (резец РП-26/14М)

Совершенствование горного инструмента для вращательного бурения шпуров объективно невозможно без рассмотрения имеющихся теоретиче-

ских представлений о механизме разрушения горной породы посредством буровых резцов. Теоретические наработки в этой области рассмотрены в следующем разделе.

### **1.3 Особенности процесса разрушения углепородного массива при вращательном бурении инструментом, оснащенным твердосплавными вставками**

Представления о механизме разрушения горных пород при бурении вращательным способом менялись и уточнялись в течение длительного времени по мере накопления результатов наблюдений [82].

Первые попытки описания механизма разрушения горных пород в процессе вращательного бурения были сделаны в начале 20-го века В.А. Гуськовым. В основе этого описания лежало большое число допущений и проводилось оно в полной аналогии с резанием пластичных металлов. Стоит отметить, что при резании пластичных металлов их разрушение в основном происходит в результате пластических деформаций, а в процессе резания горных пород пластические деформации незначительны, следовательно, выше упомянутую попытку описания механизма разрушения можно рассматривать только как первое приближение [83].

Значительный этап в развитии теории резания горных пород ознаменован работами М.И. Слободкина и М.М. Протодяконова [4]. В вышедшей в 1946 году монографии М.И. Слободкина рассмотрена аналитическая теория резания угля. Эта монография вызвала большую дискуссию в среде ученых и практиков, чем способствовало дальнейшему развитию теории резания пород и вращательного бурения.

Схема взаимодействия резца с горной породой по данным М.И. Слободкина приведена на рисунке 1.20. В процессе разрушения горной породы резцом происходит отделение от пласта элемента  $OAA'$  по трем плоскостям скалывания, две из которых являются продолжением боковых плоскостей

резца, а третья – I-I, наклонена под углом скалывания  $\omega$  к направлению движения резца  $aa$  [4].

Перед тем как передняя поверхность резца займет положение  $bb$  и произойдет следующее скалывание по плоскости  $A_3A_3$ , движение резца может происходить с дроблением мелких частиц по плоскостям  $A_1A_1$  и  $A_2A_2$ . При положении передней поверхности бурового резца по плоскостям  $A_1A_1$  и  $A_2A_2$  возможно скалывание по трем плоскостям. По утверждению М.И. Слободкина, угол  $\omega$  может быть принят постоянным и равным  $45^\circ$ , а величины усилий, воздействующих на резец, и полную работу, можно определять при рассмотрении угля как изотропного тела, подчиняющегося законам теории упругости [4].

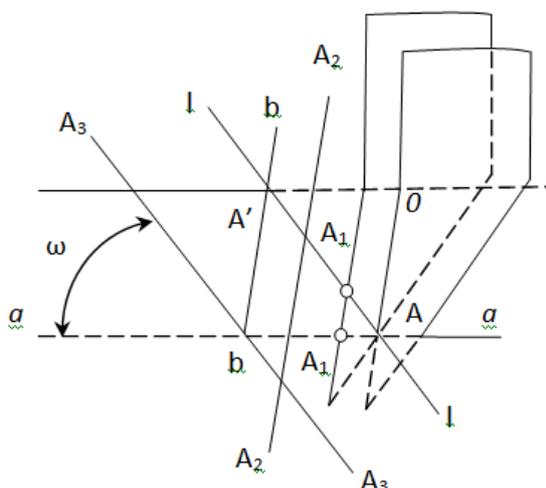


Рисунок 1.20 – Схема взаимодействия резца с породой по М.И. Слободкину

В дальнейшем исследования показали, что процесс разрушения горных пород более сложен. Необходимо производить учет многих дополнительных факторов, определяющих влияние на процесс разрушения горной породы, как ее свойств, так и качества рабочего инструмента [4].

Е.Ф. Эпштейном [5] рассматривалось статическое равновесие бурового резца под действием приложенных к нему осевого усилия  $P_n$  и усилия резания  $P_p$  и сил сопротивления горной породы (рисунок 1.21). Для оценки со-

противляемости горных пород бурению были введены специальные параметры  $R_z$  и  $k_s$ , названные критическими напряжениями при внедрении и скалывании. По утверждению Е.Ф.Эпштейна, величины  $R_z$  и  $k_s$  необходимо определять экспериментальным путем при учете геометрических параметров резца.

Угол скалывания частиц горной породы  $\omega$  был принят постоянным и равным  $20^\circ$  [5].

На рисунке 1.21 так же обозначены:  $\mu$  – коэффициент трения резца о горную породу;  $h_1$  – толщина стружки;  $\delta$  – угол приострения резца.

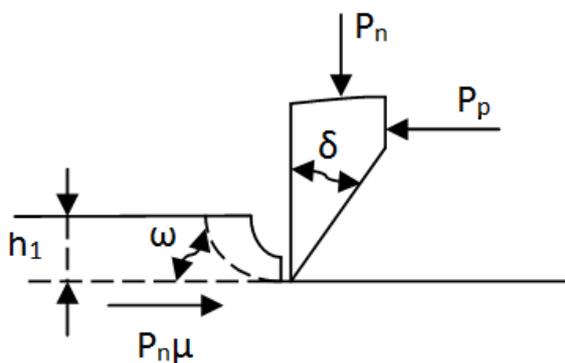


Рисунок 1.21 – Схема взаимодействия резца с породой по Е.Ф. Эпштейну

Среди ученых и практиков стоит выделить Л.А. Шрейнера [6], который ввел уточнение в оценку сопротивляемости горных пород разрушению при бурении. Обоснованная им твердость породы на вдавливание штампа  $p_{ш}$ , оказалось более универсальным параметром, в отличие от критических напряжений при внедрении и скалывании  $R_z$  и  $k_s$ , поскольку определение твердости не связано с необходимостью учитывать геометрические параметры конкретного резца. Характер внедрения резца в горную породу Л.А. Шрейнер представил как многократное скачкообразное углубление с характерным скачкообразным изменением значений усилий (рисунок 1.22).

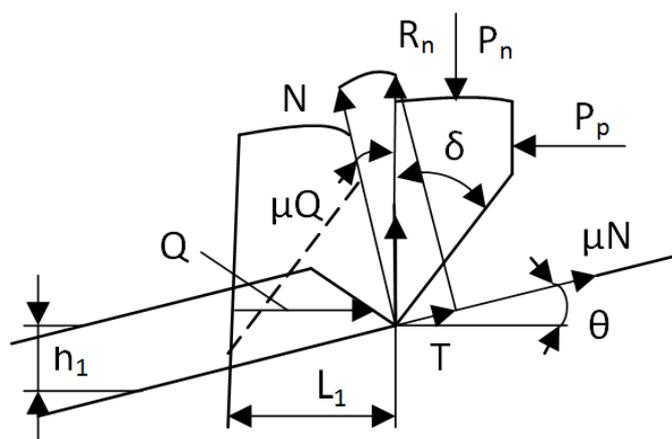


Рисунок 1.22 – Схема взаимодействия резца с породой по Л.А. Шрейнеру

По утверждению Л.А. Шрейнера [6] среднюю величину углубления бурового резца  $h_1$ , можно представить в виде результата нескольких углублений на величину  $h_0$ . При анализе процесса разрушения, Л.А. Шрейнером учитывался угол уклона линии резания и вводится понятие шага скалывания  $L_1$ . Так же им предлагалось учитывать угол скалывания в большем диапазоне  $\omega=30\div 35^\circ$ .

На рисунке 1.22 так же обозначены:  $Q$  – сила сопротивления срезу;  $N$  – нормальная составляющая реакции забоя;  $T$  – тангенциальная составляющая реакции забоя;  $\theta$  – угол уклона линии резания.

По мнению Г.Н. Покровского [4], при изучении вращательного бурения пород невозможно учитывать следующие явления: проявление фактора времени и масштабного эффекта; действия на буровой резец двух пар сил, вызванных равнодействующей сил скалывания и равнодействующей сил трения, которые приложены в разных точках лезвия. Ввиду этого он считал целесообразным производить описания основных закономерностей бурения при помощи эмпирических зависимостей.

Основываясь на проведенных исследованиях по резанию горных пород на токарном станке Г.Н. Покровским [4] были сделаны выводы: элементы скалывания стабильно повторяются по направлению как вдоль линии резания, так и по радиусу шпура; образование элементов скалывания иногда про-

исходит одновременно по всей длине лезвия; отделяемые элементы могут складываться ниже плоскости резания; угол скалывания  $\omega=18 - 25^\circ$ ; шаг скалывания  $L_1$  и длину элемента скалывания  $L_2$  можно выразить через среднюю толщину стружки  $h_1$  как  $L_1=(1 - 3) \cdot h_1$  и  $L_2=(2 - 6) \cdot h_1$ , т.е.  $L_2=2L_1$  (рисунок 1.23).

О.Д. Алимовым и Л.Т. Дворниковым в своих исследованиях [4] было установлено, что основным элементом при изучении процесса вращательного бурения является представление о начале каждого разрушения как о пластическом деформировании и уплотнении горной породы перед буровым резцом. Неравномерность осевых нагрузок и крутящих моментов, действующих на лезвия инструмента в процессе бурения, вызвано периодичностью скалывания элементов стружки перед передней гранью резца. Чем больше колебания величин моментов, тем значительнее глубина снимаемой стружки и выше крепость разрушаемой горной породы.

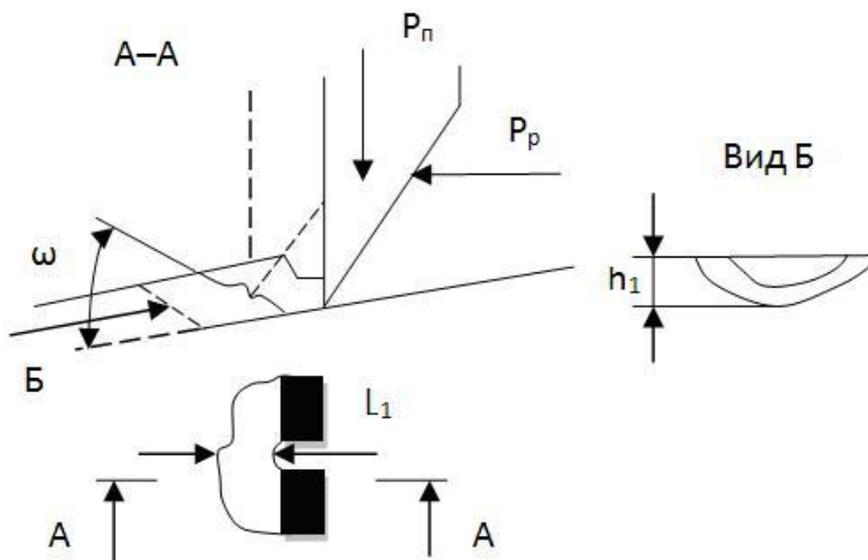


Рисунок 1.23 – Схема взаимодействия резца с породой по Г.Н. Покровскому

Стоит отметить, что скалывание частиц породы происходит не одновременно и не всегда по всей длине лезвия резца. Неоднородность скалывания на разных лезвиях ведет к неустойчивости резца в забое шпура и мигра-

ции его оси вращения. Все это приводит к нарушению цилиндрической формы шпура [4].

В.И. Гетопановым [84] при проведении исследований вращательного бурения горных пород было введено понятие уплотненного ядра перед передней гранью лезвия резца. Это ядро работает подобно клину и вызывает как отрыв частиц горной породы, так и формирование осевого усилия (рисунок 1.24).

По мнению П.С. Кучерова [4], ядро перед передней гранью резца постоянно обновляется, ввиду этого нет причин для образования нароста. В процессе вращательного бурения резец подминает горную породу на глубину  $\lambda$ , которая включает в себя упругую  $\lambda_{упр}$  и остаточную  $\lambda_{ост}$  части (рисунок 1.25).

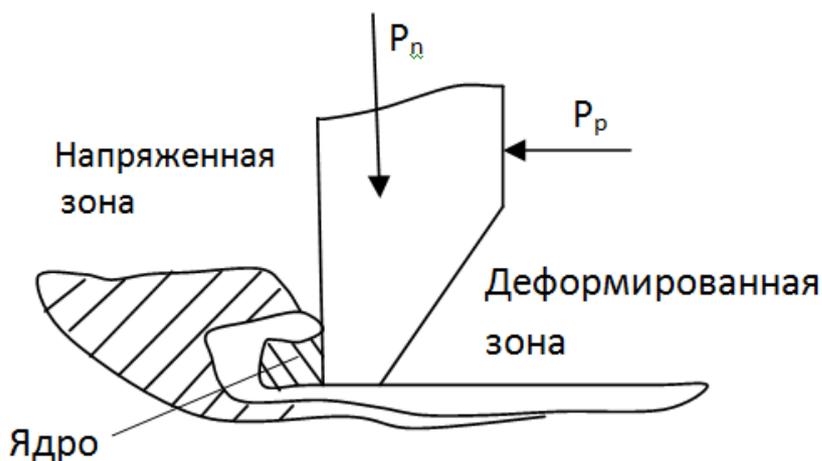


Рисунок 1.24 – Схема взаимодействия резца с породой по В.И. Гетопанову

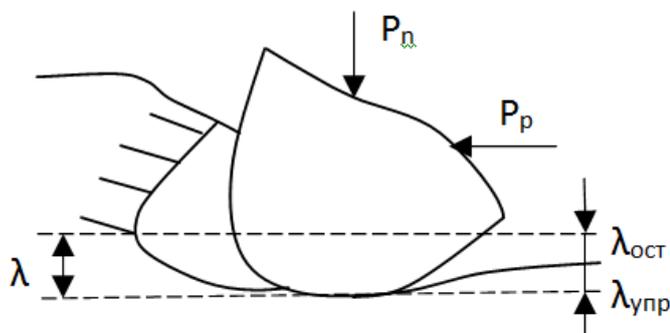


Рисунок 1.25 – Схема взаимодействия резца с породой по П.С. Кучерову

По мнению М.Г. Крапивина [85] при вращательном бурении с малыми удельными подачами резца (2 - 3 мм) пылевидное ядро или не образуется совсем, или его роль не существенна. Им были получены полуэмпирические зависимости без учета угла уклона линии резания и разницы в коэффициентах трения по передней и торцевой граням бурового резца с постоянным углом скалывания  $\omega = 25^\circ$ . Для проведения оценки свойств горных пород М.Г. Крапивиным была введена специальная характеристика, заключающаяся в сопротивлении породы дроблению, которая определяется экспериментально.

В работе А.Ф. Суханова и Б.Н. Кутузова рассматривается формирование усилия резания на резце, которое происходит без существенного его продвижения. Далее, после скалывания, возможно ускорение движения лезвия резца и удар в породу. Исследователями Карагандинского политехнического института уделено внимание добавочным усилиям, образующимися в процессе износа резца. При проведении исследований было установлено, что износ бурового резца влечет за собой существенное изменение переднего угла резания [4].

В исследовании процесса разрушения горной породы проведенным Ф.И. Кучерявым [4] с использованием киносъемки, было наглядно показано образование скалываемого элемента и последующее его отделение от массива. Это способствует образованию неизбежных колебаний нагрузки на лезвиях бурового резца. Кадры киносъемки приведены на рисунке 1.26.

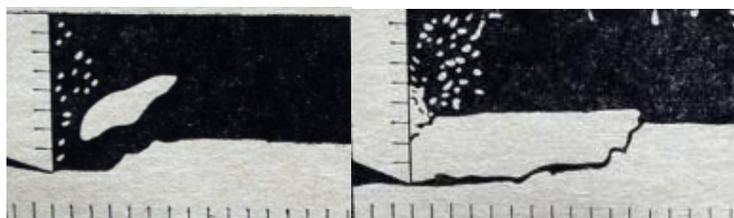


Рисунок 1.26 – Процесс отделения стружки

Н.Н. Буренковым [38] было выявлено, что на процесс вращательного бурения оказывают влияние продольные и крутильные колебания, передающиеся от бурильной машины и буровой штанги. В виду этого толщина

стружки, срезаемая режущей кромкой резца, является переменной величиной и определяется как разность между текущим положением точек забоя и предыдущим.

В исследованиях, проведенных С.Г. Мирным [49], было установлено, что с увеличением частоты вращения резца происходит уменьшение толщины слоя горной породы нарушенного трещинами под торцевой площадкой на 25-30 % практически по линейной закономерности. В конечном итоге это влечет увеличение энергоемкости бурения, а также снижение его скорости. Этот недостаток С.Г. Мирный предлагает устранить при корректировке частоты вращения буровой штанги в зависимости от текущего состояния системы «резец-забой».

Анализируя выше приведенные исследования, процесс вращательного бурения углепородного массива можно представить в следующем виде [4]. При соприкосновении с забоем буровой резец (рисунок 1.27) под действием на него осевого усилия внедряется в породный массив на некоторую глубину  $h_0$ . В процессе вращения резца с осевой подачей возрастает сопротивление перед его передней гранью, что приводит к упругой деформации буровой штанги и резца и замедлению его движения. Ввиду накопившихся потенциальных сил в упругой системе, а также возросшего крутящего момента привода, происходит скол частиц породы по всей длине лезвия или по его части. После скола буровой резец приобретает угловую скорость из-за упругого раскручивания системы штанга-резец, и происходит его перемещение из положения 1' в положение 2 на величину  $L$ .

При следующем внедрении резца на величину  $h_0$  он поменяет свое положение из 2 в 2'. Глубина его внедрения  $h_0$  зависит от геометрических параметров рабочего инструмента, сопротивления породы при внедрении и осевого усилия. С дальнейшим его внедрением происходит возрастание усилия резания до следующего крупного скола по линии 2". Далее буровой резец примет положение 3, смяв перед собой неровности забоя. После увеличения

на него осевой силы, он внедрится на величину  $h_0$  и окажется в положении 3'. В дальнейшем разрушение горной породы происходит по линии 3'' [4].

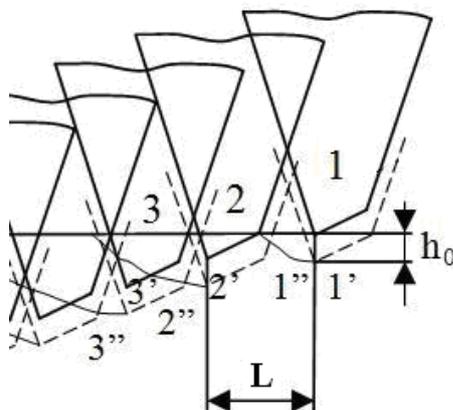


Рисунок 1.27 – Фрагмент развертки шпура

Несмотря на имеющиеся закономерности, устанавливающие режимные параметры работы буровых резцов, а также детальный анализ развития их конструкций и теоретические положения, описывающие разрушение горной породы режущими пластинами, определение области совершенствования буровых резцов возможно лишь на основе экспериментальных исследований причин выхода из строя наиболее распространенных конструкций горного инструмента. Данные исследования нашли свое отражение в настоящей работе.

#### 1.4. Анализ развития конструкций буровых штанг для вращательного бурения шпуров

Буровая штанга является важнейшим элементом бурильной машины, предназначенным для передачи резцу крутящего момента и осевого усилия от приводов бурового станка. В процессе бурения она испытывает значительную механическую нагрузку, принимая на себя сопротивление горной породы крутящему моменту и усилию подачи инструмента.

Конструктивно штанги отличаются между собой профилем поперечного сечения, его размерами, посадочным замком для резца, длиной, а также площадями свободного пространства для удаления буровой мелочи.

Из истории горного дела известно [85, 86, 87], что широкое применение вращательного способа бурения с использованием ручных сверл, приводимых в действие энергией человека, для бурения шпуров в породе с малой крепостью относится к середине 19-го века. Буровой инструмент для вращательного бурения, кроме простого коловорота Лоха, располагался на распорной колонке. Вращение сверла осуществлялось одним или двумя бурильщиками, а подача бура чаще всего происходила при помощи бесконечного винта, проходящим через гайку и соединенным с буром.

В начале 70-х годов 19-го века появляется прибор Лисбе для вращательного бурения шпуров. Это устройство включало в свою конструкцию пустотелый стержень и прикрепленную к нему муфту. Стержень проходил через гайку, которая вращалась в подшипнике на распорной колонке-раме. Бур располагался внутри стержня и на конце имел храпчатку. Он свободно вращался в стержне и мог поступательно двигаться в направлении забоя вместе со стержнем. Прибором Лисбе бурили шпуры в сланцах диаметром 50 мм, а в некрепком песчанике – 35 мм [85].

В 19-ом веке также были сделаны попытки внедрения алмазного бурения шпуров. Были предложены различные устройства с ручным и механическим приводом. В 1863 году для бурения шпуров появляется прибор Лешота, который состоял из трубы диаметром 43 мм с 8-ью алмазами на её конце. Этот прибор выбуривал керн диаметром 35 мм. Бур приводился во вращение одним-двумя горными рабочими, делая 30 оборотов за минуту. Скорость бурения гранитов прибором Лешота составляла 0,25 – 0,6 м/ч [86].

В выше приведенных бурильных устройствах прообразом буровой штанги является стержень с круглым поперечным сечением.

С развитием электрификации горных работ на смену буровым устройствам с ручным и механическим приводом приходят электрические сверла.

Известно [21], что первоначально буровые штанги для электрических бурильных машин производились как одно целое с резцами (см. рисунок 1.4, а). В данном случае конец буровой штанги делали в виде перьев и производили термическую обработку.

В Советском Союзе в период с 1970 по 1980 года применяли в основном буровые штанги с ромбическим профилем поперечного сечения с усиленными ребрами. Размер профиля составлял  $36 \times 18$  мм (рисунок 1.28) [74].

Как уже было указано выше, с переходом на комбайновую проходку горных выработок, произошло снижение объема бурения шпуров для буровзрывных работ. На данный момент, бурение шпуров активно используется при возведении анкерной крепи. Широкое распространение при этом получили штанги с шестигранным поперечным сечением (рисунок 1.29) [88, 89].

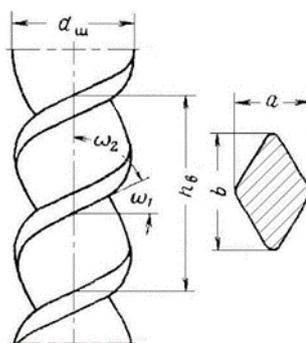


Рисунок 1.28 – Штанга с ромбическим профилем поперечного сечения

ООО «Горный инструмент» была предложена буровая штанга для вращательного бурения шпуров ШБТ 23-L/23-M16 [88], поперечное сечение которой выполнено в виде равностороннего треугольника, позволяющая эффективнее удалять из шпура отбуренную горную породу в сравнении с шестигранной штангой. Данная штанга приведена на рисунке 1.30.

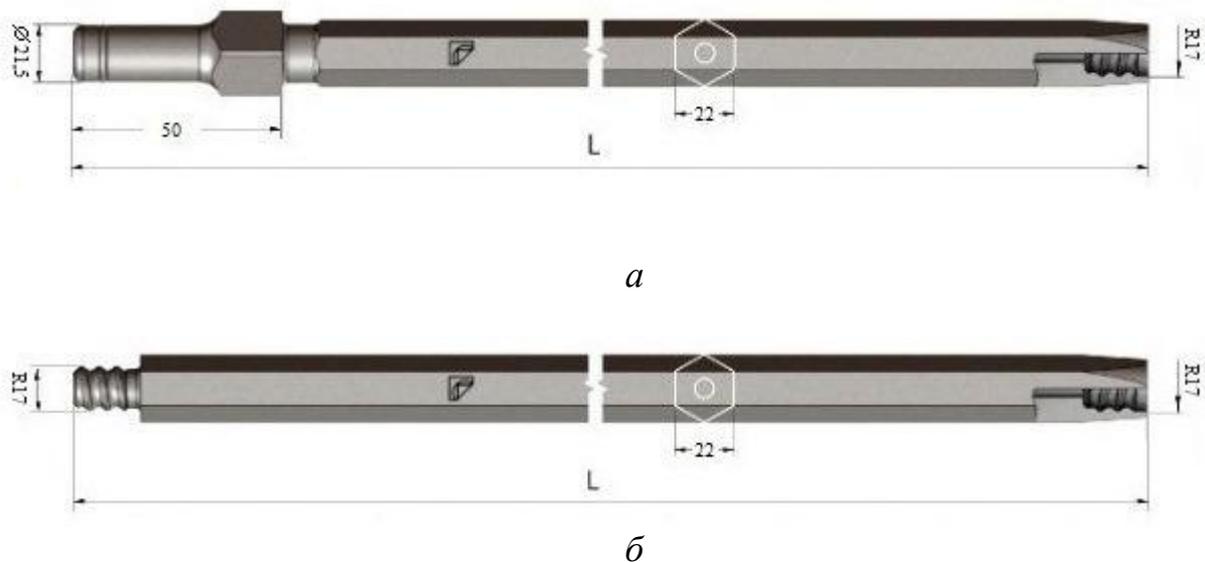


Рисунок 1.29 – Штанги для бурения шпуров  
*a* – ШБ 22-L/22-R17; *б* – ШБ 22-L/R17-R17

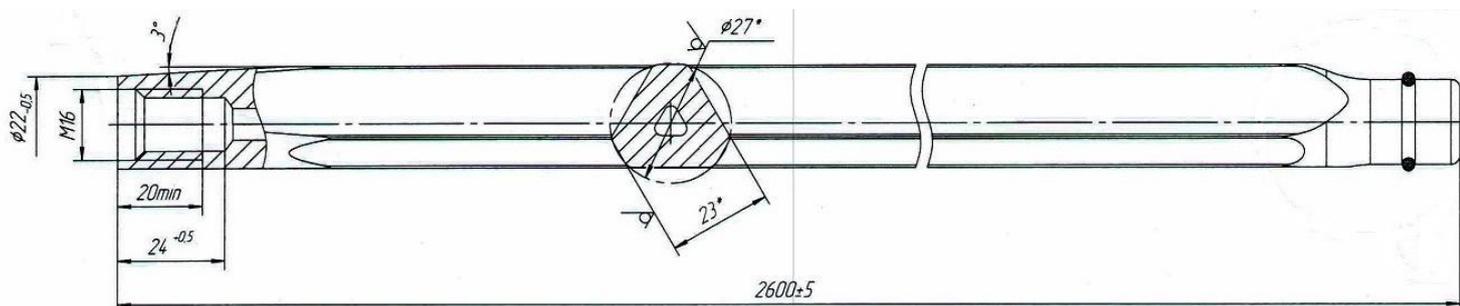


Рисунок 1.30 – Буровая штанга ШБТ 23-L/23-M16

В настоящее время штанги выпускаются двух типов конструкций – цельные и сборные. Так, соединение штанг у сборных конструкций осуществляется с помощью переходников, что позволяет оперативно производить монтаж или демонтаж штанг в процессе ведения горных работ, а также исключить выход из строя штанг по причине излома резьбовой части [88]. Штанги для ручных электросверл выпускают длиной от 1 до 3 метров, для колонковых сверл от 0,7 до 2,2 метров [90].

На данный момент для вращательного бурения шпуров применяются более мощные бурильные машины, примером такой машины может служить станок Flethcer (рисунок 1.31) [91].



Рисунок 1.31 – Буровой станок Flethcer

Ввиду использования таких машин, происходит образование избыточного количества отбуренной горной породы, что приводит к необходимости проведения более интенсивной очистки буримых шпуров.

Для решения данной проблемы возможны два пути – применение вакуумных отсосов или использование штанг с рациональной геометрией их поперечного сечения.

Применение вакуумных отсосов усложняет конструкцию бурильной машины и снижает ее мобильность.

Наиболее эффективным вариантом решения данной проблемы является использование рациональной геометрии поперечного сечения буровых штанг. Таким примером может служить выше приведенная штанга ШБТ 23-L/23-M16 с поперечным сечением в виде равностороннего треугольника.

Вследствие роста мощности бурильных машин, возникает также проблема, связанная с обеспечением прочности буровых штанг, поскольку снижение прочности штанги может способствовать ее изгибу с последующим заклиниванием в шпуре, а также ее излому.

Поэтому разработка и создание буровых штанг для вращательного бурения шпуров, обеспечивающих эффективный отвод отбуренной горной по-

роды из шпура и обладающих высокой прочностью, является важной научно-практической задачей.

### **1.5. Цель и задачи исследования**

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.

Оценивая результаты современного состояния науки и практики в области вращательного бурения угля и горных пород при производстве шпуров для анкерного крепления выработок, необходимо отметить следующее. Возникает насущная потребность в разработке новых горных инструментов, способных повысить эффективность вращательного бурения шпуров, которая обусловлена совершенствованием конструкции буровой штанги для лучшего удаления буровой мелочи, Эффективность этого процесса также напрямую зависит и от рациональной геометрии режущей части инструмента для повышения его износостойкости и снижения нагруженности буровой штанги, Добиться этого можно как проведением теоретических исследований, так и экспериментальными исследованиями в производственных (шахтных) условиях.

На основании изложенного целью диссертационной работы является создание горного инструмента, обеспечивающего повышение эффективности вращательного бурения шпуров на угольных шахтах.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- обосновать рациональную форму поперечного сечения буровой штанги, обеспечивающую эффективное удаление отбуренной горной породы;

- определить эксплуатационные характеристики разработанной буровой штанги в сравнении с серийным инструментом посредством математического моделирования;

- обосновать рациональную геометрию режущих вставок буровых резцов и изготовить их экспериментальные конструкции;

- определить эксплуатационные характеристики и уточнить область применения разработанных и серийных резцов посредством шахтных испытаний.

## **2. ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДОВ К УЛУЧШЕНИЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ ШТАНГ**

### **2.1 Обоснование рациональной геометрии поперечного сечения и разработка новой конструкции штанги для вращательного бурения шпуров**

Известно, что площадь свободного пространства между телом штанги и стенкой шпура оказывает отрицательное влияние на процесс бурения [91], увеличивая энергоемкость разрушения горной породы. Некачественное удаление выбуренной горной породы также приводит к повышенному пылевыведению.

В настоящее время для улучшения очистки шпура используются следующие технические решения:

- промывка шпуров водой;
- продувка шпуров сжатым воздухом;
- вакуумный отсос буровой мелочи;
- специальные конструкции горного инструмента (витые резцы, шнековые и витые штанги).

Разработка новых конструкторско-технологических решений способна привести к повышению прочности буровых штанг и эффективности отвода буровой мелочи из шпура.

Это может быть достигнуто посредством использования в конструкции буровой штанги поперечного сечения с рациональной геометрией, обеспечивающей беспрепятственное удаление отбуренной горной породы с сохранением буровой штангой требуемой прочности.

Основными параметрами, характеризующими эксплуатационные свойства буровых штанг, являются:

- прочность тела штанги;

- площадь свободного пространства для удаления отбуренной горной породы;

- вес.

Форма поперечного сечения буровой штанги при этом также оказывает значительное влияние на процесс бурения. Так, неравенство моментов инерции на главных центральных осях поперечного сечения штанги вызывает нарушение неподвижности оси ее вращения и, как следствие, влечет потерю устойчивости движения штанги в буримом шпуре [93]. В процессе ведения бурильных работ данный фактор может способствовать изгибу штанги с последующим заклиниванием ее в шпуре.

В процессе работы над настоящим диссертационным исследованием были предложены требования, которые необходимо предъявлять к оптимальной геометрии буровой штанги, позволяющие повысить эффективность ее работы в шпуре (таблица 2.1).

В настоящий момент наибольшее распространение получили шестигранные буровые штанги. При производстве штанг используется буровая сталь компании «Sandvik» марки «Sanbar 61». Номинальный химический процентный состав ее представлен в таблице 2.2 [94, 88].

Буровые штанги с шестигранным поперечным сечением обеспечивают незначительное пространство для отвода буровой мелочи [95]. В этой связи их использование при реализации высокопроизводительных режимов бурения не технологично.

Как было указано выше, буровая штанга ШБТ 23-L/23-M16, предложенная ООО «Горный инструмент», с поперечным сечением в виде равностороннего треугольника, позволяет эффективнее удалять из шпура отбуренную горную породу в сравнении со штангой с шестигранным поперечным сечением.

Таблица 2.1 – Требования, предъявляемые к оптимальной геометрии штанги

№ п/п	Наименование требований	Количественная оценка
1	Равенство моментов инерции поперечного сечения на главных центральных осях	$J_x, \text{мм}^2$ $J_y, \text{мм}^2$
2	Прочность	Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям, $n$
3	Площадь свободного пространства для удаления отбуренной горной породы	$S_{св}, \text{мм}^2$
4	Вес	$m, \text{кг}$

Таблица 2.2 – Номинальный химический состав стали марки «Sanbar 61»

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,14	1,5	0,9	$\leq 0,025$	$\leq 0,020$	0,7	0,5	0,2

Существенным недостатком буровой штанги, выполненной с поперечным сечением в виде равностороннего треугольника, является наличие точек, расположенных на серединах сторон треугольника, в которых возникают наибольшие напряжения, что может приводить к появлению в этих точках трещин, уменьшающих прочность всей штанги. К тому же, при нагружении штанги осевой силой, поперечное сечение в виде равностороннего треугольника имеет неодинаковый момент инерции сечения на своих главных центральных осях [96].

Разработка новой конструкции буровой штанги, обеспечивающей эффективное удаление отбуренной горной породы и одинаковый момент инерции поперечного сечения на своих главных центральных осях возможно при

использовании сечения в виде фигуры, описанной овальной кривой постоянной ширины [97].

Известны многоугольники Рело [98], образованные овальной кривой постоянной ширины и имеющие одинаковый момент инерции на своих главных центральных осях своего поперечного сечения (рисунок 2.1).

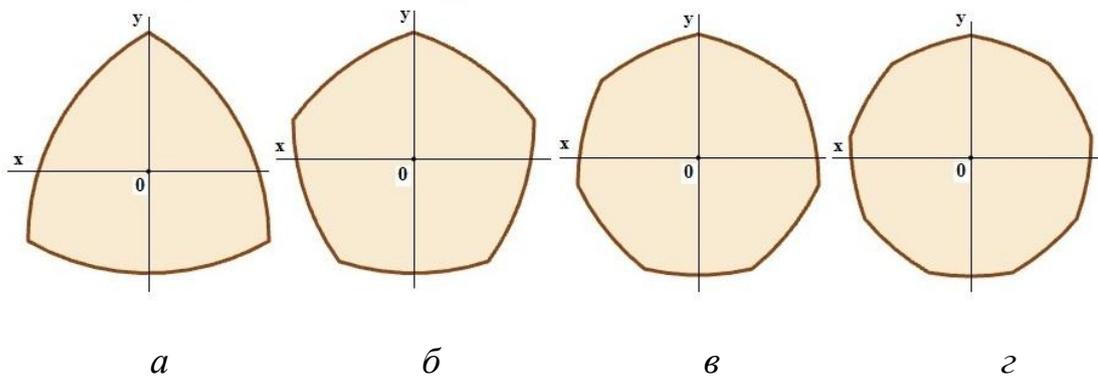


Рисунок 2.1 – Многоугольники Рело:

а – треугольник; б – пятиугольник; в – семиугольник; г – девятиугольник

С использованием пакета компьютерных программ «Компас-3D» [99] были организованы и произведены расчеты моментов инерции  $J_x$  и  $J_y$  на главных центральных осях поперечных сечений выше перечисленных многоугольников, а также свободного пространства  $S_{св}$  для удаления отбуренной горной породы. Свойства многоугольников Рело представлены в таблице 2.3.

Результаты расчетов, представленные в таблице 2.3, показывают, что все многоугольники Рело имеют одинаковый момент инерции на главных центральных осях. При этом треугольник Рело обеспечивает наибольшую площадь свободного пространства для удаления отбуренной горной породы. Расчеты данного параметра приведены по всем многоугольникам при условии бурения шпура диаметром 30 мм.

Поэтому в Тульском государственном университете была предложена конструкция буровой штанги для вращательного бурения шпуров с поперечным сечением в форме треугольника Рело [100 – 104]. Разработанная штанга показана на рисунках 2.2 и 2.3.

Таблица 2.3 – Свойства многоугольников Рело

№ п/п	Многоугольник Рело	$J_x$ и $J_y$ , мм <sup>2</sup>	$S_{св}$ , мм <sup>2</sup>
1	Треугольник	61621,38 61621,38	321,2
2	Пятиугольник	64570,89 64570,89	305,4
3	Семиугольник	63250,47 63250,47	282,2
4	Девятиугольник	63118,32 63118,32	277,1

Буровая штанга состоит из следующих частей (см. рисунок 2.2): 1 – тело штанги, 2 – хвостовик, 3 – замок для крепления резца.

Использование поперечного сечения в форме треугольника Рело позволяет исключить точки на поперечном сечении штанги, в которых происходит концентрация напряжений, а также увеличить ее продольную и осевую жесткости [100] с сохранением приемлемого свободного пространства для удаления отбуренной горной породы.

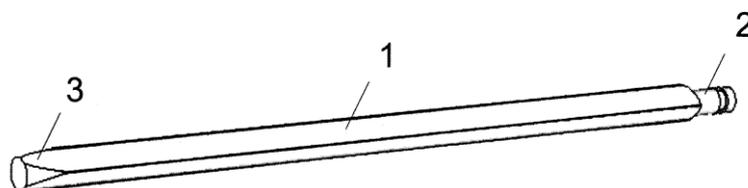


Рисунок 2.2 – Общий вид буровой штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело

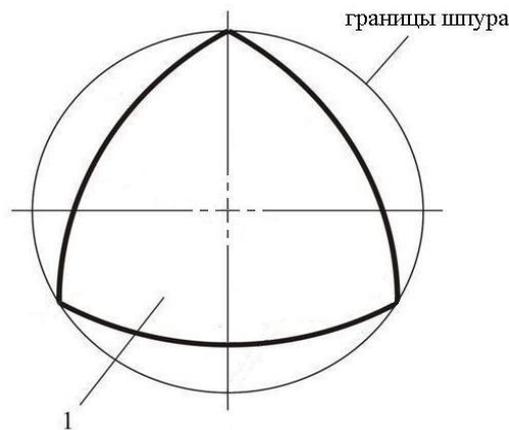


Рисунок 2.3 – Поперечное сечение штанги в форме треугольника Рело

Теоретическое обоснование рациональной геометрии поперечного сечения буровой штанги не может являться достаточным аргументом для внедрения разработанной конструкции в серийное производство без подтверждения заявляемых параметров методами математического моделирования. Решению этой задачи посвящен следующий раздел.

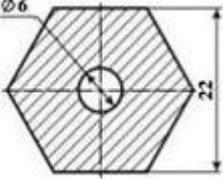
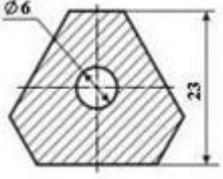
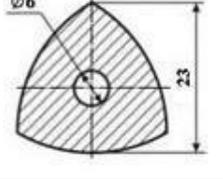
## **2.2 Определение эксплуатационных характеристик разработанной штанги для вращательного бурения шпуров**

Штанга в процессе бурения находится под воздействием сжимающей нагрузки в виде усилия подачи резца на забой шпура и крутящего момента, формируемого при бурении. Все это приводит к появлению больших изгибающих деформаций и крутильных колебаний штанги, которые могут способствовать ее изгибу с последующим заклиниванием в шпуре, а также ее излому.

В настоящем разделе осуществлено исследование геометрических параметров буровых штанг с целью определения их прочности в процессе бурения, а также свободного пространства для удаления отбуренной горной породы.

В качестве аналогов при исследовании конструкций разработанных буровых штанг, рассматривались стандартные штанги, выпускаемые ООО «Горный инструмент» [88]. Штанги, используемые в исследовании, представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Исследуемые штанги для вращательного бурения шпуров

№ п/п	Модель штанги	Профиль поперечного сечения буровой штанги
1	ШБ 22-L/22-R17 [88]	
2	ШБТ 23-L/23-M16 [88]	
3	Штанга буровая с поперечным сечением в форме треугольника Рело [100]	

Моделирование выше представленных буровых штанг на предмет определения их коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям, а также их 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».

Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям позволяет оценить количественное отношение рассчитанных эквивалентных напряжений к допускаемому напряжению, которое указывается в характеристиках материала [105]. Программное обеспечение «T-FLEX CAD» является одной из полнофункциональных систем автоматизированного проектирования, обладаю-

щей всеми современными средствами разработки проектов любой сложности [106].

На рисунке 2.4 показано разбиение исследуемых моделей штанг на конечные элементы. Модель штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело содержит 845 узлов и состоит из 2780 объемных элементов (рисунок 2.4, *а*). Модель штанги ШБ 22-L/22-R17 содержит 812 узлов и состоит из 2709 объемных элементов (рисунок 2.4, *б*). Модель штанги ШБТ 23-L/23-M16 содержит 871 узел и состоит из 2981 объемных элементов (рисунок 2.4, *в*).

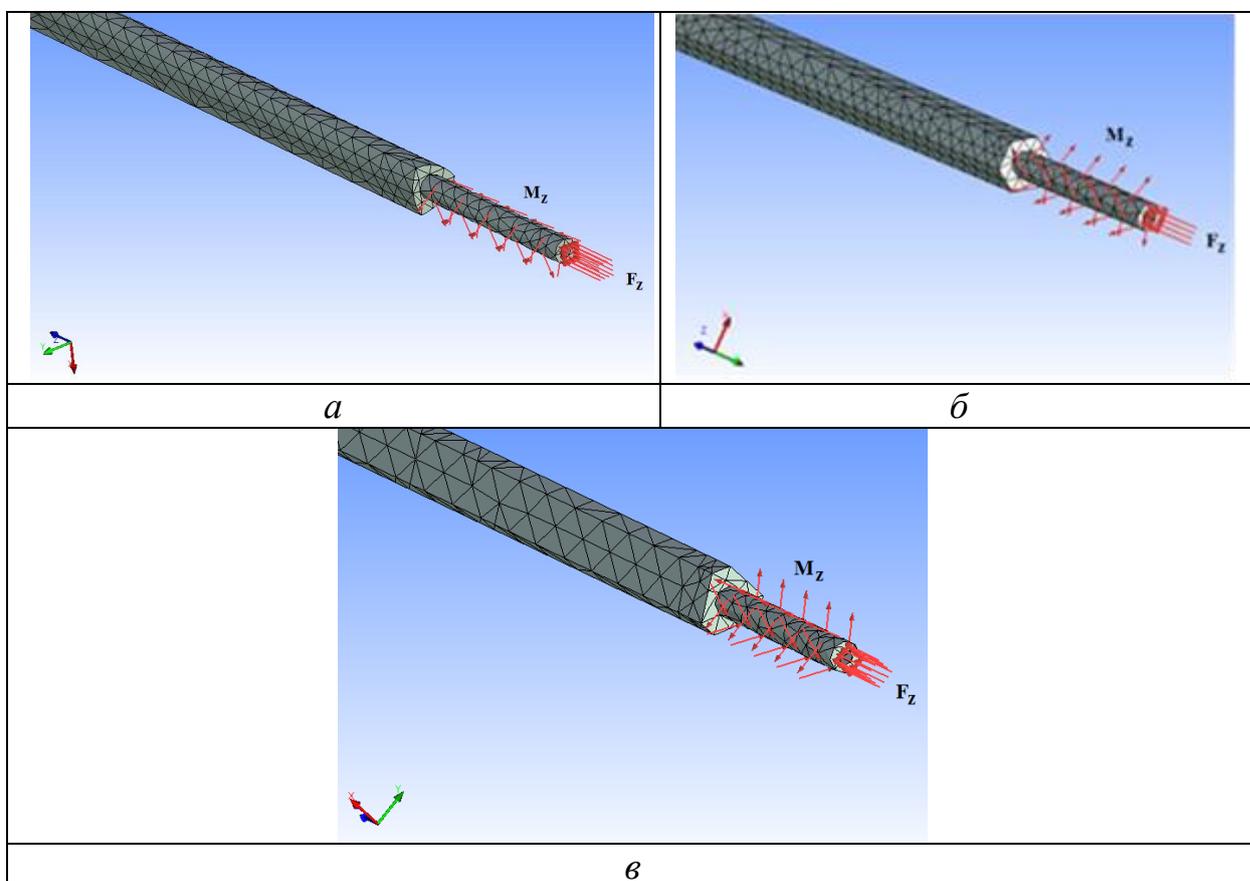


Рисунок 2.4 – Разбиение исследуемых штанг на конечные элементы:  
*а* – штанга в форме треугольника Рело; *б* – ШБ 22-L/22-R17; *в* – ШБТ 23-L/23-M16)

Результаты моделирования исследуемых буровых штанг на предмет определения их коэффициента запаса прочности по эквивалентным напряжениям

при приложении внешних нагрузок в виде осевого усилия  $F_z = 11$  кН и крутящего момента  $M_z = 251$  Н·м, приведены на рисунке 2.5. Выше приведенные механические характеристики были приняты от пневматической буровой установки «RAMBOR» [107], предназначенной для вращательного бурения вертикальных и наклонных шпуров в горных выработках с коэффициентом крепости пород по проф. Протоdjeяконову  $f \leq 10$ .

Длина каждой из исследуемых буровых штанг была равна 1 м. В качестве материала принимаем сталь марки 60С2, применяемую для изготовления буровых штанг. Диаметр бурового резца, закрепленного на конце штанг, был равен 30 мм.

Из рисунка 2.5 видно, что в процессе работы наибольшие напряжения в исследуемых буровых штангах возникают в области соединения хвостовика с телом (на рисунке. 2.5 данная область выделена красным цветом).

Известно, что при коэффициенте запаса по эквивалентным напряжениям меньше 1 происходит разрушение материала. Так, из рисунка 2.5, а видно, что штанга с поперечным сечением в форме треугольника Рело имеет коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям 3,6 [108]. Штанга модели ШБ 22-L/22-R17 имеет коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям 3,5 (рисунок 2.5, б). Штанга модели ШБТ 23-L/23-M16 обладает коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям 1,3 (рисунок 2.5, в).

С использованием пакета компьютерных программ «T-FLEX CAD» были получены площади свободного пространства  $S_{св}$  между телом штанги и буримым шпуром для удаления отбуренной горной породы, которые составили: 286,7 мм<sup>2</sup> для ШБ 22-L/22-R17 и 287,5 мм<sup>2</sup> для ШБТ 23-L/23-M16. Для экспериментальной штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело 321,2 мм<sup>2</sup>.

При составлении математической пропорции было установлено, что буровая штанга с поперечным сечением в форме треугольника Рело имеет площадь свободного пространства на 12% больше в сравнении со своим ближайшим аналогом – серийной штангой ШБТ 23-L/23-M16

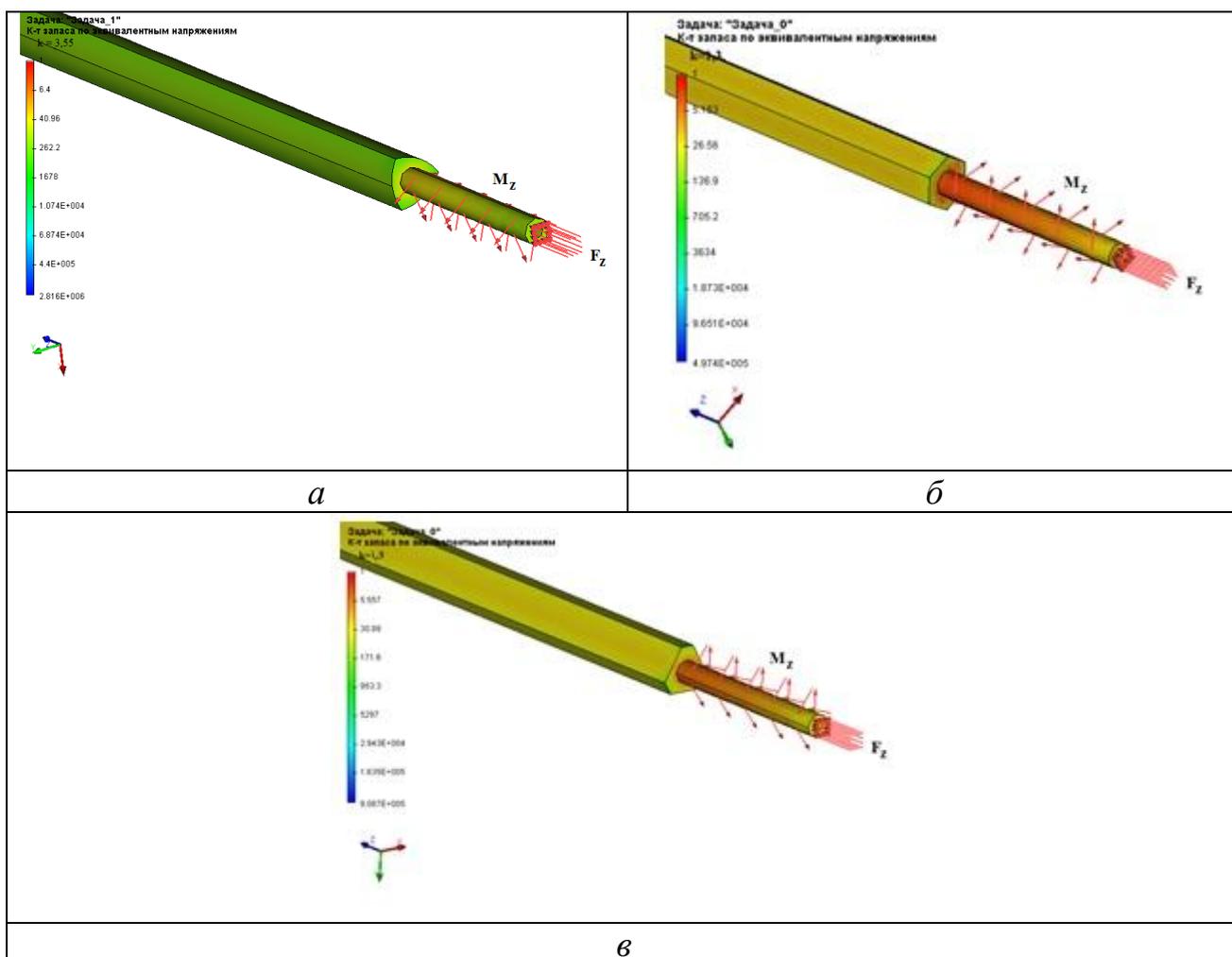


Рисунок 2.5 – Прочностной анализ трехмерных моделей буровых штанг с приложенными нагрузками:

*a* – в форме треугольника Рело; *б* – ШБ 22-L/22-R17; *в* – ШБТ 23-L/23-M16

Также с применением компьютерной программы «T-FLEX CAD» был произведен расчет массы  $m$  1 метра каждой из исследуемых буровых штанг, которая составила: 3 кг для ШБ 22-L/22-R17 и 2,8 кг для ШБТ 23-L/23-M16. Для штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело масса составила 2,7 кг.

При составлении математической пропорции было установлено, что буровая штанга с поперечным сечением в форме треугольника Рело имеет массу своего 1 метра, который на 4 % меньше массы 1 метра штанги ШБТ 23-L/23-M16.

Сводные эксплуатационные характеристики разработанных конструкций буровых штанг и их ближайших аналогов приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристики конструкций штанг для вращательного бурения шпуров

№ п/п	Модель штанги	$J_x$ и $J_y$ , мм <sup>2</sup>	n	$S$ , мм <sup>2</sup>	$S_{св}$ , мм <sup>2</sup>	$m$ , кг
1	ШБ 22-L/22-R17	34456,82 25887,61	3,5	419,8	286,7	3
2	ШБТ 23-L/23-M16	27074,57 30257,1	1,3	419	287,5	2,8
3	Штанга буровая с поперечным сече- нием в форме тре- угольника Рело	61621,38 61621,38	3,6	385,3	321,2	2,7

Анализируя полученные данные, следует отметить, что буровая штанга с поперечным сечением в форме треугольника Рело обладает наибольшим коэффициентом запаса по эквивалентным напряжениям и большей площадью свободного пространства для отвода буровой мелочи в сравнении со штангой ШБ 22-L/22-R17 и штангой ШБТ 23-L/23-M16. По массе штанга с поперечным сечением в форме треугольника Рело также имеет преимущество среди представленных штанг.

### **2.3 Испытание резьбовых соединений буровых штанг для определения оптимального конструкционного материала их производства**

В процессе вращательного бурения шпуров при монтаже анкерной крепи очень часто имеет место излом хвостовика штанги в области его резь-

бового соединения с патроном бурильной машины. Это отрицательное явление может происходить в первую очередь в виду низкой надежности резьбового соединения и прочностных свойств конструкционных материалов, из которых изготовлена сама штанга.

В настоящем диссертационном исследовании была проведена работа по выбору оптимального резьбового соединения для дальнейшего его применения к предлагаемым буровым штангам, а также выбор конструкционного материала для производства штанг.

На шахтах Российской Федерации наибольшее распространение получили штанги для вращательного бурения шпуров с шестигранным поперечным сечением [109], изготовленные из материала обладающего разными прочностными характеристиками и имеющие разные резьбовые соединения. В таблице 2.6 приведены конструкции буровых штанг, задействованных в исследовании.

При исследовании трехгранного и шестигранного бурового проката (таблица 2.6), было выявлено, что наиболее надежным является крепление с резьбовым соединением R17, которое выдерживает нагрузку в виде крутящего момента до 455 Н·м.

Также было установлено, что прокат шестигранного профиля производства шведской компании «Sandvik» обладает высокими прочностными свойствами среди исследуемого проката, выдерживая нагрузку на кручение до 455 Н·м.

В таблице 2.7 приведены прочностные характеристики бурового проката, используемого в процессе производства выше исследованных буровых штанг [77].

Таблица 2.6 – Исследуемые конструкции буровых штанг

№ п/п	Модель штанги, производитель, марка стали	Общий вид	Резбовое соединение	Крутя- щий мо- мент, Н·м
1	Трехгранный прокат (ООО «Горный ин- струмент», 40ХГСМА)		M14	100
			R17	285
2	Шестигранный про- кат S-22 (ООО «УГМК- Сталь», 55С2)		M14	60
			R17	270
			R17	275
3	Шестигранный про- кат S-22 (компания «Sandvik», Sanbar 61)		R17	455

4	Шестигранный прокат S-22 (Beijing Pro Drill Equipment Co., Ltd., 30CrMnSiA)		R17	430
---	--	--	-----	-----

Таблица 2.7 – Прочностные характеристики бурового проката для изготовления штанг по данным ООО «Горный инструмент»

№ п/п	Модель штанги, производитель, марка стали	Прочностные характеристики буровой стали	
1.	Трехгранный прокат (ООО «Горный инструмент», 40ХГСМА)	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B (R_m)$ , МПа	1250
		Предел текучести $\sigma_T (R_{p0.2})$ , М	1000
		Предел прочности по касательным напряжениям при статическом нагружении $[\tau_T^I]$ , МПа	700
		Предел прочности по касательным напряжениям при пульсационном нагружении $[\tau_T^{II}]$ , МПа	500
2.	Шестигранный прокат S-22 (ООО «УГМК-Сталь», 55С2)	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B (R_m)$ , МПа	1270
		Предел текучести $\sigma_T (R_{p0.2})$ , М	1175
		Предел прочности по касательным напряжениям при статическом нагружении $[\tau_T^I]$ , МПа	705
		Предел прочности по касательным напряжениям при пульсационном нагружении $[\tau_T^{II}]$ , МПа	500

3	Шестигранный прокат S-22 (компания «Sandvik», Sanbar 61)	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B (R_m)$ , МПа	1350
		Предел текучести $\sigma_T (R_{p0.2})$ , М	820
		Предел прочности по касательным напряжениям при статическом нагружении $[\tau_T^I]$ , МПа	750
		Предел прочности по касательным напряжениям при пульсационном нагружении $[\tau_T^{II}]$ , МПа	520
4	Шестигранный прокат S-22 (Beijing Pro Drill Equipment Co., Ltd., 30CrMnSiA)	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B (R_m)$ , МПа	1200
		Предел текучести $\sigma_T (R_{p0.2})$ , М	1050
		Предел прочности по касательным напряжениям при статическом нагружении $[\tau_T^I]$ , МПа	667
		Предел прочности по касательным напряжениям при пульсационном нагружении $[\tau_T^{II}]$ , МПа	463

#### 2.4 Перспективные конструкции буровых штанг

Известны конструкции буровых штанг [110, 111] для вращательного бурения шпуров, также предложенные автором настоящей диссертационной работы.

Буровая штанга [110] содержит тело штанги, хвостовик и замок для закрепления резца. Тело штанги выполнено трехгранным с поперечным сечением в виде гипоциклоиды, имеющей скругленные концы ветвей. Штанга состоит из следующих частей (рисунок 2.6): 1 – тело штанги, 2 – хвостовик, 3 – замок для крепления резца.

Технический результат, получаемый при использовании предлагаемой конструкции заключается в увеличении прочности буровой штанги при передаче крутящих моментов на буровой инструмент за счет выполнения тела штанги трехгранным, а выполнение поперечного сечения тела

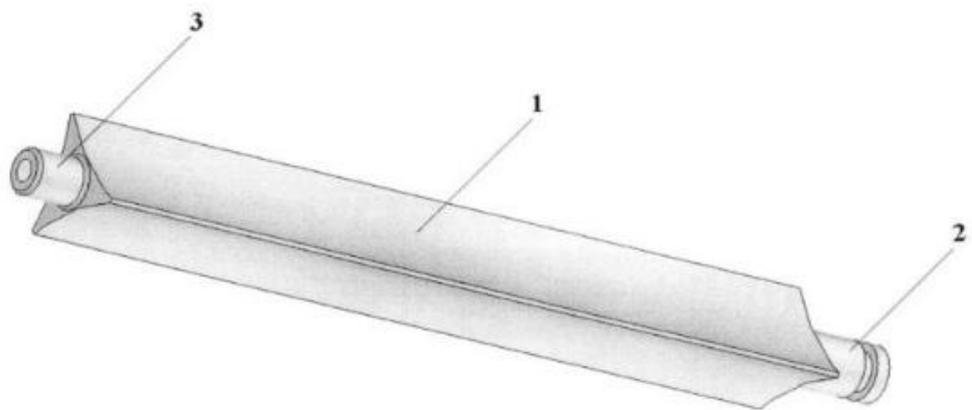


Рисунок 2.6 – Общий вид буровой штанги с поперечным сечением в виде гипоциклоиды со скругленными концам ветвей

штанги в виде гипоциклоиды способствует исключению точек на поперечном сечении штанги, в которых происходит концентрация напряжений. Помимо этого, выполнение концов ветвей гипоциклоиды скругленными, увеличивает пространство между стенкой шпура и телом штанги, что улучшает процесс удаления отбуренной горной породы.

Буровая штанга [111] включает в себя тело штанги, хвостовик и замок для крепления резца. Тело штанги выполнено четырехгранным с поперечным сечением в виде астроида, концы ветвей которой выполнены скругленными. Штанга состоит из следующих частей (рисунок 2.7): 1 – тело штанги, 2 – хвостовик, 3 – замок для крепления резца.

Технический результат, получаемый при использовании предлагаемой конструкции, заключается в повышении устойчивости буровой штанги при передаче крутящих моментов на буровой инструмент за счет изготовления тела штанги четырехгранным с поперечным сечением в форме астроида.

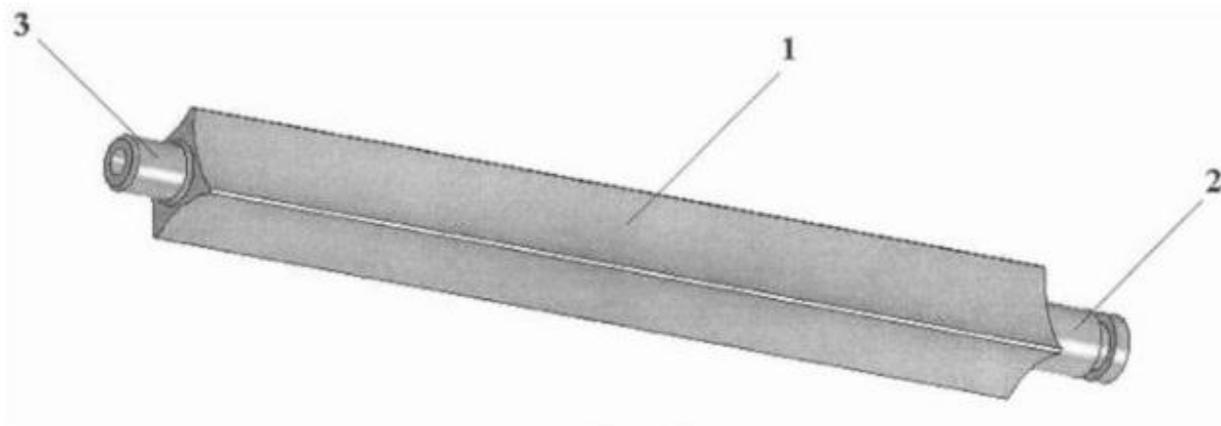


Рисунок 2.7 – Общий вид буровой штанги с поперечным сечением в виде астроида со скругленными концами ветвей

### В ы в о д ы

1. Исследования серийных буровых штанг производства ООО «Горный инструмент» и разработанной штанги с поперечным сечением в форме треугольника Рело проводились с использованием пакета компьютерных программ «T-FLEX CAD» и «Компас-3D».

2. Обоснована рациональная геометрия поперечного сечения буровой штанги, которая обеспечивает эффективное удаление отбуренной горной породы за счет увеличенного свободного пространства и обладает одинаковым моментом инерции на своих главных центральных осях. Поперечное сечение штанги представляет собой треугольник Рело.

3. Показано, что буровая штанга с поперечным сечением в форме треугольника Рело обладает наибольшим коэффициентом запаса по эквивалентным напряжениям и большей площадью свободного пространства для отвода буровой мелочи в сравнении со штангой ШБ 22-L/22-R17 и штангой ШБТ 23-L/23-M16.

4. Установлено, что разработанная буровая штанга с поперечным сечением в форме треугольника Рело обладает массой меньше на 4% и обеспечивает площадь свободного пространства для удаления буровой мелочи на 12%

больше при аналогичной прочности в сравнении с ближайшим аналогом – серийной штангой ШБТ 23-L/23-M16,

5. Установлено, что оптимальным конструкционным материалом для производства буровых штанг является буровой прокат шведского производства компании «Sandvik», 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.

6. Представлены перспективные конструкции буровых штанг, способствующие повышению эффективности вращательного бурения шпуров.

Следует отметить, что значительное влияние на эффективность вращательного бурения шпуров помимо штанг также оказывает конструкция используемого бурового резца. В этой связи поиск рациональной конструкции бурового резца является важной задачей. Ее решению посвящаются следующие главы.

### **3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЕЖУЩИХ ВСТАВОК И БУРОВЫХ РЕЗЦОВ**

#### **3.1 Исследование причин выхода из строя серийных буровых резцов**

Вращательное бурение шпуров в углепородном массиве представляет собой сложный процесс, производительность которого зависит не только от технологических показателей режима бурения, но и от конструктивных параметров горного инструмента [112] и степени его износа [113]. В связи с этим существенное значение приобретают исследования, направленные на установление причин выхода резцов из строя и установление веса каждой причины в общем объеме поломок горного инструмента.

В настоящее время в практике горного производства используются резцы двухперой и трехперой конструкции.

Выбор типа резца определяется крепостью горной породы и используемой бурильной машины. Трехперые буровые резцы применяются как правило для работы с гидравлическими буровыми установками, обладающими большим крутящим моментом и усилием подачи в сравнении с бурильными машинами, работающими на энергии сжатого воздуха.

Наличие третьего пера в конструкции таких резцов снижает нагрузку на каждое перо в отдельности. Использование же двухперых резцов для работы с гидравлическими буровыми установками зачастую приводит к их поломке.

Проведенные исследовательские работы в рамках реализации Федеральной целевой программы позволяют произвести анализ причин выхода из строя буровых резцов [114]. Название программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы». Тема программы «Разработка экспериментальных конструкций комбинированного инструмента с применением

сверхтвердых композиционных материалов для эффективного разрушения горных пород». Соглашение № 14.607.21.0028 от 05.06.2014 г.

В процессе бурения абразивных пород проявляется одна из причин выхода резцов из строя, а именно – притупление режущей кромки твердосплавных пластин. Буровой резец с затупленными режущими пластинами приведен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Породный буровой резец с затупленными режущими пластинами (стрелками указаны области притупления пластин)

Известно, что технически острым считается инструмент с площадкой притупления не более  $0,5 \text{ мм}^2$  [4]. В зависимости от свойств буримых горных пород и материала режущих пластин происходит изменение интенсивности нарастания площадки притупления, что может привести к затуплению инструмента.

Скол режущих пластин также является одной из причин выхода из строя буровых резцов. В результате проведенных опытно-конструкторских работ было установлено, что скол пластин происходит с появлением критических нагрузок в режущей пластине в процессе бурения неоднородного массива (наличие твердых включений, каверн). Буровой резец со сколом режущей кромки пластины показан на рисунке 3.2.

Применение несоответствующих режимов бурения с недостаточным охлаждением горного инструмента является одной из причин преждевременного выхода из строя резцов. Превышение необходимой угловой скорости для бурения твердых горных пород влечет за собой чрезмерное трение пла-

стин о лоб забоя, что приводит к нагреву перьев резца, а также к ослаблению паяного шва. Буровой резец с оторванной режущей пластиной приведен на рисунке 3.3.



Рисунок 3.2 – Буровой резец со сколом режущей кромки пластины  
(стрелкой показан скол режущей кромки пластины)

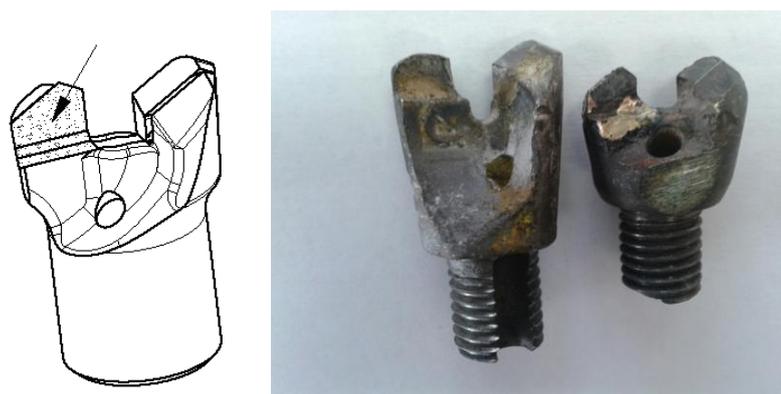


Рисунок 3.3 – Буровой резец с оторванной режущей пластиной  
(стрелкой показана оторванная режущая пластина)

Последние два вида выхода буровых резцов из строя – это поломка и деформация перьев резца. В этом случае выход из строя резцов происходит в виду недостаточной прочности корпуса резца после развития площадки его затупления и сохранения высокого уровня усилия подачи и крутящего момента. Буровой резец с поломанным пером приведен на рисунке 3.4, буровой резец с деформированными перьями – на рисунке 3.5.

В процессе проведения исследования в рамках Федеральной целевой программы, на предмет определения основной причины выхода резцов из строя при бурении шпуров для возведения сталеполимерной крепи в угольных шахтах, было установлено, что основной причиной является затупление их режущих пластин, выполненных из вольфрамокобальта, которое составило около 95% от всех выше рассматриваемых причин.

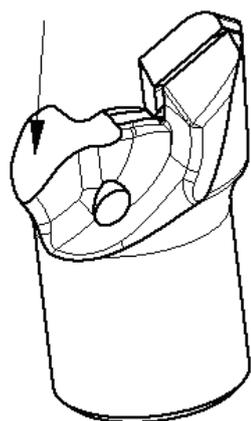


Рисунок 3.4 – Буровой резец с изломом пера (стрелкой указано место излома пера)

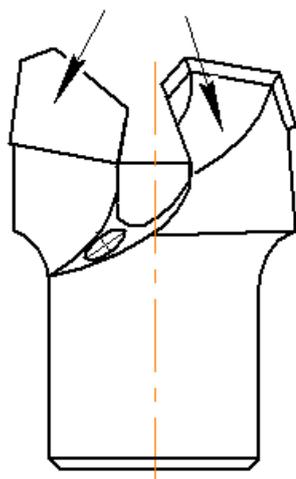
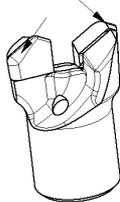
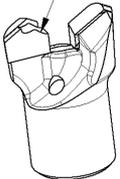
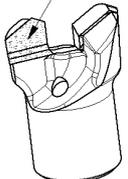
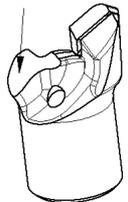
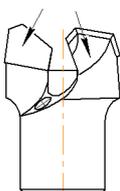


Рисунок 3.5 – Буровой резец с деформированными перьями (стрелками указаны деформированные перья)

В таблицу 3.1 сведены все причины выхода резцов из строя и процентное содержание каждой из них.

Таблица 3.1 – Причины выхода из строя резцов

№ п/п	Причина выхода резца из строя	Внешний вид резца, вышедшего из строя	Процентный вес каждой причины в общем объеме поломок резцов, %
1	Затупление режущих пластин		95
2	Скол кромки режущей пластины		2
3	Отрыв режущей пластины		1
4	Излом пера		1
5	Деформация перьев		1

Приведенные данные с достаточной степенью достоверности свидетельствуют о наличии потенциальной возможности повышения ресурса горного инструмента для вращательного бурения шпуров посредством поиска рациональной геометрии режущих лезвий буровых резцов, обеспечивающей повышенную стойкость к затуплению.

### 3.2 Обоснование рациональной геометрии режущей кромки инструмента для вращательного бурения шпуров

История вращательного способа бурения шпуров включает в себя, прежде всего, поиск рациональных конструкций породоразрушающего инструмента. За годы практики и научно-исследовательских работ отечественной и зарубежной промышленностью было создано большое количество резцов с различными конструкциями и формами режущих вставок.

Известно, что производительность вращательного бурения шпуров зависит от степени износа горного инструмента. На эффективность процесса вращательного бурения оказывает влияние форма и углы заточки лезвий резцов. 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 (см. таблицу 3.1), что основной причиной выхода из строя буровых резцов является затупление вольфрамокобальтовых пластин, которое составляет около 95% от всех выявленных причин.

Также известно [4], что при прерывистом винтовом движении режущей кромки бурового резца в забое действительные рабочие углы резания становятся отличными от углов заточки.

В общем случае передняя поверхность пера резца (рисунок 3.6) может быть представлена некоторой криволинейной цилиндрической поверхностью. Эту поверхность удобно записать в цилиндрической системе координат  $F_n = (z, \rho, \lambda) = 0$ . Поверхность имеет прямолинейную образующую  $id$ , расположенную под наклоном к плоскости  $XOZ$  под углом  $\gamma_1$ .

В приведенной системе координат  $OZ$  является осью вращения резца, а ось  $OX$  проходит через периферийную точку  $B$  режущей кромки  $AB$ . Любая точка кромки определяется координатами  $z_i, \rho_i$ , и  $\lambda_i$ . Как известно [4], из технологических соображений заднюю поверхность лезвий у резцов выпол-

няют плоской, т.е.  $F_3(z, \rho, \lambda) = 0$ . В данном случае действительные задние углы резания определяются из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\cos \varphi}, \quad (3.1)$$

где  $\alpha_1$  – задний угол заточки;  $\varphi$  – угол наклона линии пересечения плоскостей.

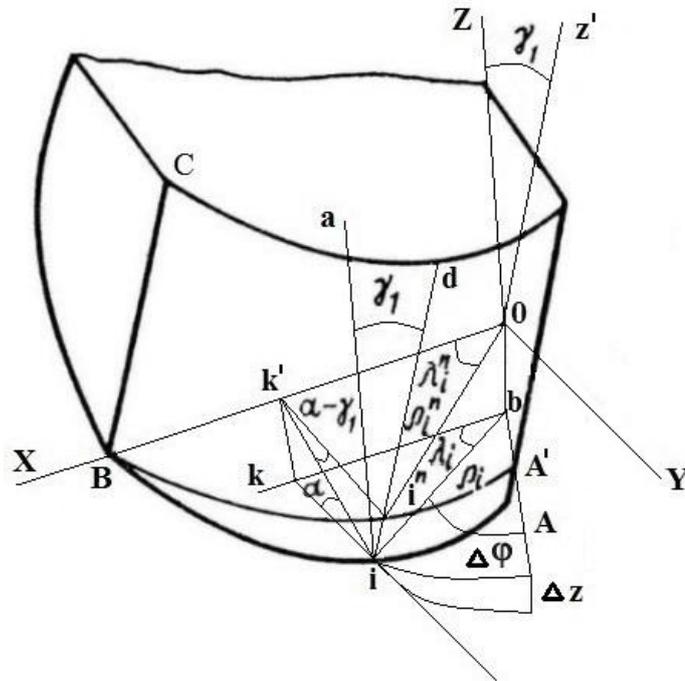


Рисунок 3.6 – Режущая вставка резца со схемой расчета рабочих углов резания

Из треугольника  $k'ki$ , лежащего в секущей плоскости  $ikad$ , параллельной плоскости  $ZOY$ , сторона определится

$$k_i = \frac{z_i}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (3.2)$$

Из треугольника  $bki$ , лежащего в плоскости, параллельной плоскости  $XOY$ , сторона  $k_i$  определится

$$k_i = \rho_i \sin \lambda_i. \quad (3.3)$$

Тогда  $z_i$  можно определить из выражения

$$z_i = \rho_i \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha_i \quad (3.4)$$

$z_i$  при наличии угла  $\varphi$  определится

$$z_i = \frac{\rho_i \sin \lambda_i \operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi} - (R - \rho \sin \lambda_i) \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.5)$$

Действительный передний угол  $\gamma$ , находящийся в плоскости  $ifac$ , параллельной оси резца и перпендикулярной радиусу, проведенному до данной точки лезвия, связан с углом заточки  $\gamma_1$  зависимостью

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \gamma_1}{\cos \lambda_i}. \quad (3.6)$$

Стоит отметить, что при повороте резца на угол  $\Delta\varphi$  режущая кромка переместится вдоль оси резца на величину  $\Delta z$ . Угол наклона траектории любой точки режущей кромки можно определить из зависимости

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{1}{\rho_i} \cdot \frac{\Delta z}{\Delta \varphi}. \quad (3.7)$$

Наличие угла  $\mu$  изменит передний угол резания согласно выражению

$$\gamma_\rho = \gamma + \mu, \quad (3.8)$$

где  $\gamma_\rho$  – передний рабочий угол резания.

Выражение (3.8) при учете выражения (3.6) преобразуется к виду

$$\operatorname{tg} \gamma_\rho = \frac{\operatorname{tg} \gamma_1 + \operatorname{tg} \mu_i \cdot \cos \lambda_i}{\cos \lambda_i - \operatorname{tg} \mu_i \cdot \operatorname{tg} \gamma_1}. \quad (3.9)$$

В виду этого, режущая кромка резца в пространстве забоя может быть описана системой уравнений (3.5) и (3.9), из которых первое связывает координату  $z$  с комбинацией координат  $\rho$  и  $\lambda$  в зависимости от величины заднего угла заточки. Второе уравнение описывает проекцию режущей кромки на координатную плоскость  $XOY$  и связывает координаты  $\rho$  и  $\lambda$  с величинами переднего угла на теле резца и его углубления.

В процессе взаимодействия лезвий резца с углепородным массивом необходимо обеспечить равнопрочность лезвий по всей их длине. Этого можно достичь путем устранения на лезвии концентраторов напряжений и соблюдая постоянство переднего рабочего угла ( $\gamma_\rho = \text{const}$ ) в любой точке лезвия.

Рассмотрим два варианта геометрии режущих вставок (рисунок 3.7): когда передняя поверхность выпуклая, а задняя плоская (см. рисунок 3.7, а),

и когда передняя поверхность плоская, а задняя выпуклая (см. рисунок 3.7, б). Эти два варианта геометрии теоретически одинаково возможны, но стоит отметить, что на практике предпочтительнее использовать первый вариант, в виду обеспечения сохранения геометрических параметров в процессе переточки резца и сравнительную простоту формы вставки из твердого сплава.

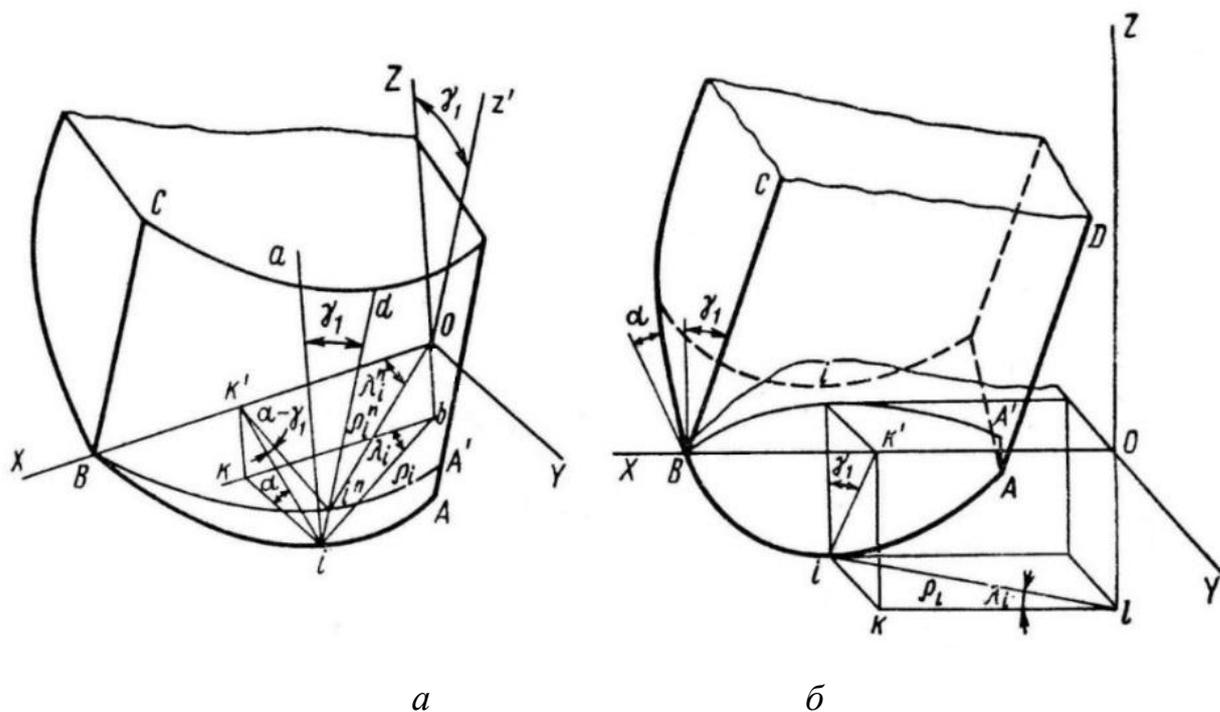


Рисунок 3.7 – Формы вставок, удовлетворяющие условию  $\gamma_p = \text{const}$  в любой точке лезвия:

*a* – вставка с выпуклой передней поверхностью и задней плоской; *б* – вставка с плоской передней поверхностью и задней выпуклой

Уравнение направляющей кривой  $BA'$  для передней поверхности пера по первому варианту можно найти, повернув всю систему координат  $XYZ$  вокруг оси  $OX$ , принимаемой за начальную линию отчета угла  $\lambda$ , на величину наклона передней поверхности (на угол  $\gamma_1$ ). Координаты точки  $i^n$  направляющей кривой  $BA'$   $\lambda_i^n$  и радиуса  $\rho_i^n$  в новой системе координат  $X'Y'Z'$  могут быть определены зависимостями

$$\lambda_i^n = \arctg\left(\text{tg}\lambda_i \frac{\cos(\alpha - \gamma_1)}{\cos\alpha}\right); \quad (3.10)$$

$$\rho_i^n = \rho_i \frac{\sin \lambda_i}{\sin \lambda_i^n} \cdot \frac{\cos(\alpha - \gamma_1)}{\cos \alpha}. \quad (3.11)$$

Согласно зависимости (3.9),

$$\operatorname{tg} \gamma_p = \frac{\operatorname{tg} \gamma_1 - \operatorname{tg} \left( \frac{l}{\rho_i^n} \cdot \frac{\Delta z}{\Delta \varphi} \right) \cos \lambda_i^n}{\cos \lambda_i^n + \operatorname{tg} \left( \frac{l}{\rho_i^n} \cdot \frac{\Delta z}{\Delta \varphi} \right) \operatorname{tg} \gamma_1}. \quad (3.12)$$

В виду этого, вставка из твердого сплава с передней поверхностью, установленной, согласно зависимости (3.12), под углом  $\gamma_1$  в корпусе резца, позволит обеспечить постоянство в процессе бурения переднего рабочего угла резания  $\gamma_p$  по всей длине режущей кромки.

### **3.3 Разработка конструкций буровых резцов, обеспечивающих снижение энергоемкости бурения шпуров и облегчающих процесс забуривания в горную породу**

Эффект от использования режущей вставки, выполненной согласно зависимости (3.12), состоит в том, что она обеспечивает постоянство в процессе бурения переднего рабочего угла резания по всей длине режущей кромки.

По мнению Л.Т. Дворникова и О.Д. Алимова для наиболее распространенных на практике бурения передних углов заточки  $\gamma_1 = -15^\circ$  и задних углов  $\alpha_1 = 30^\circ$  искомая кривая с достаточной степенью точности может быть аппроксимирована уравнением эллипса (3.13)

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (3.13)$$

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 усложнению процесса забуривания резца в углепородный массив.

Устранить данный недостаток по мнению автора настоящей работы, может использование буровой вставки в форме эллипсообразного овала Кассини.

Эллипсообразный овал Кассини представляет собой плоскую замкнутую кривую, которая не имеет ни точек перегиба, ни точек возврата, ни узловых точек и является выпуклой по всему периметру [115] (рисунок 3.8).

Геометрия эллипсообразного овала Кассини так же может являться одной из форм аппроксимации зависимости (3.12) для наиболее распространенных на практике передних и задних углов буровых резцов.

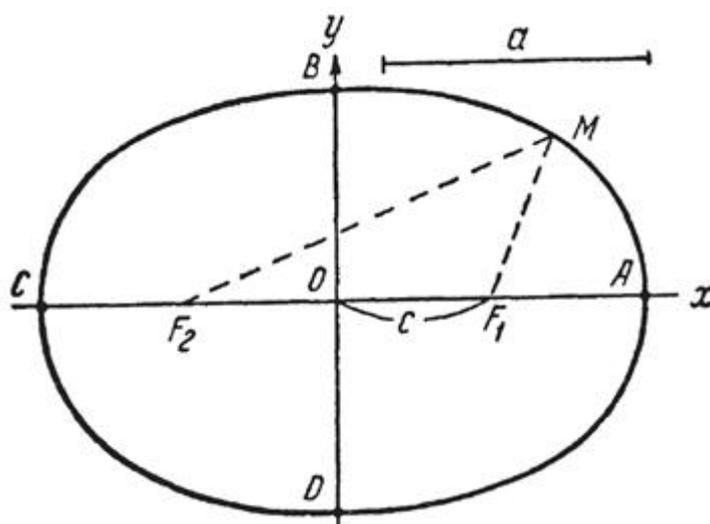


Рисунок 3.8 – Геометрия режущей вставки в форме эллипсообразного овала

На рисунке 3.3  $F_1$  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 [116]:

$$\left(x^2 + y^2\right)^2 - 2c^2\left(x^2 - y^2\right) = a^4 - c^4. \quad (3.14)$$

Изменение отношения величины  $a$  к величине  $c$  уравнения (3.14) приводит к изменению формы кривой овала Кассини (см. рисунок 3.8). В случае эллипсообразного овала Кассини необходимо чтобы

$$af c\sqrt{2}. \quad (3.15)$$

В процессе проведения научных исследований, была разработана конструкция бурового резца с режущей вставкой в форме эллипсообразного овала Кассини (рисунок 3.9) [117-120].

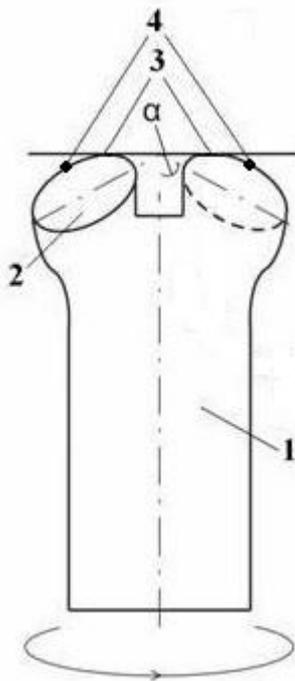


Рисунок 3.9 – Буровой резец с режущей вставкой в форме эллипсообразного овала Кассини

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 равной нулю, которая стремится к бесконечности [121] (см. рисунок 3.9, точки *4*). Достоинством такой режущей вставки является обеспечение полного контакта лезвия при взаимодействии с забоем шпура в этих точках (рисунок 3.4), что значительно облегчает процесс забуривания.

Предлагаемый буровой резец с режущей вставкой в форме эллипсообразного овала Кассини (см. рисунок 3.9) позволяет снижать уровень затупления лезвий  $З$  в отличие от известных конструкций буровых резцов, у которых взаимодействие лезвий с разрушаемым забоем происходит по размещенным на них концентраторам напряжений. Также одним из преимуществ резца является удобство забуривания в углепородный массив по сравнению с резцами, использующими режущие вставки в форме круга и эллипса.

Стоит отметить, что наименее энергоемкое бурение горных пород достигается при разрушении их крупным сколом, для чего в конструкциях резцов делается рассечка и прерывистые лезвия. Одним из примеров таких резцов является резец РКС. Этот резец включает в себя корпус и прерывистые лезвия, которые располагаются симметрично относительно оси резца. Каждое лезвие резца выполнено в виде двух полулезвий – внутреннего и периферийного. Резец РКС приведен на рисунке 3.10 [4].

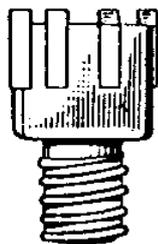


Рисунок 3.10 – Резец РКС

При анализе конструкции бурового резца РКС, можно отметить то обстоятельство, что оба внутренних полулезвия прорезают на забое шпура концентрические полосы, вполне накладываемые друг на друга, что не способствует активному разрушению забоя между полосами резания, ввиду этого энергоемкость процесса бурения оказывается высокой.

Учитывая это, были выполнены исследования направленные на поиск новых технических решений, которые могли бы способствовать снижению энергоемкости процесса бурения за счет организации разрушения углепородного массива крупным сколом. При проведении диссертационного исследова-

дования была разработана конструкция бурового резца с асимметричной кольцевой рассечкой приведенная на рисунке 3.11 [122, 118, 119, 120].

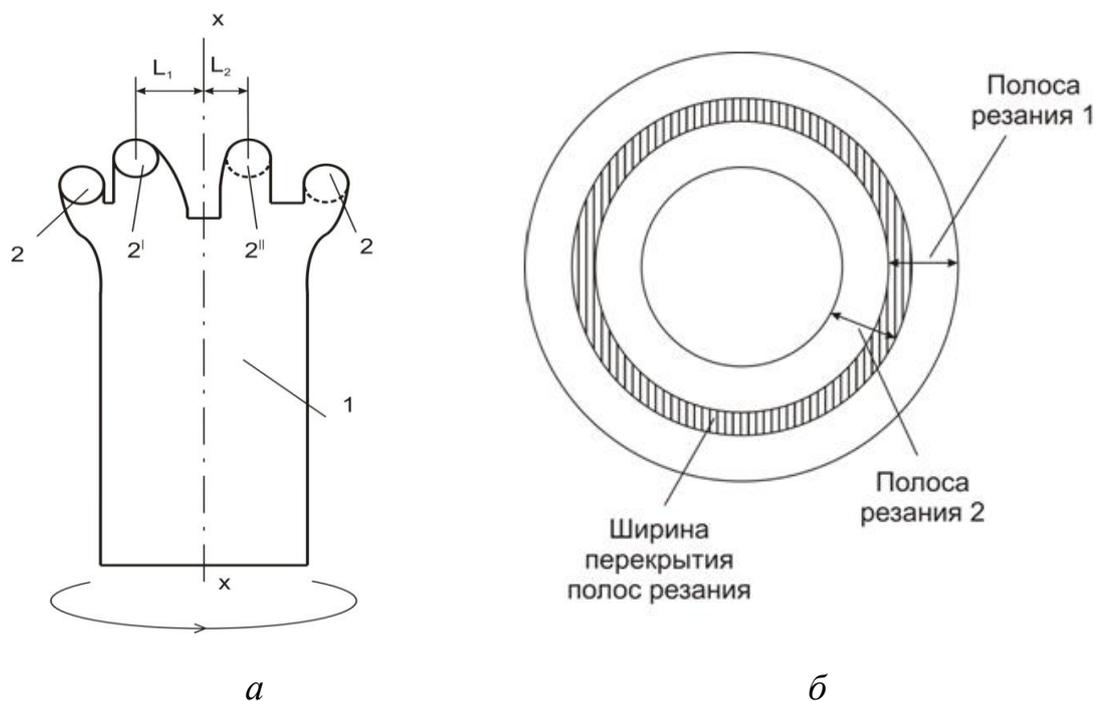


Рисунок 3.11 – Резец с асимметричной кольцевой рассечкой (а) и его схема резания (б)

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

В процессе бурения полулезвиями *2*, *2'* и *2''* происходит срезание горной породы на забое. За счет асимметричной установки внутренних полулезвий *2'* и *2''*, полосы их резания перекрывают друг друга и тем самым обеспечивают разрушение забоя крупным сколом, что влечет снижение энергоемкости процесса бурения.

## В ы в о д ы

1. Основной причиной выхода из строя серийных буровых резцов является затупление их режущих пластин, выполненных из вольфрамокобальта, которое составило около 95% от всех выше рассматриваемых причин.

2. Зависимость Л.Т. Дворникова и О.Д. Алимова (3.12) была с достаточной степенью точности аппроксимирована уравнением эллипса для наиболее распространенных в практике бурения резцов с конкретными углами заточки: для переднего  $-15^{\circ}$  и заднего  $30^{\circ}$ .

3. Зависимость (3.12) позволяет сохранять постоянство в процессе бурения переднего рабочего угла резания по всей длине режущей кромки, тем самым обеспечивая равнопрочность лезвий.

4. Применение зависимости (3.12) при изготовлении режущих пластин способствует усложнению процесса забуривания резца в углепородный массив ввиду отсутствия концентраторов напряжений на его лезвиях.

5. Разработаны новые конструкции резцов для бурения шпуров вращательным способом с режущими вставками в форме эллипсообразного овала Кассини и с ассиметричной кольцевой рассечкой, что обеспечивает снижение энергоемкости бурения за счет разрушения горной породы крупным сколом.

6. Применение для изготовления режущей вставки зависимости (3.14) совместно с выражением (3.15), представляющая собой эллипсообразный овал Кассини, позволяет обеспечить удобство забуривания резца в массив горных пород в процессе бурения им шпура в виду наличия на лезвиях точек, обладающих кривизной равной нулю, которая стремится к бесконечности, обеспечивающих полный контакт лезвий с забоем.

Буровой резец с режущими вставками в форме эллипсообразного овала Кассини обеспечивает полный контакт лезвий с забоем шпура, улучшая процесс забуривания резца при бурении им горной породы. Кроме того, используемая геометрия режущих пластин бурового резца способствует повыше-

нию прочности его лезвий в виду отсутствия на них концентраторов напряжений и постоянства переднего рабочего угла резания в любой точке лезвия.

Апробация предложенных технических решений осуществлена в главе 4, посвященной натурным испытаниям экспериментальных буровых резцов.

## 4 ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ГОРНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ БУРЕНИЯ ШПУРОВ

### 4.1 Программа и методика экспериментальных испытаний партии буровых резцов

Программа и методика разработаны на основе разделов типовой программы и методики приемочных испытаний опытной партии горно-режущего инструмента (Институт горного дела им. А.А. Скочинского).

Цель экспериментальных исследований заключается в определении эксплуатационных качеств и сравнительных показателей:

– причины выхода из строя (затупление твердого сплава, скол твердого сплава, отрыв твердого сплава, поломка перьев резца, деформация корпуса, поломка хвостовика). Эти результаты исследований представлены в 3-й главе.

– ресурс (количество пробуренных шпурометров), шп.м/резец;

– скорость бурения, м/мин;

Испытания проводятся путем бурения на производственных буровых установках.

Программа испытаний содержит описание последовательности проведения исследований, требования к бурильным установкам и крепости горной породы  $f$  при проведении испытаний.

В методике испытаний изложен порядок проведения экспериментальных исследований и приведены требования к фиксации определяемых эксплуатационных характеристик буровых резцов.

Разработанная документация также содержит требования к оформлению полученных результатов и организационному взаимодействию при проведении исследований.

Программа и методика испытаний экспериментальной партии буровых резцов приведены в Приложении А.

## 4.2 Результаты испытаний экспериментальных буровых резцов

Для экспериментальной апробации идей, изложенных в настоящем диссертационном исследовании, была разработана конструкция бурового резца с лезвиями в форме эллипсообразного овала Кассини. Перья резца были выполнены асимметричными, а диаметр составил 30 мм.

Экспериментальный резец был изготовлен в количестве 8 штук на базе серийного бурового резца РП 30-14Т (рисунок 4.1, *а*) производства ООО «Кузнецкий машиностроительный завод» [81] посредством переточки его лезвий (рисунки 4.1, *б* и 4.2). В связи с празднованием трехсотлетия Кузбасса, осуществляемом во время проведения конструкторских работ, разработанному буровому резцу было присвоено наименование «Кузбас-300». Цифровое обозначение «300» включает в себя диаметр буримого шпура в мм (30) и порядковый номер разработки (0 – экспериментальный резец).



*а*

*б*

Рисунок 4.1 – Буровые резцы:

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



Рисунок 4.2 - Экспериментальные буровые резцы «Кузбас-300»  
после испытаний

Испытания экспериментальной партии буровых резцов осуществлялись в соответствии с разработанной программой и методикой и проводились на угольных шахтах, а именно:

- ООО «Шахта Есаульская», Конвейерный штрек 29-39, буровая установка MQT;
- ООО «Шахта Алардинская», Вентиляционный штрек 3-14, буровая установка Rambor.

На рисунке 4.3 приведены буровые установки, используемые в процессе проведения испытаний буровых резцов.

Для определения области применения спроектированного резца испытания проводились на породах малой, средней и максимальной крепости. Бурению подвергались уголь с  $f = 1$ , песчаник и алевролит с  $f = 8$ . Для осуществления сравнительной оценки экспериментальных резцов «Кузбас-300» с серийным инструментом при испытаниях также использовались резцы, выпускаемые ООО «Горный инструмент» РПУ-30 и предназначенные для работы в данных горно-геологических условиях (рисунок 4.4).



Рисунок 4.3 – Буровые установки  
*а* – установка MQT; *б* – установка Rambor



Рисунок 4.4 – Серийный буровой резец РПУ-30

После затупления экспериментальных резцов, проводилась их повторная заточка и использование в дальнейших испытаниях. Ресурс инструмента определялся как максимальное количество пробуренных шпурометров одним резцом до затупления. Критерием затупления резцов являлось падение скорости бурения в два раза от первоначальной, которая была зафиксирована

при бурении острым резцом. Скорость бурения, в свою очередь, вычислялась как отношение глубины пробуренного шпура ко времени его бурения. Результаты испытаний приведены в таблице 4.1

Анализ результатов, представленных в табл. 4.1, показывает, что скорость бурения резцами «Кузбасс-300» по сравнению с серийными резцами РПУ-30 выше как при работе на слабых породах («шахта Есаульская») с использованием буровой установки MQT, так и при бурении крепких пород на шахте «Алардинская», где применялась буровая установка Rambor. Такая же картина наблюдается и применительно к ресурсу инструмента. При этом очевидно, что ресурс экспериментальных резцов «Кузбасс-300» значительно превышает данный показатель серийных резцов РПУ-30. Это касается как при бурении слабых (уголь), так и крепких пород (песчаник и алевролит). Из таблицы 4.1 также следует, что с увеличением прочности пород скорость бурения и ресурс инструмента понижаются.

Усредненные результаты экспериментов сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Усредненные 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.

Таблица 4.1 – Результаты шахтных испытаний буровых резцов

Место проведения исследований, буровая установка	Горная порода / средняя крепость по шкале М.М. Протодяконова	Скорость бурения (м/мин.) / марка резца (кол-во <sup>*</sup> )								Ресурс (м) / марка резца (кол-во <sup>*</sup> )							
		Серийный РПУ-30				«Кузбасс-300»				Серийный РПУ-30				«Кузбасс-300»			
ООО «Шахта Есаульская», Конвейерный штрек 29-39, буровая установка MQT	Уголь / 1	1,87	1,79	1,82	1,88	1,97	2,0	1,99	2,05	2,0	1,96	2,05	1,98	132,12	130,41	128,23	135,26
ООО «Шахта Алардинская», Вентиляционный штрек 3-14, буровая установка Rambor	Песчаник, алевролит / 8	0,71	0,80	0,74	0,84	0,86	0,95	0,90	0,91	2,68	2,59	2,60	2,70	4,52	4,24	4,44	4,81

\* на ООО «Шахта Есаульская» и ООО «Шахта Алардинская» было передано по 4 штуки серийных резцов РПУ-30 и по 4 штуки экспериментальных резцов «Кузбасс-300»

Акты проведения испытаний буровых резцов РПУ-30 и экспериментальных резцов «Кузбасс-300», применяемых в исследованиях, также приведены в Приложении Б.

Из таблиц 4.1 и 4.2 видно, что область наиболее эффективного применения разработанной конструкции резца с лезвиями в форме эллипсообразного овала Кассини включает в себя горные породы по крепости, порядка 8 по шкале профессора М.М. Протодяконова.

При составлении математической пропорции по полученным данным из таблиц 4.1 и 4.2, установлено, что экспериментальный резец «Кузбасс-300» двухперой асимметричной конструкции с передним углом 0 градусов, лезвия которого выполнены в форме дуг овала Кассини (см. рисунок 4.1, б) обеспечивает скорость бурения на 18 % больше чем у серийного резца РПУ-30 (рисунок 4.5), имеющего лезвия в форме ломанной с тремя вершинами, две из которых определяют начало и конец лезвия, а третья – опережающий концентратор напряжений. Также экспериментальный резец обладает ресурсом в 1,74 раза выше по сравнению с резцом РПУ-30 (рисунок 4.6). Что касается угля, то ресурс экспериментальных резцов на два порядка больше, чем у серийного инструмента.

Стоит отметить, что обоснование мощности бурильной установки при использовании резца «Кузбасс-300» может быть произведено по зависимостям [68].

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 актуальность для планирования временных затрат на осуществление буровых работ. Учитывая это, на втором этапе исследований в процессе проведения исследований, были также получены зависимости скорости бурения от кре-

пости разрушаемых горных пород для различных типов используемых бурильных установок и резцов.

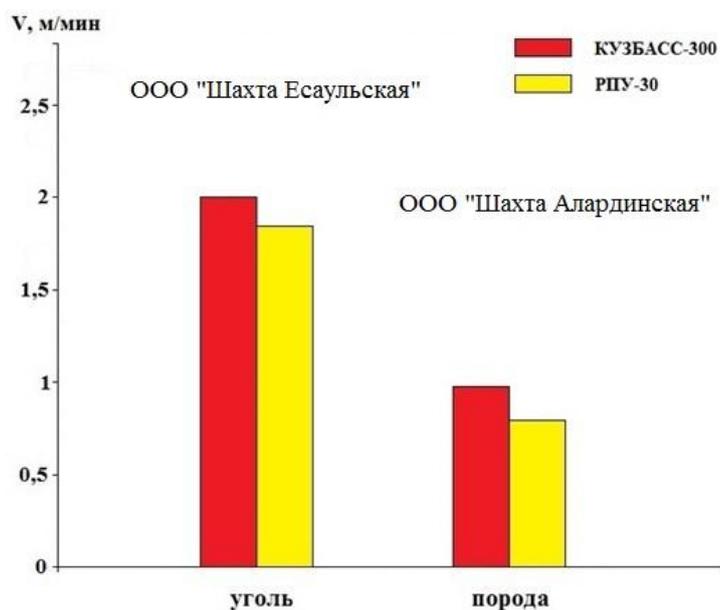


Рисунок 4.5 – Скорость бурения резцами «Кузбасс-300» и РПУ-30 в условиях ООО «Шахта Есаульская» и ООО «Шахта Алардинская»

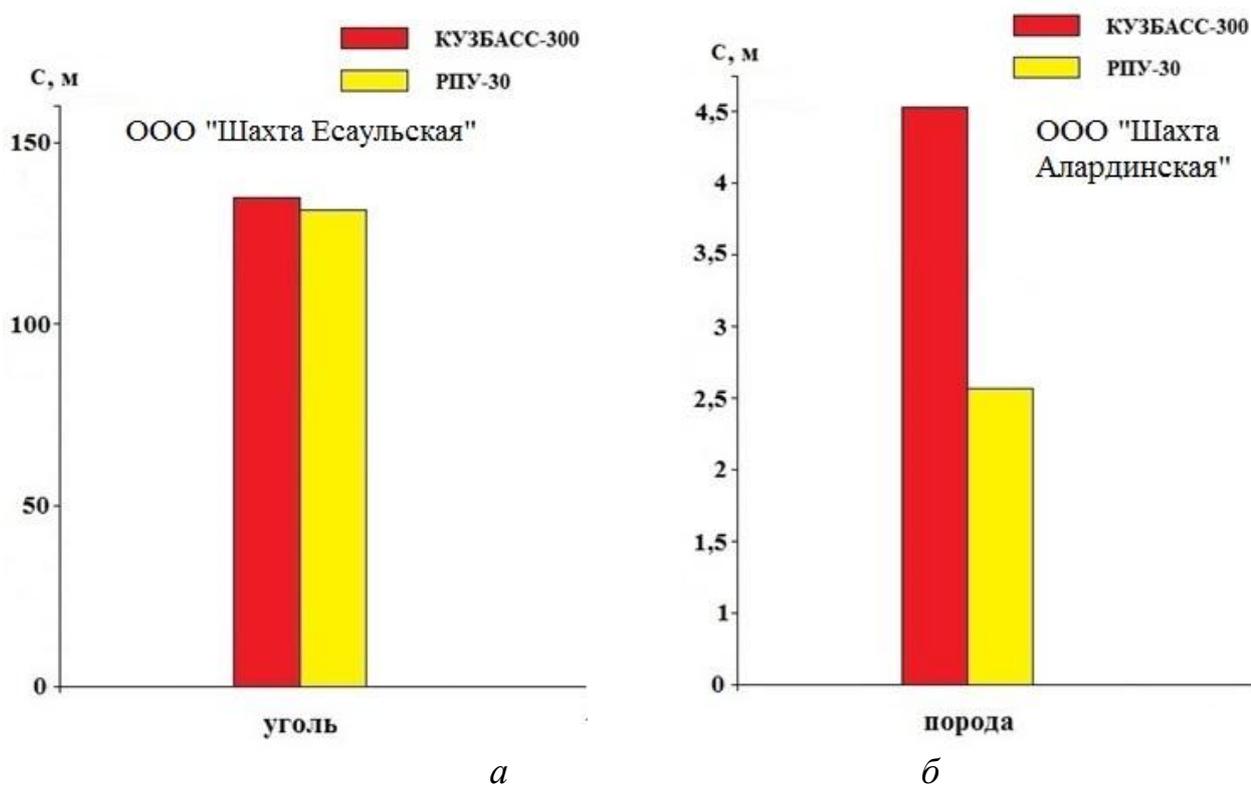


Рисунок 4.6 – Ресурс резцов «Кузбасс-300» и РПУ-30 в условиях ООО «Шахта Есаульская» (а) и ООО «Шахта Алардинская» (б)

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 значительным 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 4.7 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.

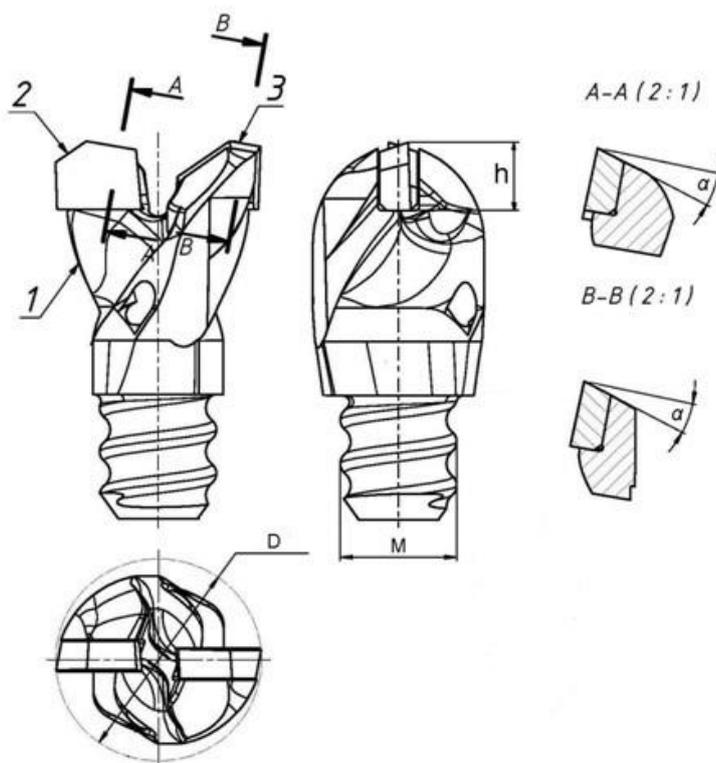


Рисунок 4.7 – Условные обозначения параметров бурового резца

При проведении исследований, использовались следующие типы резцов:

*Тип 1* – двухперый резец для вращательного бурения шпуров с номинальным диаметром бурения 28 мм и 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, передним углом 0 градусов. Резец технически острый.

*Тип 2* - двухперый резец для вращательного бурения шпуров с номинальным диаметром бурения 28 мм и 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, передним углом 0 градусов. Резец технически острый.

*Тип 3* - трехперый резец для вращательного бурения шпуров с номинальным диаметром бурения 28 мм и 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, передним углом 0 градусов. Резец технически острый.

Распределение конструкций резцов в зависимости от типа бурильных машин и крепости разрушаемых горных пород, приведено в таблице 4.3.

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

При проведении исследований в качестве пневматического бурового станка использовалась машина MQT (см. рисунок 4.3, *a*), с двигателем мощностью 1800 Вт. и тремя ступенями усилия подачи (8,4 кН, 6,5 кН и 4,9 кН). В процессе бурения шпуров была задействована вторая ступень усилия подачи (6,5 кН). Применение пневматического бурильного станка MQT было связано с широким использованием станков такого типа на угольных шахтах Российской Федерации. Задействование второй ступени было вызвано средней высотой (3,5 м) наибольшего числа горных выработок, в которых произ-

водится монтаж анкерного крепления. Бурение при такой высоте выработки осуществляется, как правило, на второй ступени буровой машины, так как при использовании первой ступени требуется бурить с помощью штанги длиной порядка 2 м, что не технологично.

Таблица 4.3 – Область применения конструкций буровых резцов

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

Использованию же третьей ступени препятствует высота кровли, так как не позволяет разместить анкероустановщик с разложенной третьей ступенью. В виду выше перечисленных условий бурение шпуров производится на второй ступени усилия подачи. В качестве гидравлической бурильной машины применялся анкероустановщик Flethcer (см. рисунок 1.31) [91], крутящий момент на буровой системе которого при проведении исследований составил 406 Н\*м, а скорость вращения 560 об/мин. Таким образом, мощность, подводимая к буровому резцу, может быть найдена по формуле

$$N = M \cdot \omega, \quad (4.1)$$

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

Наличие зависимостей, обеспечивающих определение скорости бурения на основании характеристик горной породы и технологического процесса, способствует значительному повышению качества планирования и эффективности буровых работ. Наиболее обоснованной здесь можно считать зависимость (1.9), которая была получена О.Д. Алимовым и Л.Т. Дворниковым на основании комплексных исследований процесса вращательного бурения шпуров.

Следует отметить, что выражение (1.9) было установлено до 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 зависимости (1.9) для планирования буровых работ в современных условиях.

В процессе проведения шахтных исследований в условиях ООО «Шахта Алардинская», было испытано по 10 образцов каждого типа инструмента. Полученные данные представлены в таблице 4.4, на основании которых построены рисунки 4.8 и 4.9 и 4.10. Представленные графики иллюстрируют зависимость скорости вращательного бурения резцами от крепости горных пород по шкале профессора М. М. Протодьяконова.

График, построенный на основании выражения (1.9) для случая бурения горной породы пневматической буровой установкой MQT, приведен вместе с экспериментальными данными на рисунке 4.8.

Из графика, приведенного на рисунке 4.8 видно, что рекомендации производителей горного инструмента относительно применения двухперых буровых резцов исключительно с пневматическими бурильными установками являются верными. Значения скорости бурения таких резцов хорошо группируются около пунктирной кривой. Этого нельзя сказать в полной мере о трехперых резцах.

Таблица 4.4 – Результаты шахтных исследований буровых резцов

№ п/п	Тип резца	Тип и марка бурильной машины	Скорость бурения, м/мин					Коэффициент крепости, $f$										
1	<i>Tun 1</i>	Пневматический MQT	1,9	1,5	1,3	1	0,7	3	4	5	6	7						
2	<i>Tun 2</i>	Пневматический MQT	1,1	1,1	1	0,9	0,7	5	6	7	8	9						
3	<i>Tun 3</i>	Пневматический MQT	1,4	1,3	1,2	1,1	0,9	3	4	5	6	7						
4	<i>Tun 3</i>	Гидравлический «Fletcher»	3,7	2,2	2,0	1,7	1,9	1,2	0,5	0,2	3	4	5	6	7	8	9	10

Из рисунка 4.8 следует, что скорость бурения трехперым инструментом на породах крепостью меньше 6 не вписывается в пунктирную кривую в отличие от разрушения более крепких пород с  $f > 6$ . На рисунке 4.9 вместе с расчетной зависимостью О.Д. Алимова и Л.Т. Дворникова (1.9) на основании обработки экспериментальных данных показана обобщенная зависимость, учитывающая использование всех трех типов резцов, имеющая следующий вид:

$$V = 3,4568 \cdot f^{-0,67} \quad (4.2)$$

Зависимость (4.2) также подтверждает эту закономерность.

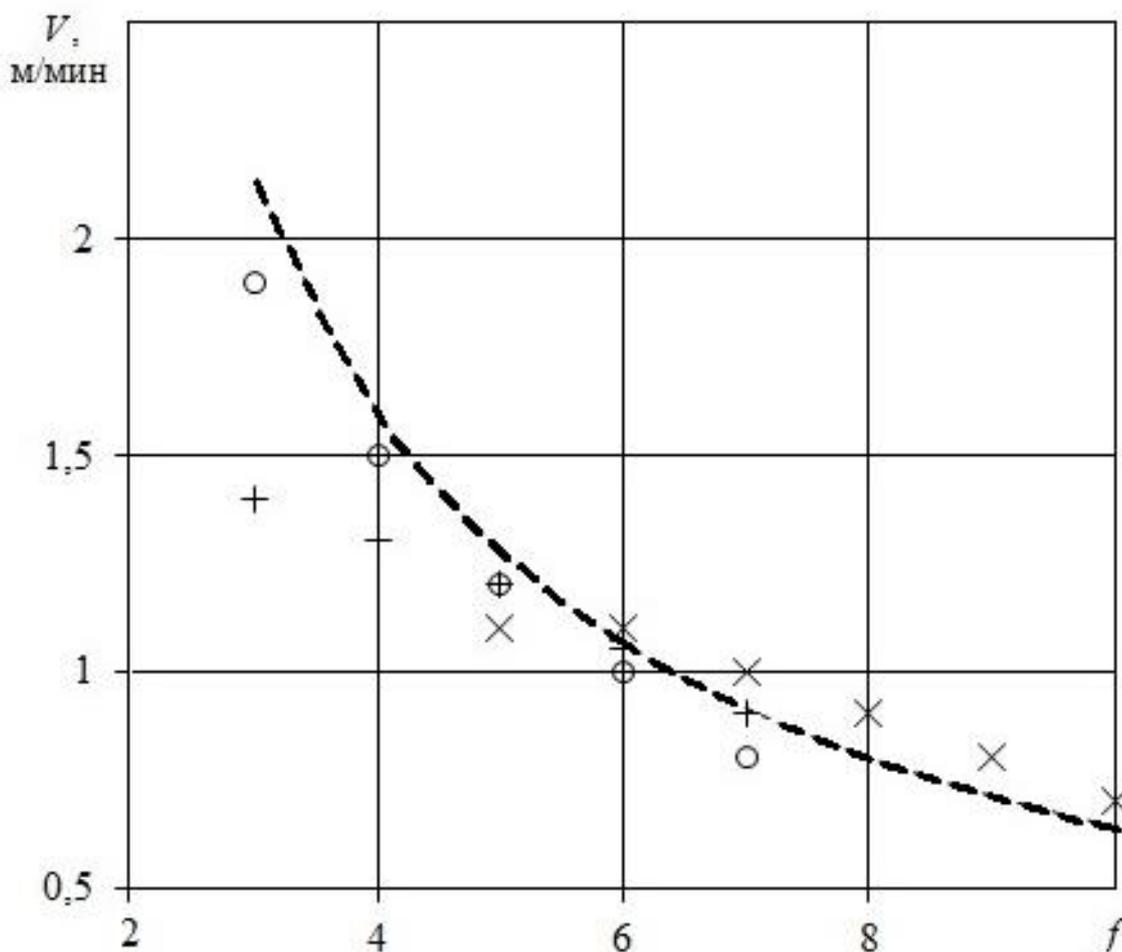


Рисунок 4.8 – Зависимость скорости бурения  $V$  от крепости горных пород  $f$  по шкале профессора М. М. Протождяконова при бурении резцом 28 мм пневматической установкой MQT:

o - резец *Тип 1*;      x – резец *Тип 2*;      + - резец *Тип 3* ;

----- расчетная зависимость О.Д. Алимова и Л.Т. Дворникова (1.9)

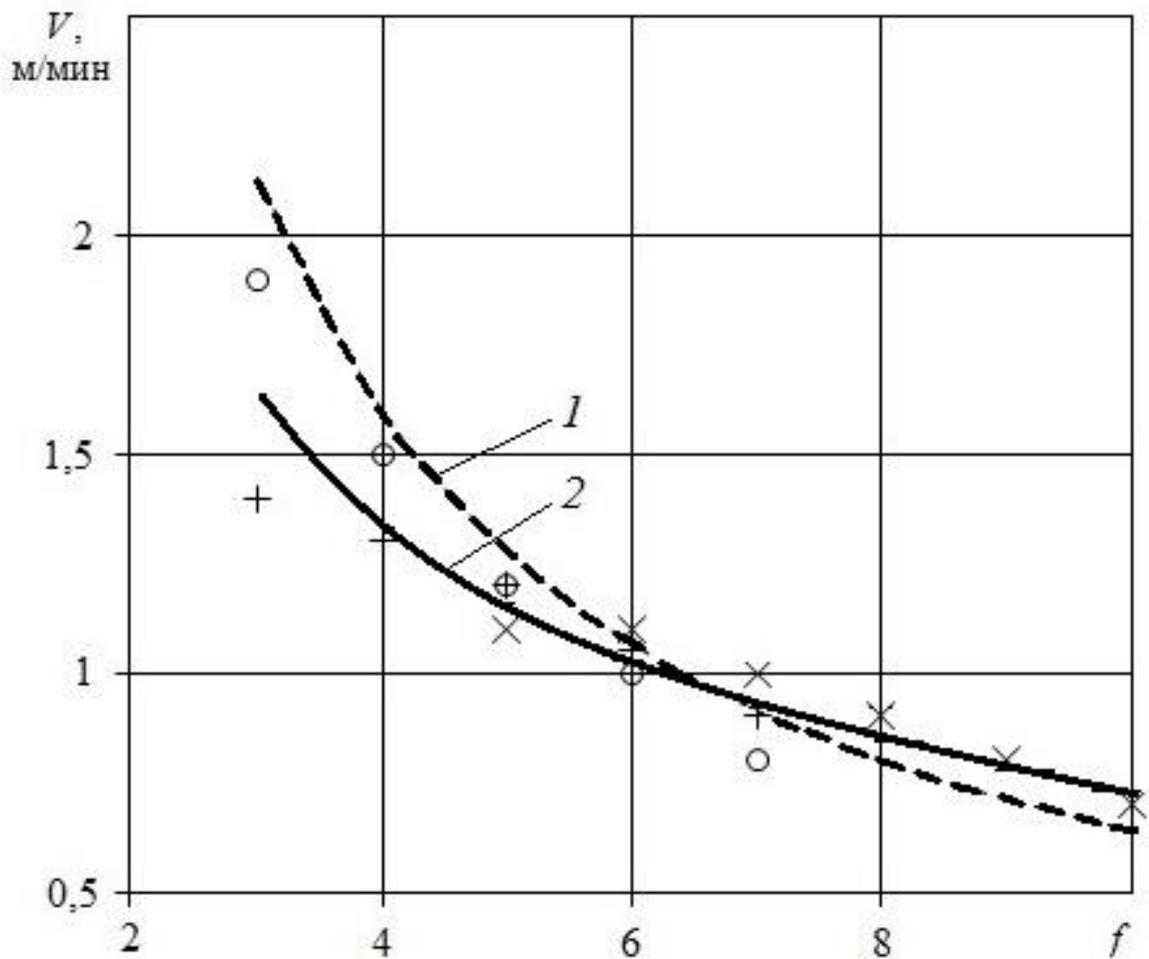


Рисунок 4.9 – Зависимость скорости бурения  $V$  от крепости горных пород  $f$  по шкале профессора М. М. Протоdjeяконова при бурении резцом 28 мм пневматической установкой MQT:

1 - расчетная зависимость О.Д. Алимова и Л.Т. Дворникова (1.9) ;

2 – экспериментальная зависимость

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о низкой скорости бурения горных пород трехперыми резцами  $Tup\ 3$  в сравнении с двухперыми конструкциями  $Tup\ 1$  и  $Tup\ 2$  при использовании пневматических буровых установок в породах малой крепости. Использование трехперых резцов целесообразно в трещиноватых массивах. В этом случае третье перо будет препятствовать заклиниванию инструмента при попадании его в трещину, 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 горной породы гидравлической буровой машиной Fletcher, приведен на рисунке 4.10 вместе с экспериментальной зависимостью. Мощность, подводимая к буровому резцу при этом, была определена на основании выражения (4.1).

Анализ экспериментальных данных, представленных на рисунке 4.10, показывает, что скорость бурения в горных породах средней крепости в этом случае превосходит скорость бурения пневматической буровой машиной с двухперым резцом в 1,5 - 2 раза (см. рисунок 4.8). В дальнейшем, с ростом крепости пород, уменьшение скорости бурения гидравлической установкой с резцом *Тип 3* и двухперыми резцами с установкой MQT происходит с одинаковой интенсивностью. При крепости горных пород равной 10 по шкале профессора М.М. Протодяконова их скорости бурения отличаются незначительно.

Полученные данные (см. рисунки 4.8, 4.9 и 4.10) также показывают, что зависимость (1.9), предложенная О.Д. Алимовым и Л.Т. Дворниковым, с высокой достоверностью обеспечивает расчет скорости бурения двухперыми конструкциями резцов на пневматических буровых установках в породах с коэффициентом крепости по шкале М.М Протодяконова выше среднего. 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 4.10).

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

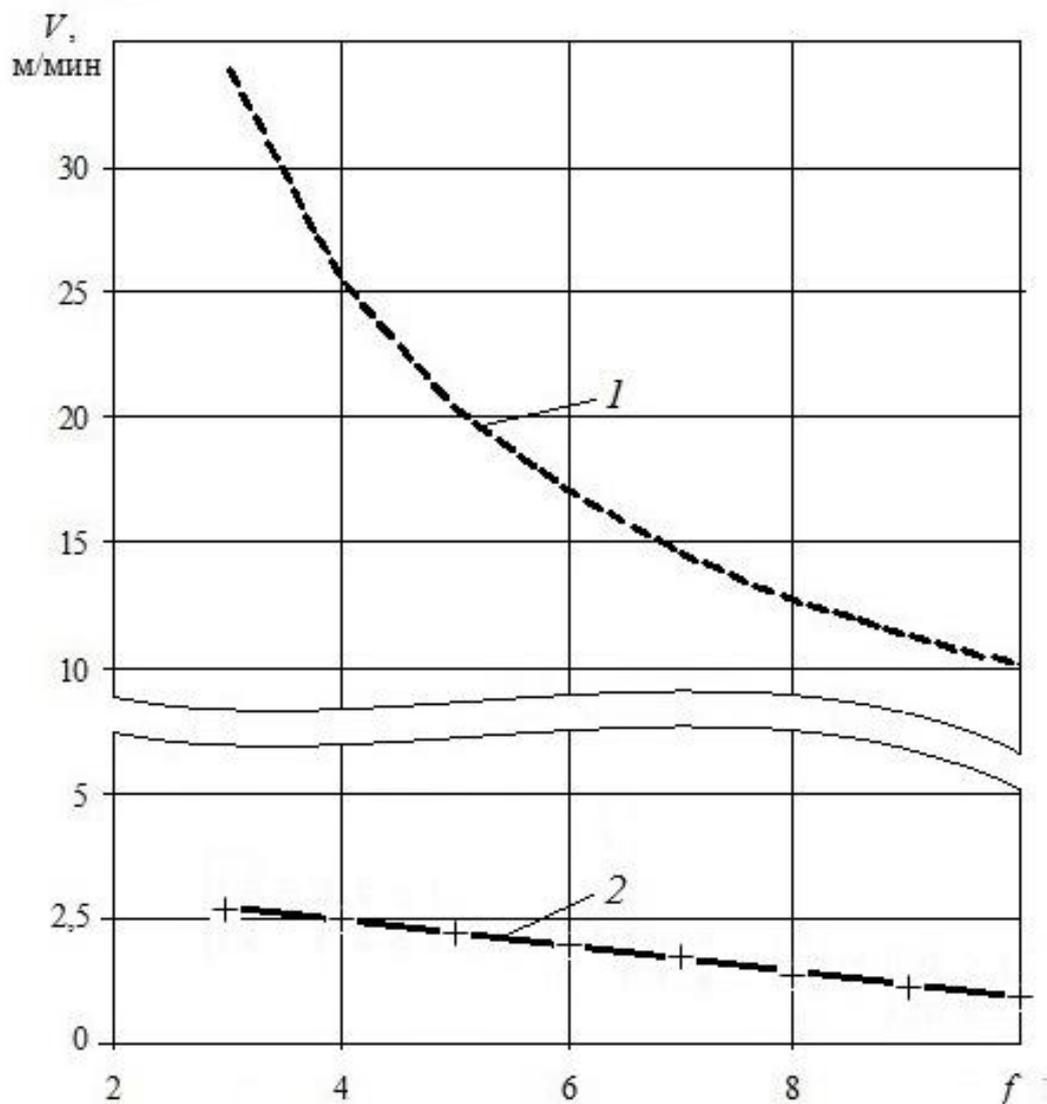


Рисунок 4.10 – Зависимость скорости бурения  $V$  от крепости горных пород  $f$  по шкале профессора М. М. Протодяконова трехперым резцом диаметром 28 мм *Тип 3* для гидравлических машин:

- 1 - расчетная зависимость О.Д. Алимова и Л.Т. Дворникова (1.9), пневматическая буровая установка MQT;
- 2 – трехперый резей, гидралическая буровая установка «Flethser»

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 вер-

пинами, две из которых определяют начало и конец лезвия, а третья – опережающий концентратор напряжений в следующем виде:

$$V = -0,28f + 3,65. \quad (4.3)$$

В выше приведенном выражении  $V$  – скорость бурения м/мин.,  $f$  – коэффициент крепости по шкале профессора М.М. Протодяконова. Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных составляет  $R^2 = 0,99$ .

Доверительный интервал при оценке скорости бурения испытанным инструментом составил  $\pm 6\%$ . Таким образом, установленная в ходе экспериментальных исследований зависимость (4.3) позволяет осуществлять планирование скорости ведения буровых работ под анкерное крепление при использовании гидравлических машин с трехперыми резцами описанной выше конструкции.

## **В ы в о д ы**

1. Изготовлены экспериментальные образцы буровых резцов с лезвиями в форме эллипсообразного овала Кассини. Испытания этих резцов проведены в производственных условиях шахт Кузбасса при бурении шпуров на породах с коэффициентом крепости от 1 до 10.

2. Экспериментально доказано, что при бурении пневматическим переносным анкероустановщиком шпуров в горных породах крепостью 8 по шкале М.М. Протодяконова 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.

3. Установлено, что скорость бурения шпуров в рациональном режиме от крепости горных пород при использовании гидравлического анкероустановщика с трехперым симметричным резцом, имеющим передний угол 0 градусов и лезвия в форме ломанной с тремя вершинами, две из которых характеризуют начало и конец лезвия, а третья – опережающий концентратор напряжений, определяется по зависимости (4.3).

## 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-L/23-M16, 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 анкеро-установщиком 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.

#### **Направления дальнейших исследований:**

1. Изготовление и экспериментальные исследования разработанных конструкций буровых штанг в условиях шахт.

2. Проектирование и испытание новых буровых резцов на основании предложенных в настоящем исследовании вариантов конструкций.

3. Экспериментальные исследования возможности армирования буровых резцов новыми материалами, повышающими их ресурс.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Першин В.В. Основы строительной геотехнологии [Текст] / В.В. Першин, П.М. Будников, И.Л. Харитонов. – Кемерово: Издательский центр УИП КузГТУ, 2023. – 553 с.
2. Дворников Л.Т. Экспериментальная оценка ресурса и энергоемкости процесса разрушения горных пород при использовании новых конструкций буровых резцов, оснащенных вставками из сверхтвердых композиционных материалов [Текст] / Л.Т. Дворников, В.А. Корнеев, П.А. Корнеев // Научно-емкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: научный журнал. 2017. № 3. С. 211 – 217.
3. Корнеев П.А. Современное состояние изученности вращательного бурения шпуров в отечественной науке [Текст] / П.А. Корнеев, В.А. Корнеев // Актуальные проблемы горного дела. 2019. № 2 (8). С. 49-53.
4. Алимов О.Д. Бурильные машины [Текст] / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников. – М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
5. Эпштейн Е.Ф. Теория бурения – резания горных пород твердыми сплавами [Текст] / Е.Ф. Эпштейн. – Л.: ГОНТИ, 1939. – 180 с.
6. Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород [Текст] / Л.А. Шрейнер. – М.-Л.: Гостоптехиздат, 1950. – 212 с.
7. Имас А.Д. Работы по внедрению рациональных технологических режимов разрушения углей и боковых пород горными машинами [Текст] / А.Д. Имас // Разрушение углей и пород. 1958. – С. 241 – 270.
8. Покровский Г.Н. Основные закономерности при вращательном бурении шпуров с постоянным усилием подачи [Текст] / Г.Н. Покровский // Труды ЗСФ АН СССР. Выпуск №19. 1957. – С. 219 – 258.
9. Верескунов Г.П. Исследование режимов вращательного бурения шпуров в крепких породах [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Днепропетровск, 1955. – 134 с.

10. Июдин П.Н. Вращательное бурение шпуров [Текст] / П.Н. Июдин // Взрывное дело. Новое в области бурения шпуров и скважин. Сборник №46/3. 1961. – С. 263 – 270.
11. Михайлов В.Г. Исследование и выбор резцов для горных сверл [Текст] / В.Г. Михайлов, М.Г. Симилейский, Э.В. Рылев, В.Н. Шамшин // Труды НИИ. Том 80. Вып. 1. 1959. С. 42 – 46.
12. Fish V.G. Comparison of Percussive, Rotary and Percussive- Rotary Drilling [Текст] / V.G. Fish // «Transactions of the Institution of Mining Engineers». Vol. 116. 1956 – 57. p. 755 – 789.
13. Дозмаров В.З. О создании длинноходовых пневматических бурильных машин вращательного действия [Текст] / В.З. Дозмаров, О.Д. Алимов // Известия Томского Ордена Трудового Красного Знамени Политехнического Института им. С.М. Кирова. Том 123. 1963. С. 3 – 10.
14. Симонов Н.Н. Исследования мощности сверления крепких пород колонковыми сверлами [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Новочеркасск, 1963. – 154 с.
15. Вишневский Г.Р. Обобщение опыта электровращательного бурения шпуров с промывкой / Г.Р. Вишневский, Л.И. Фейгин, А.О. Белый, И.Н. Семкин и др. – М.: ЦНИИТЭИУгля, 1963. – 180 с.
16. Сидоров Н.Н. Исследование бурения шпуров по каменной соли электросверлами и разработка самоходной бурильной установки [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Новочеркасск, 1966. – 227 с.
17. Дворников Л.Т. Исследование некоторых вопросов вращательного бурения шпуров в горных породах средней крепости [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Томск, 1963. – 306 с.
18. Таран А.П. Исследование процесса стружкообразования и удаления водой и воздухом мелочи при вращательном бурении шпуров [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Кемерово, 1967. – 208 с.

19. Карпенко Г.И. Исследование основных факторов, влияющих на износостойкость инструмента для вращательного бурения шпуров [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Москва, 1969. – 148 с.

20. Крапивин М.Г. Исследование тепловых явлений при вращательном бурении шпуров [Текст] / М.Г. Крапивин, А.А. Иванов, Н.Г. Петров, Н.С. Родионов // Взрывное дело. Бурение скважин и шпуров для взрывных работ. Сборник №79/36. 1978. – С. 192 – 195.

21. Ивин В.И. Исследование с целью создания научных основ расчета и проектирования режущего инструмента вращательного бурения шпуров [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Фрунзе, 1970. – 185 с.

22. Дворников Л.Т. Исследование режимов бурения шпуров в горных породах машинами вращательного и вращательно-ударного действия [Текст] / Дис. докт. техн. наук. // Фрунзе, 1973. – 346 с.

23. Шубный А.И. Исследование влияния свойств горных пород на оптимальные параметры вращательного бурения шпуров [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Москва, 1973. – 157 с.

24. Барон Л.И. Контактная прочность как критерий сопротивляемости горных пород разрушению при вращательном бурении шпуров [Текст] / Л.И. Барон, С.В. Скоробогатов, А.И. Шубный // Проектирование и строительство угольных предприятий. 1967. №2. С. 29 – 30.

25. Родионов Н.С. Оценка мощности при вращательном бурении шпуров [Текст] / Н.С. Родионов, А.И. Шубный // Взрывное дело. Бурение скважин и шпуров для взрывных работ. Сборник №79/36. 1978. – С. 195 – 198.

26. Родионов Н.С. Расчет расхода резцов для вращательного бурения шпуров [Текст] / Н.С. Родионов, А.И. Шубный // Шахтное строительство. 1972. №7. С. 9 – 11.

27. Шубный А.И. Оценка износа резцов при вращательном бурении шпуров по комплексному абразивно-прочностному показателю [Текст] / А.И. Шубный // Технология добычи угля и проведения подготовительных выработок. 1971. С. 241-248.

28. Родионов Н.С. Определение числа оборотов инструмента при бурении шпуров машинами вращательного действия [Текст] / Н.С. Родионов // Шахтное строительство. 1979. №7. С. 15 – 17.

29. Суслов Е.И. Исследование влияния свойств металлокерамических твердых сплавов WC – Co на стойкость инструмента при вращательном бурении крепких пород [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Москва, 1968. – 163 с.

30. Водяник Г.М. Исследования режимов сверления горных пород колонковыми электросверлами с дифференциально-винтовой подачей [Текст] / Г.М. Водяник, Э.В. Рылев, Н.И. Самодуров, Е.Ф. Алексахин // Разрушение горных пород и инструмент горных машин. Том 175. 1968. С. 120 – 127.

31. Водяник Г.М. Экспериментальные исследования режимов работы машин для сверления горных пород, основанных на новом принципе связи дифференциально-винтовой пары [Текст] / Г.М. Водяник, Э.В. Рылев, Н.И. Самодуров // Разрушение горных пород и инструмент горных машин. Том 175. 1968. С. 128 – 137.

32. Водяник Г.М. Экспериментальный стенд бурильной машины с би-ротативным двигателем и дифференциалом планетарного типа для сверления вертикальных шпуров [Текст] / Г.М. Водяник, А.Н. Дровников // Разрушение горных пород и инструмент горных машин. Том 175. 1968. С. 138 – 141.

33. Крапивин М.Г. Расчет усилий на резцах при сверлении шпуров [Текст] / М.Г. Крапивин // Разрушение горных пород и инструмент горных машин. Том 175. 1968. С. 8 – 21.

34. Медведев И.Ф. Режимы бурения и выбор буровых машин / И.Ф. Медведев. – М.: Недра, 1975. – 224 с.

35. Москалев А.Н. Выбор управляющих устройств саморегулирующихся бурильных машин [Текст] / А.Н. Москалев, И.И. Кулишенко, В.С. Жуков, В.Ф. Васильченко // Взрывное дело. Бурение скважин и шпуров для взрывных работ. Сборник №79/36. 1978. – С. 198 – 202.

36. Москалев А.Н. Зависимость скорости бурения от его режимов и механических свойств горных пород [Текст] / А.Н. Москалев, С.Я. Сологуб,

А.Н. Юдина // Взрывное дело. Бурение скважин и шпуров для взрывных работ. Сборник №79/36. 1978. – С. 29 – 32.

37. Патент 313976 SU, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения шпуров [Текст] / Шагалин М.Н, Чибалин А.И. – №1429198/22-3; заявл. 11.05.1970; опубл. 07.09.1971. – 3 с.: ил.

38. Буренков Н.Н. Совершенствование инструмента и разработка устройства по его замене с целью повышения производительности самоходных бурильных установок [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Новочеркасск, 1986. – 289 с.

39. Авторское свидетельство 1377366 SU, МПК E21B 12/06. Съёмник буровых резцов и коронок [Текст] / Крапивин М.Г., Литкевич Ю.Ф., Буренков Н.И. и др. – № 4095987/22-03; заявл. 02.06.1986; опубл. 29.02.1988. – 3 с. : ил.

40. Авторское свидетельство 899914 SU, МПК E21C 13/02. Резец для вращательного бурения шпуров [Текст] / Крапивин М.Г., Иванов А.А., Фетисов В.М. и др. – № 2742122/22-03; заявл. 28.03.79; опубл. 23.01.82. – 3 с. : ил.

41. Патент 1305296 SU, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения шпуров [Текст] / Суслов Е.И, Линдо Г.В., Камышева Н.С., Петров Н.Г., Родионов Н.С. и др. – №3981087; заявл. 27.11.1985; опубл. 23.04.1987. – 3 с.: ил.

42. Крапивин М.Г. Горные инструменты [Текст] / М.Г. Крапивин, И.Я. Раков, Н.И. Сысоев. – М.: Недра, 1990. – 256 с.

43. Авторское свидетельство 1687760 SU, МПК E21B 10/00. Стенд для испытания инструмента вращательного бурения [Текст] / Мирный С.Г., Крапивин М.Г., Петров Н.Г. – № 4638459/03; заявл. 13.01.1989; опубл. 30.10.1991. – 3 с. : ил.

44. Алимов О.Д., Мамасаидов М.Т. О минимальной энергоёмкости бурения шпуров [Текст] // Известия АН Кирг. ССР. 1984. № 5. С. 12-20.

45. Патент 2047724 РФ, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения [Текст] / Батурин Ю.Е., Петров А.И., Батурин А.Ю., Смирнов Г.Ф. – №5031929/03; заявл. 12.03.1992; опубл. 10.11.1995. – 7 с.: ил.
46. Патент 1808973 РФ, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения [Текст] / Батурин Ю.Е., Пельц А.Д., Мельников Б.В., Смирнов Г.Ф., Батурин А.Ю. и др. – №4900346/03; заявл. 08.01.91; опубл. 15.04.93 – 5 с.: ил.
47. Патент 2078192 РФ, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения [Текст] / Батурин Ю.Е., Мамонтов А.М., Батурин А.Ю. – №93012864/03; заявл. 10.03.1993; опубл. 27.04.1997. – 7 с.: ил.
48. Патент 92008999 РФ, МПК E21B 17/22. Штанга для вращательного бурения шпуров [Текст] / Шамшин В.Н. – №92008999/03; заявл. 27.11.1992; опубл. 09.01.1995. – 4 с.: ил.
49. Мирный С.Г. Обоснование и выбор рациональной частоты вращения штанги машин для сверления шпуров в породах повышенной крепости и абразивности [Текст] / Дис. канд. техн. наук. // Новочеркасск, 2005. – 146 с.
50. Сысоев Н.И., Мирный С.Г. Повышение эффективности процесса бурения шпуров машинами вращательного действия за счет поддержания частоты вращения на оптимальном уровне [Текст] // ГИАБ. 2004. №11. С. 259-262.
51. Патент 2298635 РФ, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения [Текст] / Дундуа П.А., Мартыненко Г.А., Капитонов И.В. – №2005133497/03; заявл. 01.11.2005; опубл. 10.05.2007. – 6 с.: ил.
52. Патент 2258792 РФ, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения [Текст] / Дундуа П.А., Лобачев В.Е, Бергер И.В., Мартыненко Г.А., Негрובה Н.Н. и др. – №2004116388/03; заявл. 02.06.2004; опубл. 20.08.2005. – 6 с.: ил.
53. Патент 64256 РФ, МПК E21B 10/00. Резец для вращательного бурения [Текст] / Дундуа П.А., Мартыненко Г.А., Капитонов И.В. – №2005139796/03; заявл. 20.12.2005; опубл. 27.06.2007. – 7 с.: ил.

54. Литкевич Ю.Ф. Исследование подачи, скорости бурения и коэффициента полезного действия при вращательном бурении шпуров [Текст] // Новые технологии управления движением технических объектов. 2003. С. 59-65.

55. Патент 2167259 РФ, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения [Текст] / Прядко Ю.А., Прокушенко С.И., Полинцев Н.А. – №2000109545/03; заявл. 18.04.2000; опубл. 20.05.2001. – 6 с.: ил.

56. Патент 42258 РФ, МПК E21B 3/00. Соединение бурового резца со штангой [Текст] / Дворников Л.Т., Прокушенко С.И., Казанцев А.А. – №2004124166/22; заявл. 10.08.2004; опубл. 27.11.2004. – 4 с.: ил.

57. Патент 42568 РФ, МПК E21B 3/00. Породный буровой резец [Текст] / Прокушенко С.И., Калинин В.В., Дворников Л.Т. – №2004124172/22; заявл. 10.08.2004; опубл. 10.12.2004. – 4 с.: ил.

58. Dvornikov L. T., Klishin V. I., Nikitenko S. M., Korneyev V. A. Experimental designs of a combined tool using superhard composite materials for effective destruction of mine rocks // Eurasian mining. 2018. №1(29). P. 22-26. DOI: 10.17580/em.2018.01.05.

59. Сысоев Н.И., Гринько Д.А., Гринько А.А. Обоснование критерия управления частотой вращения резцов для сверления шпуров [Текст] // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтеперерабатывающего оборудования. 2014. Том 1. №1. С. 71-75.

60. Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Чу Ким Хунг. Выбор рациональных параметров режущей части буровых резцов с помощью метода конечных элементов [Текст] // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 6. С. 34-38.

61. Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Чу Ким Хунг. Обоснование структуры и выбор рациональных конструктивных параметров бурового резца, армированного алмазно-твердосплавными пластинами [Текст] // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2016. № 2. С. 77-83.

62. Патент 2553108 РФ, МПК E21B 10/42. Резец для вращательного бурения [Текст] / Лемешко М.А, Калиниченко В.П., Батукаев А.А., Зармаев А.А. – №2014117902/03; заявл. 30.04.2014; опубл. 10.06.2015. – 5 с.: ил.

63. Патент 122031 РФ, МКПО 08-01. Резец буровой [Текст] / Калинин В.В., Молчанов В.В. – №2020501592; заявл. 06.04.2020; опубл. 13.10.2020. – 2 с.: ил.

64. Патент 116824 РФ, МКПО 08-01. Резец буровой [Текст] / Калинин В.В, Прокушенко С.И. – №2019500928; заявл. 07.03.2019; опубл. 04.10.2019. – 2 с.: ил.

65. Патент 2576678 РФ, МПК E21B 10/58. Резец для вращательного бурения шпуров [Текст] / Панин Н.М. – №2015100488/03; заявл. 15.01.2015; опубл. 10.03.2016. – 4 с.: ил.

66. Патент 164904 РФ, МПК E21B 10/43, E21B 10/58. Буровой резец для вращательного бурения шпуров [Текст] / Кузнецов Р.В. – №2016109236/03; заявл. 15.03.2016; опубл. 20.09.2016. – 6 с.: ил.

67. Кожевников А.А., Борисевич А.А., Ратов Б.Т. Пути практической реализации технологии бурения с импульсным вращением породоразрушающего инструмента [Текст] // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. 2015. Выпуск №18. С. 63-66.

68. Корнеев В.А., Чаплыгин В.В., Крестовоздвиженский П.Д., Корнеев П.А. Исследование энергоемкости вращательного бурения шпуров [Текст] // Горное оборудование и электромеханика. 2017. №4. С. 36-40.

69. Алимов О.Д. Закономерности вращательного бурения шпуров [Текст] / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников. – Фрунзе: Илим, 1975. – 46 с.

70. Остроушко И.А. Забойные процессы и инструменты при бурении горных пород [Текст] / И.А. Остроушко. – М.: ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1962. – 272 с.

71. Корнеев П.А., Корнеев В.А., Пугачев Е.В. Поиск рациональных конструкций резцов для вращательного бурения шпуров в отечественной ис-

тории горного дела [Текст] // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. Вып. 4 (60). С. 250 – 258.

72. Михайлов В.Г. Горный инструмент [Текст] / В.Г. Михайлов. М.: Углетехиздат, 1950. – 168 с.

73. Миндели Э.О. Буровзрывные работы при подземной добыче полезных ископаемых [Текст] / Э.О. Миндели. М.: Недра, 1966. – 556 с.

74. Сологуб С. Я., Ткаченко В.М. Некоторые результаты исследования поляризационно-оптическим методом по разрушению горных пород при вращательном бурении [Текст] // Разрушение горных пород механическими способами. 1966. С. 195-201.

75. Крапивин М.Г. Горные инструменты [Текст] / М.Г. Крапивин. М.: Недра, 1979. – 263 с.

76. Резцы для вращательного бурения [Электронный ресурс]: ООО Горный инструмент. – Режим доступа: <https://www.grins.ru/products/tools/rotation-drill-bits/>. – Загл. с экрана.

77. Прокушенко С.И., Мошкин Н.В. Ресурс – одно из основных условий эффективности [Текст] // Горная промышленность. 2006. №4 (66). С. 19-21.

78. Патент 53702 РФ, МПК E21B 3/00. Трехперый резец для бурения шпуров [Текст] / Прокушенко С.И., Калинин В.В., Дворников Л.Т. – №2005140232/22; заявл. 22.12.05; опубл. 27.05.06 – 5 с.: ил.

79. Патент 2558097 РФ, МПК E21B 10/42, E21B 10/44, E21B 10/58. Четырехступенчатый трехлезвийный буровой резец для вращательного бурения шпуров [Текст] / Прокушенко С.И., Дворников Л.Т., Калинин В.В. – №2014109599/03; заявл. 12.03.14; опубл. 27.07.15 – 6 с.: ил.

80. Чупрунов Г.Д. Бурение шпуров при проведении горизонтальных и наклонных выработок [Текст] / Г.Д. Чупрунов. М.: Углетехиздат, 1954. – 75 с.

81. Буровые резцы. [Электронный ресурс]: ООО Кузнецкий машиностроительный завод. – Режим доступа:

[http://kuzmash.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=71&Itemid=133](http://kuzmash.com/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=133). – Загл. с экрана.

82. Корнеев П.А. Особенности процесса разрушения углепородного массива при вращательном бурении инструментом, оснащенным твердосплавными вставкам [Текст] / П. А. Корнеев, В. А. Корнеев // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2019. № 3. С. 39 – 46.

83. Берон А.И. Резание угля [Текст] / А.И. Берон, А.С. Казанский [и др.]. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 440 с.

84. Гетопанов В.И. О природе осевого усилия на резце при вращательном бурении [Текст] // Известия ВУЗов. Горный журнал. 1962. № 3. С. 89 – 94.

85. Михайлов В.Г. Горные инструменты [Текст] / В.Г. Михайлов, М.Г. Крапивин. – М.: Недра, 1970. – 216 с.

86. Лыхин П.А. Тоннелестроение и бурение шпуров и скважин в XIX и XX вв. [Текст] / П.А. Лыхин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 305 с.

87. Korneyev P.A. From the history of rotary hole drilling in mining [Текст] / P.A. Korneyev, V.A. Korneyev, M.M. Gusev // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2016. Issue 2. p. 48 – 51.

88. Штанги для вращательного бурения [Электронный ресурс]: ООО Горный инструмент. – Режим доступа: <http://www.grins.ru/products/tools/drilling-rods/>. – Загл. с экрана.

89. Буровая штанга Т38/Hex35/R32 (№ 38324310) [Электронный ресурс]: POMBUR. – Режим доступа: <https://pom-bur.ru/gorno-shahtnyy-instrument/burovaya-shtanga-t38hex35r32/burovaya-shtanga-t38hex35r32/>. – Загл. с экрана.

90. Мельник В.В. Технология горного производства: в 2 ч. Ч. 1 [Текст] / В.В. Мельник, В.Г. Виткалов. – М.: Горное дело, 2014. – 320 с.

91. Анкероустановщик для добычи угля. Модель DDR компании Fletcher [Электронный ресурс]: KOMATSU. – Режим доступа:

<https://mining.komatsu/ru/product-details/модель-ddr-компании-fletcher#!specifications>. – Загл. с экрана.

92. Алимов О.Д. Бурение шпуров вращательным способом [Текст] / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников // Известия томского ордена Трудового красного знамени политехнического института им. С.М. Кирова. 1965. Том 129. С. 134 – 161.

93. Ashbaugh M.S. The twisting tennis racket [Текст] / M.S. Ashbaugh, C.C. Chiconc, R.H. Cushman // Journal of Dynamics and Differential Equations. Vol. 3. 1991 – 1084. p. 67-85.

94. Sanbar 61. Hollow drill steel. [Электронный ресурс]: SANDVIK. – Режим доступа: <https://www.materials.sandvik/ru/materials-center/material-datasheets/bar-and-hollow-bar/rock-drill-steel/sanbar-61/>. – Загл. с экрана.

95. Korneyev V.A. 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 [Текст] / V.A. Korneyev, P.A. Korneyev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019 – 1034. p. 1 – 4.

96. Анурьев В.И., Справочник конструктора-машиностроителя. Том 1 [Текст] / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение – 1, 2006. – 928 с.

97. Яглом И.М. Выпуклые фигуры [Текст] / И.М. Яглом, В.Г. Болтянский. – М-Л.: ГТТИ, 1951. – 343 с.

98. Кривая постоянной ширины [Электронный ресурс]: АКАДЕМИК. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/88120>. – Загл. с экрана.

99. Денисов М.А. Компьютерное проектирование. Компас-3D [Текст] / М.А. Денисов. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. – 75 с.

100. Патент 2681164 РФ, МПК E21B 17/00, E21B 3/00. Буровая штанга для вращательного бурения шпуров [Текст] / Дворников Л.Т., Корнеев В.А., Корнеев П.А. – №2018109159; заявл. 12.03.2018; опубл. 04.03.2019. – 5 с.: ил.

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

102. Корнеев В.А. Исследование штанги для вращательного бурения шпуров с поперечным сечением в форме треугольника Рело [Текст] / В.А. Корнеев, П.А. Корнеев, С.А. Бедарев, И.И. Кулебакин // Metallurgy: technology, innovation, quality. Часть 2. 2021. С. 264-266.

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

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

105. T-FLEX CAD [Электронный ресурс]: ООО Топ Системы. – Режим доступа: <https://www.tfex.ru/products/konstruktor/cad3d/> . – Загл. с экрана.

106. Жуков И.А. Компьютерные наукоемкие технологии решения прикладных задач теории механизмов и машин на основе САПР «Т-FLEX» / И.А. Жуков, Е.В. Жукова, М.Г. Попугаев, Я.А. Хайдукова. – Новокузнецк: Изд. центр. СибГИУ, 2017. – 94 с.

107. Пневматическая буровая установка RAMBOR [Электронный ресурс]: ООО ГРОЗ. – Режим доступа: <https://oogroz.ru/пневматическая-буровая-установка-rambor/>. – Загл. с экрана.

108. Корнеев В.А., Корнеев П.А., Климкович К., Добрынин А.С., Кулебакин И.И. Методика развития у обучающихся навыков построения 3D-моделей горных машин, оборудования и инструмента и их математического моделирования в системе автоматизированного проектирования «Т-FLEX

CAD» [Текст] // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды V Международ

109. Буркин С.П., Коршунов Е.А., Колесов А.Н., Брынских Я.А. Технологический вариант производства буровой стали и особотолстостенных труб [Текст] // Инженер: научное и периодическое издание Инженерной академии Кыргызской Республики. 2010. №2. С. 6-10.

110. Патент 2703571 РФ, МПК E21B 17/00. Буровая штанга для вращательного бурения шпуров [Текст] / Дворников Л.Т., Корнеев В.А., Корнеев П.А. – №2019112194; заявл. 22.04.2019; опубл. 21.10.2019. – 5 с.: ил.

111. Патент 2712872 РФ, МПК E21B 17/00. Штанга для вращательного бурения шпуров [Текст] / Дворников Л.Т., Корнеев В.А., Корнеев П.А. – № 2019115404; заявл. 20.05.2019; опубл. 31.01.2020. – 5 с.: ил.

112. Rostamsowlat I., Richard T., Evans B. An experimental study of the effect of back rake angle in rock cutting // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 107. P. 224–232.

113. Voyiadjis G.Z., Yaneng Zhou. Numerical Modeling of Frictional Contact Between a Blunt Tool and Quasi-Brittle Rock.// Rock Mechanics and Rock Engineering. 2019. Vol.52., Iss. 10. P. 3771–3790.

114. Корнеев В. А. Совершенствование конструкций буровых резцов [Текст] / В. А. Корнеев, П. А. Корнеев, П. Д. Крестовоздвиженский, Е. В. Пугачев // Горный журнал. – Москва, 2020. – №12 (2281). – С. 67 – 70.

115. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике [Текст] / М.Я. Выгодский. – М.: Наука, 1973. – 872 с.

116. Бронштейн И.Н. Справочник по математике [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – СПб.: Лань, 2010. – 608 с.

117. Патент 2709900 РФ, МПК E21B 10/43, E21B 10/54. Буровой резец [Текст] / Дворников Л.Т., Никитенко С.М., Корнеев В.А., Корнеев П.А. – №2017142892; заявл. 07.12.2017; опубл. 23.12.2019. – 5 с.: ил.

118. Дворников Л.Т. Обоснование направлений существенного повышения эффективности разрушения горных пород инструментом, оснащен-

ным вставками из сверхтвердых композиционных материалов [Текст] / Л.Т. Дворников, В.И. Клишин, С.М. Никитенко, В.А. Корнеев, П.А. Корнеев // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал. 2016. № 2. С. 540-545.

119. 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. Nikitenko, 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.

120. 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.

121. Бронштейн И.Н. Справочник по математике [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. – 608 с.

122. Патент 2619958 РФ, МПК E21B 10/43, E21B 10/54. Буровой резец [Текст] / Дворников Л. Т., Никитенко С. М., Корнеев В. А., Корнеев П. А. – № 2015125831; заявл. 29.06.2015; опубл. 22.05.2017. – 4 с. : ил.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Министерство образования и науки Российской Федерации

ИНСТИТУТ УГЛЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**УТВЕРЖДАЮ:**

*Руководитель проекта  
ведущий научный сотрудник  
ФИЦ УУХ СО РАН,  
д.э.н., проф.*



---

*С.М. Никитенко*

«30» декабря 2015 г.

**ПРОГРАММА И МЕТОДИКА  
ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПАРТИИ  
БУРОВЫХ РЕЗЦОВ**

Кемерово 2015

## 1. Объект и цель испытаний

Программа и методика разработаны на основе разделов типовой программы и методики приемочных испытаний опытной партии горно-режущего инструмента (Институт горного дела им. Скочинского).

1.1 На испытания предоставляется экспериментальная партия буровых резцов.

1.2 Цель экспериментальных исследований заключается в определении эксплуатационных качеств и сравнительных показателей:

- ресурс (количество пробуренных шпурометров), шп.м/резец;
- скорость бурения, м/мин;
- причины выхода из строя (затупление твердого сплава, скол твердого сплава, отрыв твердого сплава, поломка перьев резца, деформация корпуса, поломка хвостовика) (рис. 1).



Рисунок 1 – Причины выхода из строя резцов

## 2. Программа испытаний

2.1 Испытания проводятся путем бурения на производственных буровых установках.

Испытания производятся на образцах горной породы с коэффициентами крепости  $f=1$  и  $f=8$  при использовании установок вращательного бурения MQT и Rambor.

2.2 Количество испытываемых буровых резцов: серийный резец РПУ-30 в количестве 8 экземпляров, экспериментальный резец «Кузбас-300» в количестве 8 экземпляров.

### **3. Условия испытаний**

3.1 Проведение испытаний согласовывается с руководящим техническим специалистом угольных объединений, в состав которых входят шахты.

3.2 Для проведения испытаний, на шахтах создаются приказы, в которых назначаются составы комиссий. Составы комиссий утверждаются техническими руководителями угольных предприятий, проводящих испытания. В состав комиссии входят представители ФИЦ УУХ СО РАН. На председателей комиссий возлагается руководство проведения испытаний инструмента в соответствии с программой и методикой, систематическое наблюдение за ходом испытаний, и при необходимости, периодическое рассмотрение промежуточных результатов испытаний, а также правильности выводов и предложений комиссии.

3.3 Испытания проводятся на образцах горной породы, взятых с участков шахт, имеющих характерные горно-геологические свойства каждой шахты. Выбор места проведения испытаний осуществляется комиссиями и оформляется протоколами.

3.4 Испытания проводятся на исправных машинах, управляемых опытными операторами. В процессе проведения испытаний присутствуют представители ФИЦ УУХ СО РАН. Режимы работы буровых установок и резцов должны соответствовать их техническим характеристикам.

3.5 Справки о составах и характеристиках пород извлеченных из горных выработок для испытаний, предоставляются геологическими службами шахт.

### **4. Методика испытаний**

4.1 Порядок проведения экспериментальных исследований состоит в следующем. Перед проведением исследований необходимо проверить параметры опытной партии буровых резцов, указанных на рисунке 2. Проверка параметров производится с использованием штангенциркуля ШЦ-125 или калибр-кольца.

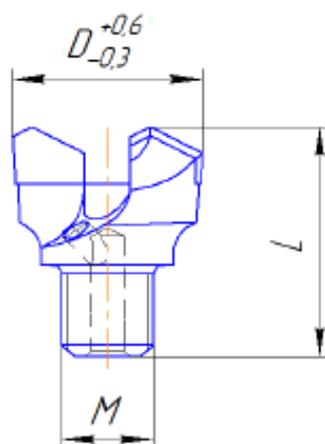


Рисунок 2. Геометрические параметры инструмента

4.2 Для испытаний выдается экспериментальная партия буровых резцов.

4.3 На протяжении испытаний фиксируется среднее значение ресурса каждого типа резца, скорости бурения и причины выхода из строя резцов.

4.4 При определении эксплуатационных характеристик горного инструмента рекомендуется отмечать:

- равномерный абразивный износ режущей части буровых резцов;
- виды отказов (разрушение твердосплавных вставок; отрыв твердосплавных вставок; деформация или разрушение корпуса; заштыбовка промывочных каналов; поломка резьбовой части).

4.5 При определении сравнительных показателей инструмента разных видов испытание вести одновременно, в тех же самых условиях.

## 5. Оформление результатов

5.1 Результаты испытаний (работы инструмента) заносятся в журнал (таблица 1), по которым по окончании испытаний производятся подсчеты по ресурсу (среднему) в шпурометрах/резец, скорости подачи (средней) в мм/с, удельной подачи в мм/оборот и делаются соответствующие выводы.

5.2 По окончании испытаний подсчитывается итоговый ресурс каждого типа бурового резца в шпурометрах/резец, а так же составляются акты и протоколы испытаний, в которых отражаются условия и результаты проведения испытаний. Отмечаются выявленные эксплуатационные и конструкционные недостатки инструмента и рекомендации по их устранению. Даются рекомендации по передаче в серийное производство, объему доработки инструмента и корректировки конструкторской документации.

5.4 Акты и протоколы испытаний подписывается всеми членами комиссий и утверждаются техническими руководителями горных

предприятий, проводящих испытания и руководящими техническими специалистами угольных объединений в состав которых входят данное предприятие. Журнал испытаний является приложением к протоколу.



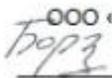
Общество с ограниченной ответственностью  
«Прокопуголь»

РФ, 653010, г. Прокопьевск, ул. 10-й Микрорайон, д. 22, кв. 46  
Тел.: 8(904)574-67-77 E-mail.: [prokop@mail.ru](mailto:prokop@mail.ru)  
ОКПО 37692464; ОГРН 1114223006886; ИНН/КПП 4223055346/422301001

---

**УТВЕРЖДАЮ:**

Генеральный директор

ООО «Прокопуголь»  
 Д.М. Борзых

«27» июня 2022 г.

**АКТ**

испытаний буровых резцов РПУ-30 производства ООО «Горный инструмент» и экспериментальных резцов «Кузбасс-300» предназначенных для бурения шпуров под анкерную крепь буровыми установками MQT и Rambor

Комиссия в составе:

Генеральный директор

ООО «Прокопуголь»

Д.М. Борзых

Инженер

ООО «Прокопуголь»

В.Е. Левицкий

Доцент кафедры

открытых горных работ

и электромеханики

В.А. Корнеев

Заведующий лабораторией

кафедры геотехнологии

П.А. Корнеев

организовала и провела испытаний буровых резцов РПУ-30 производства ООО «Горный инструмент» и экспериментальных резцов «Кузбасс-300» предназначенных для бурения шпуров под анкерную крепь в условиях шахт ООО «Шахта Есаульская» и ООО «Шахта Алардинская» в конвейерном и вентиляционном штреках.

### 1. Объекты испытаний

- 1.1 Наименование: Резцы для вращательного бурения шпуров
- 1.2 Обозначение: РПУ-30, «Кузбасс-300»
- 1.3 Количество: РПУ-30 – 8 шт., «Кузбасс-300» – 8 шт.
- 1.4 Изготовители: ООО «Горный инструмент», ФГБОУ ВО СибГИУ
- 1.5 Область применения: вращательное бурение шпуров диаметром 30 мм с использованием пневматических буровых машин в горных породах с крепостью  $f = 1 - 8$  ед. по шкале проф. Протодяконова

### 2. Цель испытаний

Целью испытаний являлось определение эксплуатационных качеств резцов для вращательного бурения шпуров, а именно:

- а) скорости бурения (м/мин);
- б) ресурса (м).

### 3. Характеристика условий и места проведения испытаний

Испытания резцов проводились:

06.06.2022 г. – 20.06.2022 г. в кровли конвейерного и вентиляционного штреков ООО «Шахта Есаульская» и ООО «Шахта Алардинская» с использованием пневматических буровых машин MQT и Rambor.

Обуреваемая кровля штреков шахт включала в себя горные породы крепостью  $f = 1 - 8$  ед. по шкале проф. Протоdjяконова.

### 4. Результаты испытаний

В процессе испытаний проводился осмотр резцов, замер скорости бурения и глубина пробуренных шпуров. По результатам наблюдений была составлена сводная таблица результатов (табл. 1).

Сводная таблица результатов – Таблица 1.

Место проведения исследований, буровая установка	Горная порода / средняя крепость по шкале М.М. Протоdjяконова	Скорость бурения (м/мин.) / марка резца (кол-во)		Ресурс (м) / марка резца (кол-во)	
		Серийный	«Кузбасс-300»	Серийный	«Кузбасс-300»
ООО «Шахта Есаульская», Конвейерный штрек 29-39, буровая установка MQT	Уголь / 1	1,86±0,09 / РПУ-30 (4 шт.)	2,01±0,09 / (4 шт.)	132,4±3,5 / РПУ-30 (4 шт.)	133±3,2 / (4 шт.)
ООО «Шахта Алардинская», Вентиляционный штрек 3-14, буровая установка Rambor	Песчаник, алевролит / 8	0,79±0,04 / РПУ-30 (4 шт.)	0,93±0,04 / (4 шт.)	2,68±0,21 / РПУ-30 (4 шт.)	4,65±0,27 / (4 шт.)

## 5. Выводы комиссии

В процессе проведения экспериментов по бурению шпуров в горных породах крепостью от 1 до 8 по шкале М.М. Протоdjяконова пневматическими переносными анкеро-установщиками с использованием резцов двухперой асимметричной конструкции (РПУ-30) и резцов с режущей вставкой в форме эллипсообразного овала Кассини («Кузбасс-300»), было установлено, что резец «Кузбасс-300» обеспечивает скорость бурения на 18% больше и увеличивает ресурс инструмента в 1,74 раза в сравнении с резцами РПУ-30.

Генеральный директор

ООО «Прокопуголь»

Д.М. Борзых

Инженер

ООО «Прокопуголь»

В.Е. Левицкий

Доцент кафедры

открытых горных работ

и электромеханики

В.А. Корнеев

Заведующий лабораторией

кафедры геотехнологии

П.А. Корнеев

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

на диссертационную работу «Разработка и обоснование параметров горного инструмента для вращательного бурения шпуров в угольных шахтах»  
(автор Корнеев П.А., научный руководитель д.т.н., профессор Жабин А.Б.)

В представленной на заключение диссертационной работе Корнеева П.А. предлагаются научно-технические решения, способствующие повышению эффективности бурения шпуров вращательным способом в углепородном массиве шахт. Основная идея исследования 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.

В процессе написания диссертационной работы, предложены конструкции резцов для вращательного бурения № 2709900, № 2619958, а также штанг № 2681164, № 2703571, № 2712872.

Вращательное бурение шпуров в углепородном массиве представляет собой сложный процесс, производительность которого зависит не только от технологических показателей режима бурения, но и от конструктивных параметров горного инструмента и степени его износа. Считаем, что разработанные конструкции буровых резцов способствуют повышению эффективности вращательного бурения, что актуализирует их внедрение в производство.

Генеральный директор  
ООО «Алтик ШахтМонтаж»



А.А. Максимов



Europejska Grupa Innowacyjna Sp. z o.o.  
ul. Piastowska 53  
47-200 Kędzierzyn Koźle

\* EGIN - ENGINE OF INNOVATION \* EGIN - ENGINE OF INNOVATION \* EGIN - ENGINE OF INNOVATION \*

### ОТЗЫВ

на диссертационную работу «Разработка и обоснование параметров горного инструмента для вращательного бурения шпуров в угольных шахтах»  
выполненную Корнеевым П.А.,  
под руководством д.т.н, профессора Жабина А.Б.

Бурение горных пород является неотъемлемым технологическим процессом, сопровождающим разработку месторождений полезных ископаемых. 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.

В процессе работы над диссертацией были предложены технические решения в виде конструкций горного инструмента – резцов и штанг для бурения шпуров вращательным способом, на которые были получены патенты.

Организованы и проведены экспериментальные сравнительные испытания предлагаемого бурового резца с режущей вставкой в форме эллипсообразного овала Кассини и серийного резца РПУ-30 производства ООО «Горный инструмент» с получением данных по их ресурсам работы и скоростям разрушения забоя шпура.

Экспериментальные данные, показали, что ресурс и скорость бурения резца с режущей вставкой в форме эллипсообразного овала Кассини превышают аналогичные показатели серийного резца РПУ-30.

В связи с этим предлагаемый горный инструмент рекомендуется к внедрению на горнодобывающих предприятиях, использующих в технологических процессах вращательное бурение горных пород.

EGIN Sp. z o.o.  
ul. Piastowska 53  
47 - 200 Kędzierzyn - Koźle  
NIP 7492093085; Reg. 362058737  
tel. 604 129 010

/ Директор / Кшиштоф Климкович

Europejska Grupa Innowacyjna Sp. z o.o.; ul. Piastowska 53; 47-200 Kędzierzyn-Koźle  
NIP: 749-209-30-85; REGON: 362058737; Nr konta: 91 1090 2183 0000 0001 3117 48 68  
[www.egin.pl](http://www.egin.pl); e-mail: [egin@egin.pl](mailto:egin@egin.pl)



объединенная компания  
**СИБШАХТОСТРОЙ**

ООО «ОК «Сибшахтострой»  
654034 Россия, Кузбасс, г. Новокузнецк  
ш. Кузнецкое (Кузнецкий район), 9  
Коммерческий отдел:  
+7(3843)900-000; [comm@oksshhs.ru](mailto:comm@oksshhs.ru)  
Приемная генерального директора:  
+7(3843)900-263; [info@oksshhs.ru](mailto:info@oksshhs.ru)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

на диссертационную работу по теме: *«Разработка и обоснование параметров горного инструмента для вращательного бурения шпуров в угольных шахтах»*

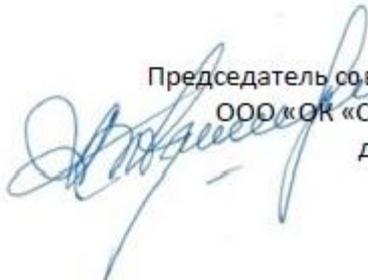
Представленная диссертационная работа, выполненная по теме: «Разработка и обоснование параметров горного инструмента для вращательного бурения шпуров в угольных шахтах», выполненная Корнеевым П.А. под руководством д.т.н., профессора Жабина А.Б., обеспечивает решение задач по разработке конструкций горного инструмента для вращательного бурения шпуров.

Конструкторские решения в области создания горного инструмента, разработанные в процессе выполнения диссертационного исследования защищены патентами на изобретения (№ 2709900, № 2619958, № 2681164, № 2703571, № 2712872).

Предложенные конструкции горного инструмента для вращательного бурения шпуров на угольных шахтах, рекомендуются к внедрению в производство. Серийный выпуск такого инструмента обеспечит повышение эффективности вращательного бурения, что является актуальной задачей при подземной разработке месторождений полезных ископаемых.

#### **Резолюция:**

*Работа соискателя Корнеева П.А. по шифру специальности 2.8.8 – «Геотехнология, горные машины» достойна положительной оценки и рекомендована в производство.*

  
А.А. Ивушкин  
Председатель совета директоров  
ООО «ОК «Сибшахтострой»,  
д.т.н., профессор

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор ООО Скуратовский  
опытно-экспериментальный завод  
канд. техн. наук

Антипов В.В.

» 06 2024 г.

### АКТ

внедрения результатов диссертационной работы  
Корнеева Петра Александровича  
«Разработка и обоснование параметров горного инструмента для  
вращательного бурения шпуров в угольных шахтах»

Настоящим актом подтверждается, что результаты теоретических и экспериментальных исследований в шахтных условиях, связанные с повышением эффективности процесса вращательного бурения шпуров и заключающиеся в разработке:

- буровой штанги, обладающей меньшей массой и обеспечивающей повышение ее прочности и жесткости и увеличение свободного пространства для удаления буровой мелочи в сравнении с известными аналогами;

- бурового резца с оригинальной конструкцией твердосплавной вставки, обеспечивающего повышение скорости бурения и его ресурса за счет создания полного контакта лезвий с забоем шпура, снижения колебаний инструмента при бурении им горной породы и способствования уменьшению затуплений лезвий,  
используются ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» при проектировании и разработке буровых станков различного назначения и режущего инструмента.

Главный конструктор

Наумов Ю.Н.