

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт природных ресурсов
Направление подготовки (специальность): «Нефтегазовое дело» («Строительство
глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях»)
Кафедра бурения скважин

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы
Оптимизация техники и технологии бурения скважин шароструйным способом

УДК 622.243.43-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
222В	Исаев Евгений Дмитриевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалев А.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Кочеткова О.П.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалев А.В.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное
 учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность): «Технология геологической разведки»
 («Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых»)
 Уровень образования: специалитет
 Кафедра бурения скважин
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года
 Форма представления работы: дипломная работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения магистерской диссертации**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	12.06.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.11.2017	Патентный обзор и обзор литературных источников	20
10.11.2017	Разработка методики проведения эксперимента и конструкции лабораторного стенда	20
01.03.2017	Проведение экспериментальных исследований	20
10.03.2017	Обоснование полученных результатов	20
1.05.2017	Проведение теоретических исследований	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалев А.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалев А.В.	к.т.н.		

Министерство образования и науки Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность): 21.05.03 «Технология геологической разведки»
профиль «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых»

Кафедра бурения скважин

УТВЕРЖДАЮ:
и.о. зав. кафедрой
А.В.Ковалев

_____ « ____ » _____ 20 г.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме дипломной работы

Студенту:

<u>Группа</u>	<u>ФИО</u>
2222	Исаеву Евгению Дмитриевичу

Тема работы:

Оптимизация техники и технологии бурения скважин шароструйным способом	
Утверждена приказом директора(дата,номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы	12.06.2017
---	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: шароструйное бурение
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Экспериментальные исследования: 1. Анализ факторов, определяющих эффективность шароструйного бурения. 2. Разработка лабораторного стенда для проведения исследований. 3. Разработка методики проведения исследований 4. Исследование влияния технологических параметров шароструйного бурения на его эффективность 5. Исследование влияния геометрических параметров бурового снаряда на эффективность шароструйного бурения

	Теоретические исследования: 1. Разработка улавливающе-подпитывающего устройства 2. Разработка складывающегося задерживающего устройства 3. Разработка техники поддержания расстояния между снарядом и забоем
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Немцова О.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кочеткова О.П.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ковалев А.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
222В	Исаев Евгений Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
222В	Исаеву Евгению Дмитриевичу

Институт	природных ресурсов	Кафедра	бурения скважин
Уровень образования	специалитет	Направление/специальность	«Технология геологической разведки» / «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Технология и техника бурения скважин шароструйным способом
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	<i>Вредные факторы:</i> 1. Повышенный уровень электромагнитных излучений. 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 3. Повышенная пульсация светового потока 4. Повышенный уровень шума на рабочем месте. 5. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. <i>Опасные факторы:</i> 1. Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования. 2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
2. Экологическая безопасность:	1. Воздействие на атмосферу. 2. Воздействие на гидросферу. 3. Воздействие на литосферу.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожары.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Социальные правовые зоны трудового законодательства. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
222В	Исаев Евгений Дмитриевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа 222В	ФИО Исаев Евгений Дмитриевич
-----------------------	--

Институт	природных ресурсов	Кафедра	бурения скважин
Уровень образования	специалист	Направление/специальность	«Технология геологической разведки» / «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов при разработке и совершенствовании технологии бурения скважин шароструйным способом</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Налоговый кодекс РФ ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016 №55-ФЗ</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности научных исследований</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>
2. <i>Планирование научно-исследовательских работ</i>	<i>Разработка графика проведения научных исследований</i>
3. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Расчет материальных затрат Расчет заработной платы исполнителей темы Расчет отчислений во внебюджетные фонды Расчет накладных расходов</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<p><i>Таблицы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</i> – <i>Перечень этапов, работ и распределение исполнителей</i> – <i>Временные показатели проведения научного исследования</i> – <i>Календарный план-график проведения научного исследования</i> – <i>Материальные затраты</i> – <i>Расчет основной заработной платы</i> – <i>Расчет дополнительной заработной платы</i> – <i>Отчисления во внебюджетные учреждения</i> – <i>Накладные расходы</i> – <i>Расчет бюджета затрат</i>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кочеткова Ольга Петровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
222В	Исаев Евгений Дмитриевич		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Разрабатывать технологические процессы на всех стадиях геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, внедрять и эксплуатировать высокотехнологическое оборудование
P2	Ответственно использовать инновационные методы, средства, технологии в практической деятельности, следуя принципам эффективности и безопасности технологических процессов в глобальном, экономическом, экологическом и социальном контексте
P3	Применять знания, современные методы и программные средства проектирования для составления проектной и рабочей документации на проведение геологической разведки и осуществления этих проектов
P4	Определять, систематизировать и получать необходимые данные с использованием современных методов, средств, технологий в инженерной практике
P5	Планировать, проводить, анализировать, обрабатывать экспериментальные исследования с интерпретацией полученных результатов на основе современных методов моделирования и компьютерных технологий
P6	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой для решения профессиональных инновационных задач в соответствии с требованиями корпоративной культуры предприятия и толерантности
	Проводить маркетинговые исследования и разрабатывать предложения по повышению эффективности использования производственных и природных ресурсов с учетом современных принципов производственного менеджмента, осуществлять контроль технологических процессов геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых
<i>Универсальные компетенции</i>	
PP7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Идентифицировать, формулировать, решать и оформлять профессиональные инженерные задачи с использованием современных образовательных и информационных технологий
PP9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации
PP10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>
PP11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	11
ABSTRACT	12
ВВЕДЕНИЕ	13
ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1. История развития шароструйного способа бурения скважин	15
1.2. Обзор конструкций шароструйно-эжекторных буровых снарядов 20	
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	24
2.1. Анализ факторов, определяющих эффективность бурения	24
2.2. Лабораторный стенд для проведения исследований	25
2.3. Методика проведения экспериментальных исследований	29
2.4. Исследование влияния технологических параметров на эффективность шароструйного бурения	32
2.4.1. Расстояние между снарядом и забоем	32
2.4.2. Масса порции шаров	34
2.4.3. Диаметр используемых шаров	36
2.5. Исследование влияния геометрических параметров бурового снаряда на эффективность шароструйного бурения	38
2.5.1. Расстояние между соплом и технологическими окнами	38
2.5.2. Высота технологических окон	40
2.5.3. Длина камеры смещения	41
2.5.4. Угол раскрытия диффузора	43
2.5.5. Диаметр сопла	45
2.6. Выводы и рекомендации	47
3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	49
3.1. Разработка улавливающе-подпитывающего устройства	49
3.2. Разработка забойного шаропитателя	50
3.3. Разработка складывающегося задерживающего устройства	52

3.4.	Разработка технологии поддержания расстояния между снарядом и забоем	54
4.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	56
4.1.	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
4.1.1.	Потенциальные потребители результатов исследования	56
4.1.2.	Анализ конструктивных способов бурения	56
4.2.	Планирование научно-исследовательских работ	58
4.2.1.	Структура работ в рамках научного исследования	58
4.2.2.	Определение трудоемкости выполнения работ	59
4.2.3.	Разработка графика проведения научного исследования	60
4.3.	Бюджет научно-технического исследования	62
4.3.1.	Расчет материальных затрат	62
4.3.2.	Основная заработная плата исполнителей темы	63
4.3.3.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	63
4.3.4.	Отчисления во внебюджетные фонды	64
4.3.5.	Накладные расходы	64
4.3.6.	Формирование бюджета затрат научного проекта	64
5.	ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	65
5.1.	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	65
5.1.1.	Повышенный уровень электромагнитных излучений	66
5.1.2.	Недостаточная освещенность рабочей зоны	66
5.1.3.	Повышенная пульсация светового потока	67
5.1.4.	Повышенный уровень шума на рабочем месте	67
5.1.5.	Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны	67
5.1.6.	Нервно-психические нагрузки	68

5.2.	Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.....	69
5.2.1.	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования.....	69
5.2.2.	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	69
5.3.	Экологическая безопасность.....	70
5.3.1.	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду ...	70
5.3.2.	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .	70
5.3.3.	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	70
5.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	71
5.4.1.	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	71
5.4.2.	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	71
5.4.3.	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	71
5.5.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	72
5.5.1.	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	72
5.5.2.	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны...	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....		75

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 82 страниц, 27 рис., 27 табл., 6 формул, 75 источника.

Ключевые слова: шароструйное бурение, шароструйно-эжекторный буровой снаряд; разрушение горных пород; скважина; улавливающе-подпитывающее устройство.

Объектом исследования является шароструйное бурение скважин

Цель работы: оптимизация техники и технологии бурения скважин шароструйным способом

В процессе исследования проводились теоретические и экспериментальные работы, посвященные совершенствованию техники и технологии бурения скважин шароструйным способом.

В результате исследования были разработаны технические средства для повышения эффективности шароструйного бурения, а также получены экспериментальные зависимости влияния технологических параметров и геометрических параметров бурового снаряда на его эффективность.

Степень внедрения: необходимы дальнейшие теоретические, экспериментальные и опытно-конструкторские работы.

Область применения: бурение в интервалах твердых и крепких горных пород.

Экономическая эффективность/значимость работы: возможность повысить механическую скорость бурения и проходку на долото в интервалах твердых и крепких горных пород, как следствие – уменьшение затрат при бурении.

В будущем планируется проведение промышленных испытаний на базе цементировочного агрегата ЦА-320.

ABSTRACT

The thesis includes 82 pages, 27 illustrations, 27 tables, 6 formulas, 75 sources.

Key words: pellet impact drilling, pellet impact drill bit, geological material fragmentation, well, catching and recharging device.

The object of the research is pellet impact drilling.

The research goal is to optimize technique and technology of impact drilling of boreholes.

The research includes theoretical analysis and experiments, dedicated to developing of technique and technology of boreholes drilling by impact drilling.

The result of the research is the development of technological means which can raise the effectiveness of impact drilling. Also in the course of the research we have explored the influence of the technological and geometrical characteristics of a tool string on its effectiveness.

The adaptation extent: the further theoretical and practical research is needed.

The application field: for hard and tough rock drilling.

The economic value of the work: the research appliance allows to raise the mechanical speed of the drilling and improve the hole making for hard and tough rock drilling which can reduce the drilling expense.

The practical experiments powered by the CA-320 cementing tank are planned in the further researches.

ВВЕДЕНИЕ

Известен шароструйный способ бурения скважин, показавший высокую эффективность при бурении твердых горных пород по сравнению с механическим вращательным бурением [24, 72, 73, 74]. Однако данный способ не получил широкого внедрения из-за недостаточного уровня теоретической и экспериментальной проработки. Рекомендации по подбору оптимальных технологических параметров режима бурения и выбору оптимальной конструкции бурового снаряда для конкретных условий бурения, представленные в работах [24, 72, 73, 74, 75] носят разрозненный характер. На момент проведения исследований отсутствовали технические средства, позволяющие изучить динамику движения шаров в процессе бурения. Таким образом, выводы и рекомендации, представленные исследователями, базировались, главным образом, на их умозаключениях и могут нести в себе ошибочную информацию. Кроме того, остается нерешенным ряд технических проблем, стоящих перед данным способом.

Актуальность приобретает необходимость дальнейшей экспериментальной и технической проработки шароструйного способа бурения.

Целью работы является оптимизация и совершенствование технологии и техники бурения скважин шароструйным способом.

Объект исследования – шароструйное бурение.

Предмет исследования – факторы, определяющие эффективность шароструйного бурения.

Личный вклад автора состоит в обзоре и анализе литературных источников по теме исследования; разработке методики исследований; в разработке лабораторного стенда; в проведении исследований и обработке экспериментальных данных; в разработке технических решений.

Результаты, приведенные в ВКР, могут использоваться для разработки промышленного образца шароструйно-эжекторного бурового снаряда и

подбора оптимальных технологических параметров для конкретных горно-геологических условий.

Результаты по теме ВКР были представлены автором на следующих мероприятиях:

- XVIII Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», 2014 год;
- XIX Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», 2015 год;
- XXI Международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», 2017 год;
- XVI Международная молодежная научная конференция «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ», 2015 год;
- XVII Международная молодежная научная конференция «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ», 2016 год;
- Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ «ШАГ В НАУКУ», 2016 год;
- Конкурс «Сибирские Афины» в номинации научные разработки и технологии, 2016 год.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. История развития шароструйного способа бурения скважин

Шароструйный способ бурения впервые был предложен в 1955 году учеными американской нефтяной компании «Carter Oil Company». Результаты этих исследований освещены в работах И.Э. Эскеля, Ф.Г. Дэйли, Л.У. Леджервурда [35, 81]. Некоторые данные приводятся в работах А.У. Маккрея и Ф.У. Коле [36]. Целью исследований была разработка более эффективного способа бурения нефтяных скважин.

В результате проведения лабораторных исследований авторами [35, 81] были получены следующие результаты:

1. исследованы процессы передачи энергии от жидкости шарам, от шаров горной породе;
2. проведено исследование влияния геометрических размеров на характеристики струйного насоса, как основной части гравитационно-инжекционного бурового снаряда;
3. исследовано влияние, расхода жидкости, расстояния между снарядом и забоем, массы порции шаров и их размера расхода жидкости, типа промывочной жидкости на эффективность шароструйного бурения.

На основе результатов лабораторных исследований были сконструированы два шароструйных снаряда диаметром 228,6 мм. Буры имели сменные камеры смешения диаметром 89 и 102 мм и набор сопел диаметром от 15,9 до 23, 8 мм.

В ходе промышленных испытаний было пробурено 16,2 м в мраморе, известняке и розовом кварците с применением в качестве промывочной жидкости воды. В таблице 1 представлены условия проведения испытаний [81].

Таблица 1 – Условия проведения промышленных испытаний

Параметр	Значение
Диаметр снаряда, мм	228,6
Крутящий момент, кгс·м	46,4
Осевая нагрузка, кгс	736
Частота вращения, об/ мин	20
Внутренний диаметр сопла, мм	22,1
Внутренний диаметр камеры смешения, мм	89
Коэффициент эжекции	3,6
Давление на стояке, МПа	5,05-5,33
Перепад давления в сопле, МПа	3,9-4,18
Расход воды, л/мин	1970
Диаметр шаров, мм	31,8
Масса шаров, кг	63,4-86,2

Механическая скорость бурения при проходке мрамора составила 2,3 м/ч при диаметре скважины 292,1 мм, по известняку 1,2 м/ч при диаметре скважины 254 мм и по розовому кварциту 0,14 м/ч при диаметре скважины 241 мм.

В результате осуществленных работ был сделан вывод о возможности «осуществлять разрушение горных пород с заметной скоростью, что показывает реальность принципов бурения ударами шаров. Дальнейшие работы могут быть выполнены для полного определения их перспективности в условиях производства» [81]. Но уже в 1961 году Л.У. Леджервуд, являющийся одним из участников проведенных исследований [35] писал: «Импульсное шариковое бурение не имеет практического применения. На достигнутом уровне с его помощью можно разрушать породы, но с экономической точки зрения этот процесс значительно менее выгоден, чем обычное вращательное бурение». Некоторые отечественные исследователи [13, 77], вероятно основываясь на выводах Л.У. Леджервуда, также характеризовали называемый ими «ударно-дробовой способ бурения» как малоперспективный.

Несмотря на приведенные заключения, с 1963 г. в Южно-Казахстанском геологическом управлении начались дальнейшие

исследования данного способа бурения, называемого шароструйным (при этом породоразрушающий инструмент назывался «шароструйным аппаратом»). Анализируя результаты американских ученых, руководитель исследований А.Б. Уваков указывал на их не совсем объективные выводы. «Американцы при проведении экспериментов делали акцент на определение физической сущности работы шароструйных аппаратов, в тоже время вопросам разрушения горных пород уделялось неоправданно мало внимания. В результате они совершили явную ошибку, пытаясь бурить различные по крепости горные породы при одинаковой скорости вылета шаров из аппарата, равной 22,8 м/с» [81].

Исследователями [78, 79] были решены следующие вопросы:

1. предложены аналитические зависимости, характеризующие процесс разрушения горных пород при шароструйном бурении;
2. проанализированы основные факторы, определяющие эффективность шароструйного бурения;
3. предложена методика расчета основных геометрических параметров снаряда для шароструйного бурения;
4. предложена методика расчета основных геометрических параметров шароструйного аппарата;
5. разработаны и испытаны в производственных условиях конструкции шароструйные аппараты;
6. предложена технология изменения траектории скважины посредством использования шароструйного бурового снаряда.

Исследователями установлено, что при осуществлении бурения шароструйным способом для каждой горной породы требуется определенная скорость вылета шаров (от 40 до 180 м/с), при которой обеспечивается наиболее эффективное разрушение. Механическая скорость бурения шароструйным способом в режиме усталостного разрушения горных пород с ростом их твердости сжинается, а в режиме оптимального разрушения – увеличивается. Данная зависимость является очень важной, т.к. подчеркивает

целесообразность применения способа для бурения крепких горных пород. При оптимальной скорости вылета шара вся его кинетическая энергия будет расходоваться на объемной разрушение горной породы и отскок шара будет минимальным. Таким образом, минимизируется износ шароструйного снаряда. Скорость проходки при этом может достигать до 20 м/ч в породах VII–XI категорий по буримости.

Дальнейшие исследования шароструйного бурения осуществлялись в девяностых годах прошлого века в Казахстане С.А. Заурбековым [23]. Результаты его исследований заключаются в следующем:

1. разработана конструкция снаряда для шароструйного бурения, имеющая центральную опору и несколько камер смешения и сопел, расположенных по периферии;
2. определены оптимальные геометрические параметры разработанного шароструйного снаряда и технологические параметры, обеспечивающие наибольшую эффективность разрушения горной породы;
3. предложена методика расчета параметров конструкции разработанного шароструйного снаряда и технологических параметров, обеспечивающих наибольшую эффективность разрушения горной породы.

Проведенные испытания показали повышение величины проходки на долото на 44% и механической скорости бурения на 21% сравнении с шарошечными долотами [23]. Бурение шароструйным способом производилось в интервале скважины от 500 до 1100 м в породы средней крепости. Параметры режима бурения: частота вращения снаряда – 90 об/мин, плотность бурового раствора – 1060 кг/м³, осевая нагрузка – 10 кН, расход промывочной жидкости – 30 л/с.

Таким образом, можно выделить ряд преимуществ шароструйного бурения перед механическим вращательным:

- простота и дешевизна изготовления шароструйного снаряда;

- отсутствие необходимости в осевой нагрузке и вращении снаряда;
- потенциальная возможность увеличения продолжительности рейса за счет осуществления подпитки шаров без дополнительных спуско-подъемных операций;
- увеличение механической скорости бурения в твердых горных породах.

Данные достоинства показывают принципиальную возможность бурения шароструйным способом и экономическую целесообразность в определенных горно-геологических условиях.

Однако промышленное внедрение шароструйного способа бурения сдерживает проблем, к числу которых можно отнести:

- малое значение КПД шароструйного бурения, в связи с чем для эффективного разрушения крепких горных пород необходимо использование мощной насосной техники;
- отсутствие экспериментально полученной информации об энергоемкости разрушения горных пород шароструйным способом;
- нецелесообразность бурения в сильно трещиноватых, а также пластичных горных породах;
- сложность поддержания необходимого расстояния между снарядом и забоем, а также диаметра скважины;
- трудность выбора конструкции шароструйного аппарата для конкретных геологических условий бурения;
- отсутствие единой методики расчета геометрических параметров шароструйных снарядов и технологических параметров режима бурения.

Остановимся на терминологии этого способа бурения. В США данный способ бурения называли «импульсное шариковое бурение» [35, 81], в СССР

– «шароструйное бурение» [78, 79, 80], «ударно-дробовое бурение» [13, 78], на Украине – «абразивно-механическое ударное бурение» [21, 22].

Термины «импульсное шариковое бурение», «абразивно-механическое ударное бурение» являются слишком громоздкими, термин «ударно-дробовое бурение» указывает на бурение дробью, а не на получившее распространение бурение шарами, поэтому их применение не является корректным. По мнению исследователя, более удачным, к тому же наиболее распространенным термином является «шароструйное бурение».

Буровой снаряд для реализации данного способа в США назывался «шариковый импульсный бур со струйным насосом» [82], «гидромониторный шариковый импульсный бур» [35, 36], в СССР и на Украине – «шароструйный аппарат», «шароструйный снаряд» [79, 80].

Термины, характеризующие буровой снаряд при шароструйном бурении, используемые в США, являются громоздкими. Термины «шароструйный аппарат», «шароструйный снаряд», безусловно, являются более удачными, однако они не отражают сущность способа, в котором непрерывная циркуляция шаров в призабойной зоне осуществляется за счет процесса эжекции. В связи с вышесказанным в дальнейшем изложении будет использоваться термин «шароструйно-эжекторный буровой снаряд».

1.2. Обзор конструкций шароструйно-эжекторных буровых снарядов

Способы решения проблемы формирования периферийной части забоя скважины предлагались различными исследователями. Уваков А.Б. и др. [78, 79, 80] использовал следующий метод: рассчитывалась средняя механическая скорость проходки в определенных горных породах, затем через каждый равный промежуток времени шароструйный аппарат опускался на определенную.

Другие способы решения проблемы поддержания требуемого расстояния между снарядом и забоем были предложены в патентных и других материалах:

- использование специального устройства для измерения расстояния от среза струйного аппарата до забоя скважины, выполненного на основе механического щупа [53] и счетчика количества шаров, проходящих через камеру смешения [10];
- жесткое закрепление струйного аппарата относительно механического вооружения, разрушающего периферийную [6, 9, 12, 39-44, 47, 48, 50, 52, 55, 62] или центральную [4, 24, 54] части забоя скважины;
- различные конструктивные особенности, основанные на изменениях гидродинамических условий в призабойной зоне при изменении расстояния между снарядом и забоем [57, 60];
- использование в конструкции снаряда перекатывающегося по забою опорного элемента [65] или специальных опор [75].

Поиск и анализ патентных материалов позволил выделить ряд возможных способов решения проблемы обеспечения оптимальной траектории движения шаров:

- установка магнита в нижнюю часть корпуса струйного аппарата, что позволяет отклонять шары, вылетающие из диффузора, к периферии скважины для более быстрого их подъема [47];
- резкое уменьшение площади снаряда над впускными окнами, что позволяет значительно снизить скорость восходящего потока и направить шары в камеру смешения для последующего всасывания [25, 29-34];
- удержание поднимающихся восходящим потоком шаров при помощи задерживающего устройства [24, 58, 59, 63] и конструктивно в корпусе снаряда [4, 9, 12, 47-52, 54, 66];

- поднятие шаров паром при использовании газообразных рабочих агентов [10, 12].

При использовании механического вооружения для разрушения периферийной части забоя скважины возможны его заклинки, которые можно ликвидировать или предупредить за счет возможности отклонения камеры смещения при создании определенного значения осевой нагрузки [6]. Так как на больших глубинах присутствует сложность поддержания цилиндрической формы скважины, то компоновка бурильной колонны может быть снабжена калибратором для проработки стенок скважины [4, 24].

В конструкции снаряда, используемого американскими исследователями (рисунок 1), применялись специальные опорные лапы 7. Снаряд разгружался на забой, опираясь на лапы. Таким образом решалась проблема поддержания требуемого расстояния между снарядом и забоем скважины при бурении. Важной особенностью данного снаряда является образование «облака резервных шаров» 8 на уровне сопла 2.

К недостаткам конструкции, используемой американцами, стоит отнести:

- интенсивный износ опорных лап;
- необходимость вращения снаряда;
- снижение скорости проходки из-за перекрытия части забоя;
- необходимость поддержания фиксированного расхода жидкости.

Заурбековым С.А. в работе [24] указывается на малый расход шаров в камере смещения (не более 140 ш/с). В связи с этим был предложен снаряд с соплом 6 и камерой смещения 9 кольцевой формы, при этом центральная часть забоя скважины разрушается с помощью опоры 8, заканчивающейся твердосплавными зубками 11 (рисунок 2). Такая конструкция обеспечивает поддержание оптимального расстояния между снарядом и забоем в процессе бурения.

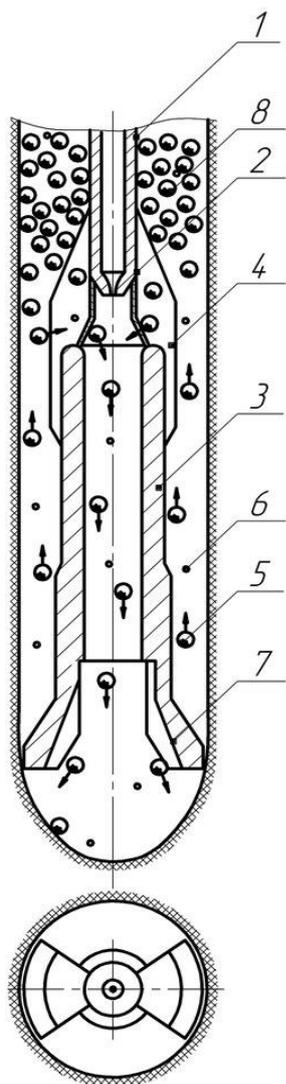


Рисунок 1 – «Гравитационно-инжекционный» буровой снаряд:
 1 – колонна бурильных труб; 2 – сопло;
 3 – камера смешения; 4 – ребра;
 5 – породоразрушающие шары;
 6 – шлам выбуренной породы; 7 – лапы;
 8 – «облако резервных шаров»

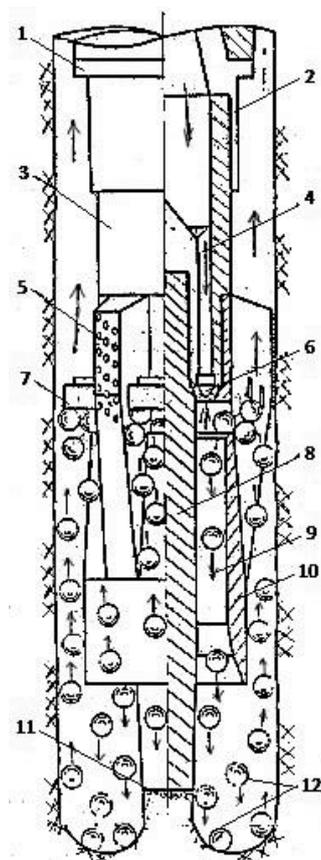


Рисунок 2 – Шароструйно-эжекторный буровой снаряд с соплом и камерой смешения кольцевой формы (по Заурбекову С.А.):

- 1 – калибратор; 2 – переводник;
- 3 – соединительная головка;
- 4 – подводящие жидкость каналы;
- 5 – калибрующе-центрирующие ребра;
- 6 – кольцевое сопло;
- 7 – задерживающее устройство;
- 8 – опора снаряда; 9 – кольцевая камера смешения; 10 – корпус снаряда;
- 11 – твердосплавные зубки; 12 – шары

Ряд авторов [24, 72-75] считает эффективной конструкцию ШЭБС, в основе которой лежит струйный аппарат с соплом и камерой смешения цилиндрической формы с их последовательным осевым расположением, периферийная часть при этом разрушается механическим вооружением лопастного [9] и дробового [39] типов. Однако данные конструкции имеют недостатки, связанные с комбинированным разрушением забоя скважины: износ механического вооружения снаряда, необходимость во вращении и осевой нагрузке, сложность управления за процессом бурения.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Анализ факторов, определяющих эффективность бурения

Механическая скорость бурения шароструйным способом определяется множеством факторов. Разработанная автором классификация факторов представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Классификация факторов, определяющих эффективность шароструйного бурения

Задачу оптимизации процесса шароструйного бурения можно решить путем нахождения оптимальных геометрических параметров снаряда и технологических параметров режима бурения. Таким образом, необходимо было разработать конструкцию лабораторного стенда, который бы обеспечивал возможность варьирования данных параметров.

2.2. Лабораторный стенд для проведения исследований

При разработке лабораторного стенда к нему предъявлялись следующие требования:

- обеспечение замкнутой циркуляции рабочей жидкости;
- реализация системы очистки рабочей жидкости от шлама;
- возможность крепления образца разрушаемого материала;
- возможность визуального наблюдения и видеосъемки процессов всасывания и перемещения шаров;
- возможность регулирования расхода подаваемой к снаряду рабочей жидкости;
- возможность задания необходимого расстояния от снаряда до образца разрушаемого материала и плавного спуска инструмента в модель скважины по мере ее углубления;
- обеспечение центровки снаряда в модели скважины.

Для проведения экспериментальных исследований был спроектирован и изготовлен лабораторный стенд [46] в масштабированном варианте, схема которого представлена на рисунке 4.

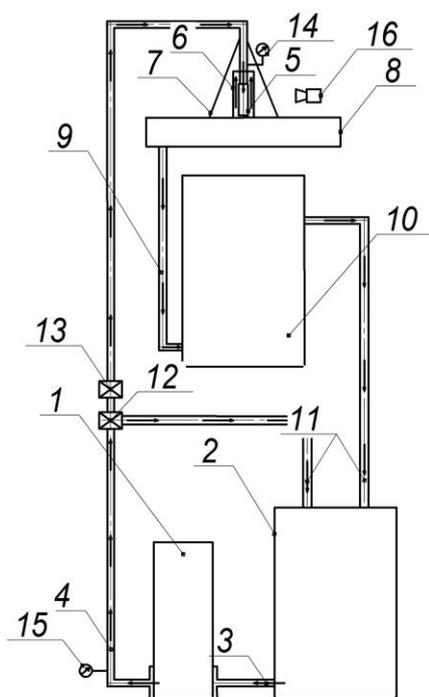


Рисунок 4 – Схема стенда:

- 1 – насос;
- 2 – сливная емкость;
- 3 – всасывающая магистраль;
- 4 – нагнетательная магистраль;
- 5 – гидромониторно-эжекторный буровой снаряд;
- 6 – стакан;
- 7 – механизм подачи снаряда;
- 8 – поддон;
- 9 – сливная магистраль;
- 10 – отстойник;
- 11 – сливная магистраль;
- 12 – трехходовой кран;
- 13 – расходомер;
- 14, 15 – манометры;
- 16 – видеокамера

Разработанный стенд имеет замкнутую систему циркуляции промывочной жидкости. Насос 1 подаёт рабочую жидкость по напорной магистрали 4 к гидромониторно-эжекторному буровому снаряду 5, которое удерживается и перемещается с помощью механизма подачи 7. Отраженная от забоя жидкость с продуктами разрушения поднимается по стакану 6, который имитирует скважину и позволяет наблюдать за процессом движения породоразрушающих частиц в затрубном пространстве. После выхода из стакана жидкость со шламом сливается в поддон 8, затем по сливной магистрали 9 – в отстойник 10, где происходит осаждение шлама. Далее жидкость самотеком переливается по сливной магистрали 11 в сливную емкость 2, откуда через всасывающую магистраль 3 вновь закачивается насосом. Для регулирования расхода жидкости, измеряемого расходомером 13, в напорной магистрали 4 установлен трехходовой кран 12, через который жидкость сливается по обратной магистрали 11 в сливную емкость 2. Для измерения перепада давления в напорной магистрали после насоса и перед снарядом установлены манометры 14, 15. Для видеорегистрации процесса бурения напротив стакана размещена видеокамера 16.

Общий вид лабораторного стенда представлен на рисунке 5. На поддон 1 устанавливается стакан 10, фиксируемый специальным зажимом 3. Стакан предназначен для размещения образца разрушаемого материала и визуального наблюдения за процессом всасывания и перемещения частиц. На поддон крепится стойка 5, в верхней части закрепляемая кронштейном 4. С целью задания необходимого расстояния от снаряда до образца разрушаемого материала и обеспечения возможности плавного спуска инструмента в модель скважины по мере ее углубления на стойке установлен механизм подачи снаряда 6 на основе фрикционной реечной передачи с маховиком 12. Жидкость подводится через напорную магистраль 7 и переводник 8 к снаряду 9, производит полезную работу и с продуктами разрушения истекает из стакана в поддон и далее направляется в сливную магистраль 2. Для измерения давления в напорной магистрали перед

снарядом установлен манометр 11. Для принудительной подачи шаров в технологические окна в конструкцию эжекторного снаряда включено задерживающее устройство 13 конусной формы, которое вместе с центратором 14 центрирует снаряд в стакане 10.

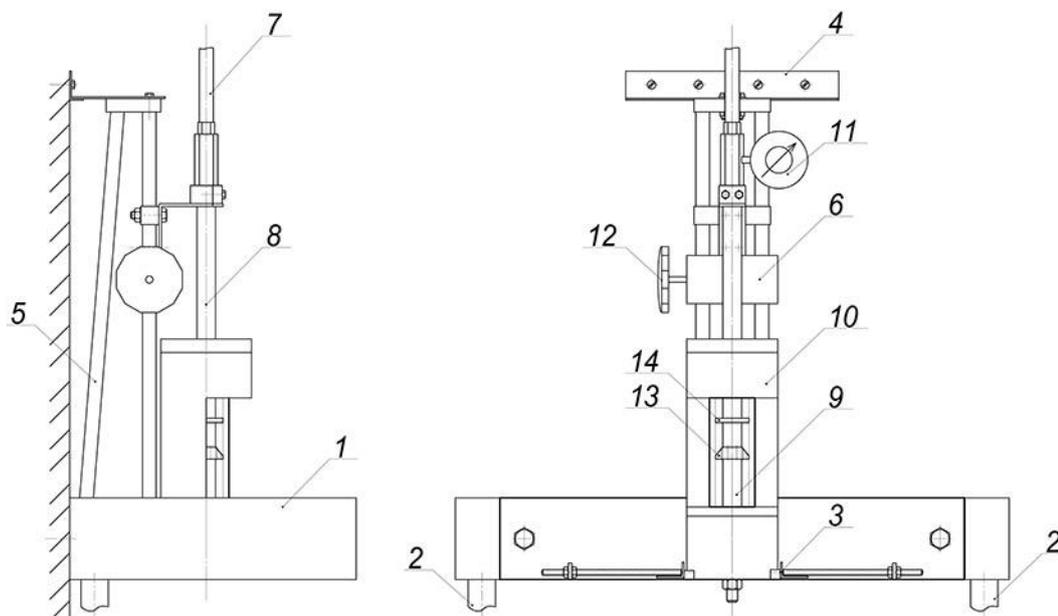


Рисунок 5 – Общий вид лабораторного стенда: 1 – поддон; 2 – сливная магистраль; 3 – зажим стакана; 4 – кронштейн; 5 – стойка; 6 – механизм подачи снаряда; 7 – напорная магистраль; 8 – переводник; 9 – гидромониторно-эжекторный буровой снаряд; 10 – стакан; 11 – манометр; 12 – маховик для управления механизмом подачи; 13 – задерживающее устройство; 14 – центратор

На рисунке 6 представлен стакан для размещения образца разрушаемого материала и визуального наблюдения за движением шаров. В средний цилиндр 4 стакана устанавливается образец горной породы 7, который поджимается с помощью нижнего цилиндра 6. Для наблюдения процесса циркуляции шаров в среднем цилиндре стакана имеется смотровое окно, а во внутреннюю часть устанавливается прозрачная труба 5, поджимаемая верхним цилиндром 2 стакана. В верхнем цилиндре выполнен отвод жидкости 3, а также имеется посадочное место под манжету 8, которая удерживается нажимной гайкой 1.

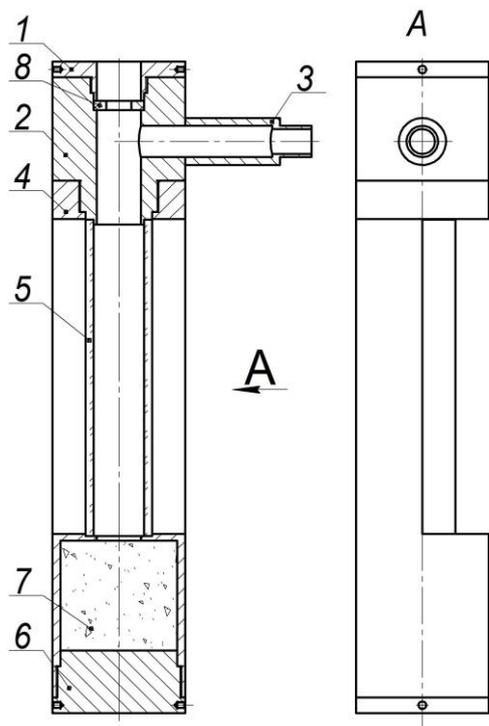


Рисунок 6 – Стакан для размещения образца горной породы:

- 1 – нажимная гайка;
- 2 – верхний цилиндр стакана;
- 3 – отвод;
- 4 – средний цилиндр стакана;
- 5 – прозрачная труба;
- 6 – нижний цилиндр стакана;
- 7 – образец горной породы;
- 8 – манжета

Для исследования влияния геометрических параметров бурового снаряда на эффективность шароструйного бурения он выполнен с возможностью смены основных узлов (рисунок 7).

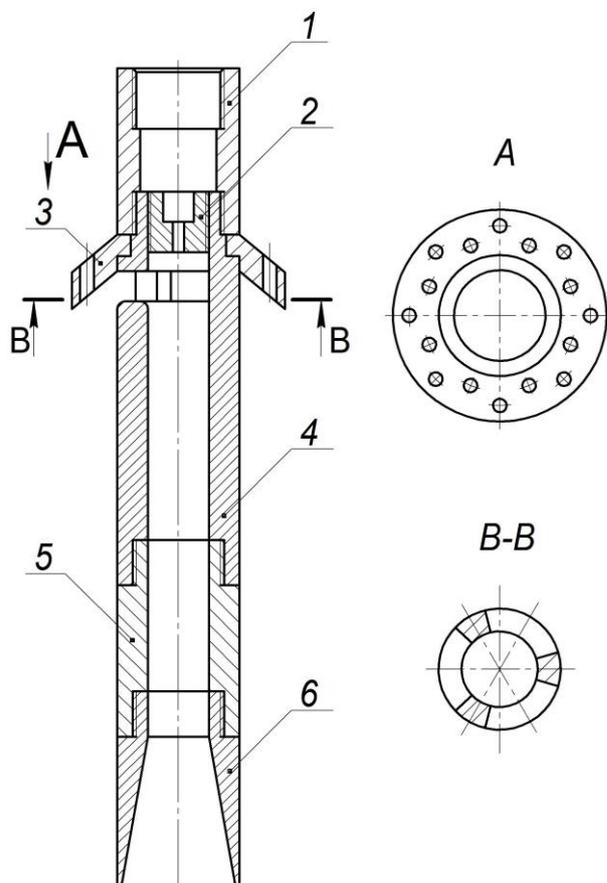


Рисунок 7 – Конструкция шароструйно-эжекторного бурового снаряда:

- 1 – переходник на нагнетательную магистраль;
- 2 – сопло;
- 3 – задерживающее устройство;
- 4 – камера всасывания;
- 5 – камера смешения;
- 6 – диффузор

2.3. Методика проведения экспериментальных исследований

Напорная магистраль соединяется переводниками со снарядом. Для герметичности резьбовых соединений используется лента ФУМ. Проводится испытание на герметичность собранных элементов. Производится сборка стакана. Для этого в нижний цилиндр стакана на опорные диски устанавливается образец разрушаемого материала. Образец поджимается средним цилиндром стакана при его свинчивании с нижним. Записываются входные параметры эксперимента в «дневник проведения экспериментов». С помощью электронных весов навешивается необходимая масса порции шаров требуемого диаметра. Далее порция шаров высыпается в стакан на образец разрушаемого материала. Поворотом маховика механизма подачи снаряда опускается в стакан. С помощью зажимов стакан крепится к коробу. Маховиком механизма подачи устанавливается требуемое расстояние между снарядом и забоем.

Нажатием кнопки «Пуск» включается насос, при выходе жидкости из снаряда включается секундомер. В течение запланированного времени производится бурение. Нажатием кнопки «Стоп» останавливается насос.

Поворотом маховика механизма подачи поднимается снаряд, раскручиваются зажимы стакана. Извлекаются шары из стакана в специальный короб с ветошью, тщательно протираются, высыпаются в емкость для хранения. Откручивается средний цилиндр стакана от нижнего, извлекается образец разрушаемого материала, на который наносится номер согласно «дневнику проведения экспериментов».

Геометрические параметры скважины (рисунок 8) пробуренной керамической плитки определялись методом слепка с помощью пластического материала. Для этого в воронку разрушения задавливался пластилин, который принимал ее форму. Излишек материала срезался лезвием бритвы. Далее пластилин извлекался, измерялась максимальная высота слепка, которая равна глубине скважины $h_{скв}$. Также замерялся

верхний диаметр слепка, который равен диаметру скважины $D_{скв}$. После извлечения слепка он взвешивался на аналитических весах с точностью до 1 мг. По весу и плотности вычислялся объем слепка $V_{скв}$. При необходимости рассчитывались линейная и объемная скорости разрушения, а также исследовалась форма слепка пластилина, которая отображает форму криволинейного забоя.

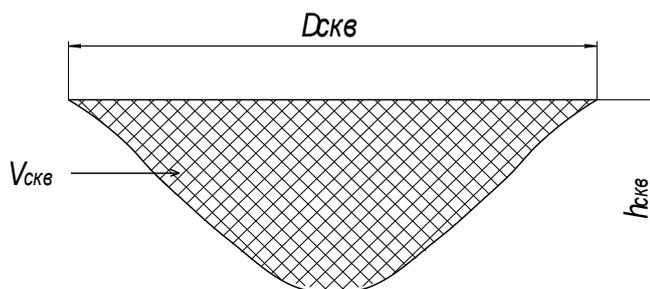


Рисунок 8 – Измеряемые геометрические параметры криволинейного забоя

Линейная скорость перемещения нижней точки забоя $V_{лин}$ и объемная скорость разрушения $V_{об}$ определялась по формулам:

$$V_{лин} = h_{скв}/t, \quad (1)$$

$$V_{об} = V_{скв}/t, \quad (2)$$

где t – время бурения, с; $h_{скв}$ – глубина скважины; $V_{скв}$ – объем скважины .

В таблице 2 приведены формулы, используемые для статической обработки экспериментальных данных.

Таблица 2 – Формулы расчетных параметров для статической обработки экспериментальных данных

Расчетный параметр	Среднее арифметическое	Дисперсия	Среднее квадратичное отклонение	Коэффициент вариации
Формула	$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$	$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [A_i - \bar{A}]^2$	$\sigma = \sqrt{D}$.	$v = \frac{\sigma}{\bar{A}} \cdot 100\%$
где A_i – значение измеряемого параметра в i -ой серии, n – число опытов				

Бурение скважин в образцах мрамора проводилось по методике, обеспечивающей поддержание необходимого расстояния между снарядами и забоем при расхаживании бурового снаряда. После проходки определенного

интервала (рисунок 9, б) буровой снаряд кратковременно опускается на забой скважины (рисунок 9, в) и поднимается до запланированного расстояния между снарядом и забоем (рисунок 9, г). Расхаживание производится с периодичностью $t_{рас}$. После поднятия снаряда с помощью специальной шкалы на стойке измерялась проходка.

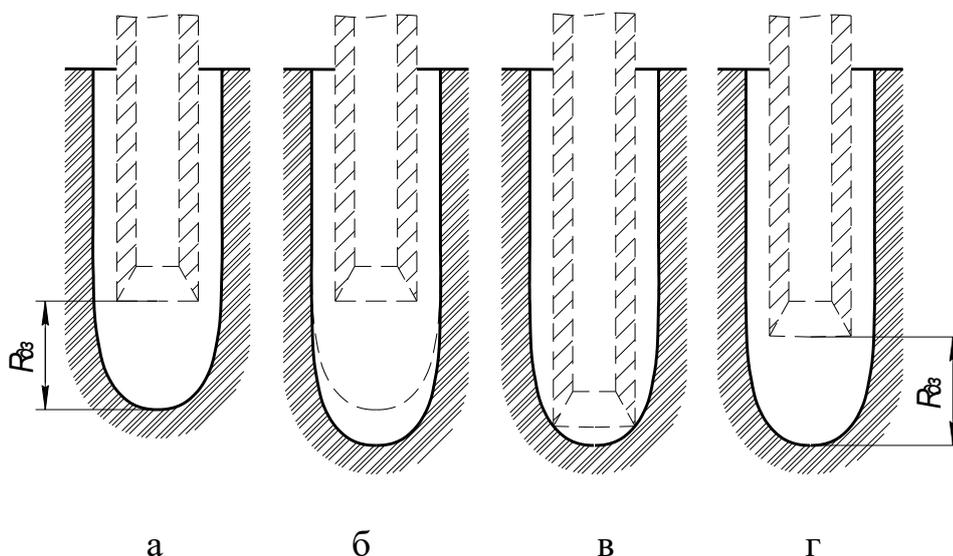


Рисунок 9 – Схема поддержания оптимального расстояния между снарядом и забоем путем расхаживания бурового снаряда

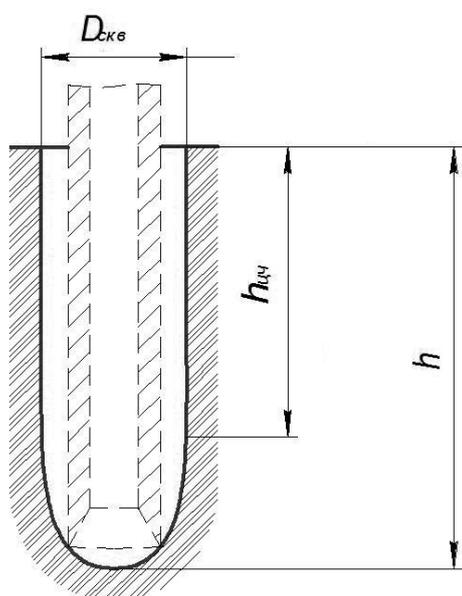


Рисунок 10 – Геометрические параметры скважины:

$D_{скв}$ – диаметр скважины;
 h – глубина скважины;
 $h_{цч}$ – длина цилиндрической части скважины.

По истечении времени бурения t замерялись геометрические параметры скважины (рисунок 10). Для этого измерного цилиндра удалялась вода в скважину. Объем воды, заполнившей скважину, являлся объемом скважины. Далее с помощью камнерезного станка от пробуренного образца отрезалась половина образца в продольном сечении. Далее замерялись диаметр скважины $D_{скв}$ и глубина скважины h , глубина цилиндрической части $h_{цч}$. Также сканировалась форма скважины.

2.4. Исследование влияния технологических параметров на эффективность шароструйного бурения

2.4.1. Расстояние между снарядом и забоем

Было проведено исследование влияния расстояния между снарядом и забоем на эффективность разрушения при забурке скважины и при бурении с опусканием бурового снаряда. Исходные параметры проведения экспериментов представлены в таблице 3.

При забурке скважины в образцах мрамора установлено, что с увеличением расстояния между снарядом и забоем объем горной породы, выбуренной за данный интервал времени, уменьшается (рисунок 11). Изменение формы забоя при увеличении расстояния между снарядом и забоем представлено на рисунке 12.

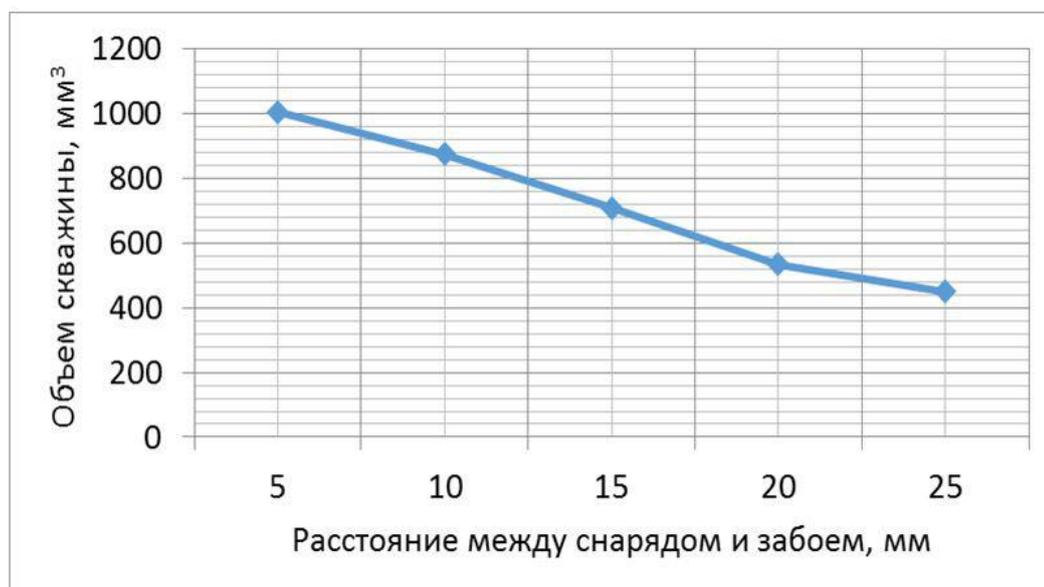


Рисунок 11 – Зависимость объема скважины от расстояния между снарядом и забоем при забурке скважины

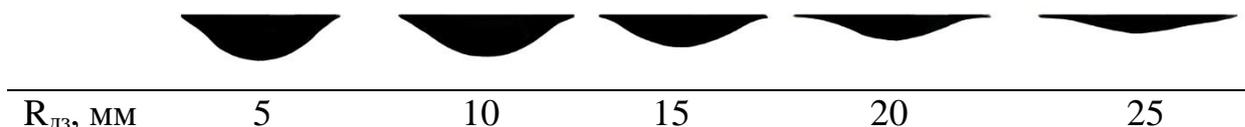


Рисунок 12 – Изменение формы криволинейной части забоя при увеличении расстояния между снарядом и забоем при забурке скважины

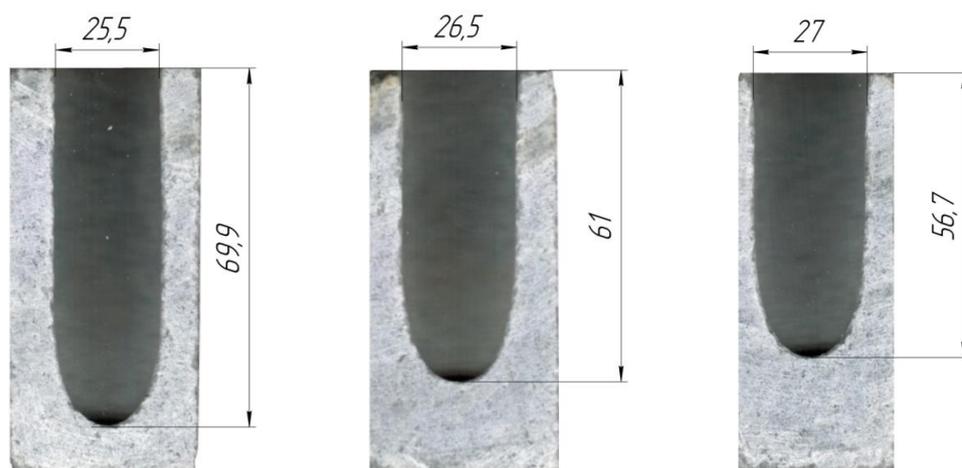
Полученные зависимости подтверждены при бурении скважин в образцах мрамора с опусканием бурового снаряда в процессе бурения. По

окончанию бурения замерялись геометрические параметры скважин. Полученные результаты представлены в таблице 3 и на рисунке 13.

Таблица 3 – Варьирование расстояния между снарядом и забоем скважины

Расстояние между снарядом и забоем $R_{\partial з}$, мм	Геометрические параметры скважин			
	Объем скважины, мм ³	Диаметр скважины, мм	Длина цилиндрической части скважины, мм	Общая глубина скважины, мм
5	31800	25,5	52	69,9
10	29800	26,5	44	61
15	27000	27	36	56,7

Исходные параметры: диаметр шаров $D_{ш}=3$ мм; масса порции шаров $m_{ш}=25$ г; диаметр сопла $d_c=2$ мм; диаметр камеры смешения $d_{кс}=8$ мм; длина камеры смешения $l_{кс}=82$ мм; угол раскрытия диффузора $\alpha_{р\partial}=10^\circ$; время бурения $t=2$ мин; расход жидкости при истечении из сопла $Q_c=6,7$ л/мин; давление перед соплом $P_c=1$ МПа.

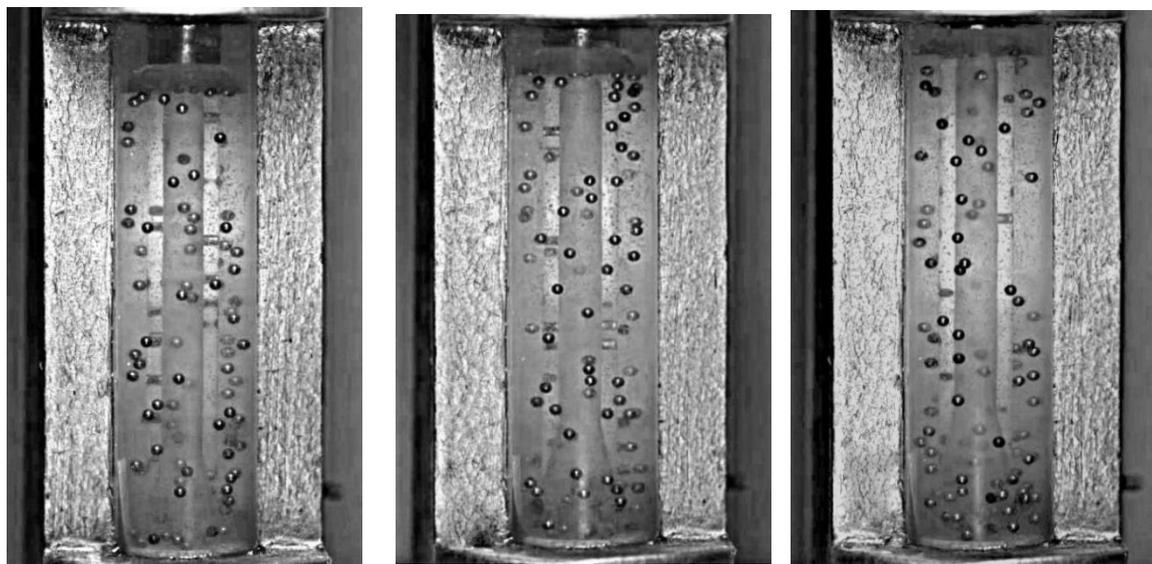


$R_{\partial з}$, мм	5	10	15
-----------------------	---	----	----

Рисунок 13 – Профиль скважин, пробуренных при варьировании расстояния между снарядом и забоем скважины

Высокоскоростная съемка позволила обосновать полученные результаты. В области под буровым снарядом наблюдаются скопления шаров, которые не могут быстро ее покинуть. Причем при увеличении расстояния между снарядом и забоем скоплений больше (рисунок 14), что в свою очередь приводит к уменьшению расхода шаров в камере смешения. Взаимодействие нисходящего и отраженного потоков при малом расстоянии ведет к тому, что шары, отскочившие от горной породы, быстрее

направляются в затрубное пространство, а при большом расстоянии – падающие шары бомбардируют шары, отскочившие от горной породы, что ведет к их скоплениям под снарядом.



$R_{дз},$ мм	5	10	15
-----------------	---	----	----

Рисунок 14 – Кадры, иллюстрирующие концентрацию шаров в затрубном пространстве при варьировании расстояния между снарядом и забоем

2.4.2. Масса порции шаров

На следующем этапе было проведено исследование влияния массы порции шаров на эффективность разрушения керамической плитки. Исходные параметры сохранены. Расстояние между снарядом и забоем $R_{дз}$ – 10 мм.

Установлено, что при увеличении массы порции шаров выбуренной за данный интервал времени объем породы сначала увеличивается, а стремительно падает, что говорит о наличии оптимального значения массы порции шаров для конкретных условий бурения (рисунок 15). Дальнейшее повышение массы порции шаров приводит к снижению объема выбуренной горной породы. При высоком значении массы порции шаров бурение прекращается из-за их заклинивания в затрубном пространстве.

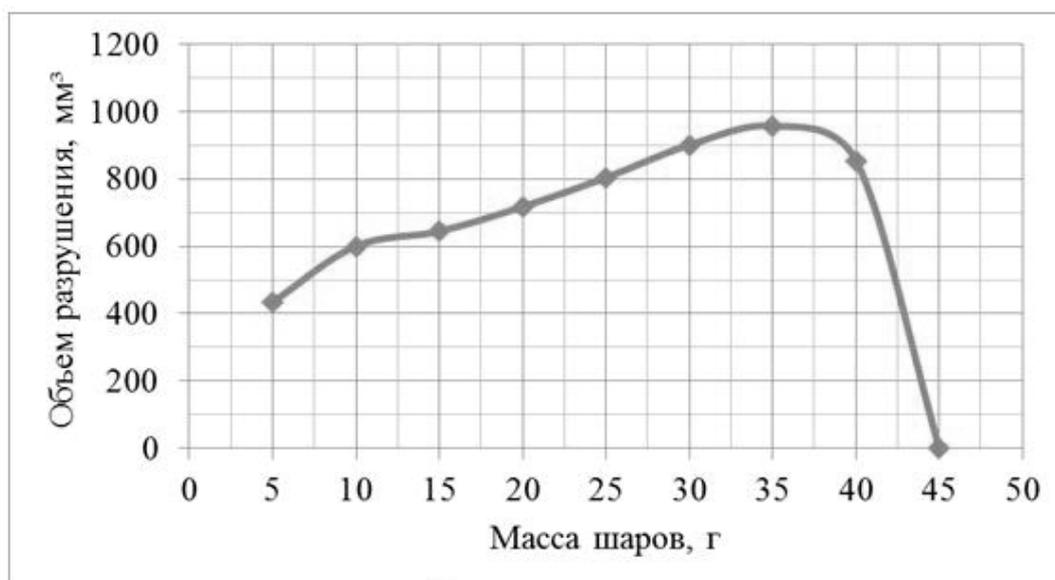


Рисунок 15 – Зависимость объема скважины от массы порции шаров

Исследование влияния массы порции шаров на эффективность разрушения проводилось при бурении скважин в образцах мрамора при опускании снаряда. Установлено, что с увеличением массы порции шаров увеличивается диаметр скважины, ее глубина и объем (таблица 4). То есть подтверждаются зависимости, полученные при забурке скважин с образованием криволинейного забоя.

Таблица 4 – Варьирование массы порции шаров

Масса порции и шаров $m_{ш}$, Г	Геометрические параметры скважин			
	Объем скважины $V_{скв}$, мм ³	Диаметр скважины $D_{скв}$, мм	Длина цилиндрической части скважины $h_{цч}$, мм	Общая глубина скважины h , мм
10	11900	25	20	36
20	18000	25,5	30,5	49
30	24000	26,5	42	57
40	28500	26,5	48,5	62

Была проведена видеорегистрация процесса бурения высокоскоростной камерой. При превышении оптимального значения массы порции шаров наблюдается их скопление перед впускными окнами под задерживающим устройством. По достижению критической массы шары подклиниваются под действием прижимной силы, что ведет к прекращению их циркуляции и процесса бурения.

2.4.3. Диаметр используемых шаров

Было проведено исследование влияния диаметра шаров на эффективность шароструйного бурения при забурке скважины с образованием криволинейного забоя. В связи с тем, что при использовании шаров различных диаметров оптимальная масса порции шаров будет иметь разные значения, исследования проводились при варьировании массы порции шаров. Исходными параметрами являлись: $d_{кс}=8$ мм, $d_c=2$ мм, $R_{скс}=6$ мм, $l_{кс}=92$ мм, $\alpha_p=10^\circ$, $R_{дз}=10$ мм, $Q_c=6,7$ л/мин, $P_c=1,1$ МПа, разрушаемый материал: керамическая плитка, конусное задерживающее устройство, $t=2$ мин.

На рисунке 16 представлены график зависимости объема скважины от массы порции шаров. При бурении шарами диаметром 2,5 мм наблюдались значительные их скопления в затрубном пространстве под задерживающим устройством, в связи с чем было принято решение о нецелесообразности их дальнейшего исследования. Установлено, что в ряду диаметров используемых шаров 2–3–3,5 мм значение оптимальной массы порции шаров имеет одинаковое значение: 30 г. Диаметр скважины и ее объем при оптимальной массе шаров в ряду диаметров 2–3–3,5 мм имеют почти одинаковую величину.

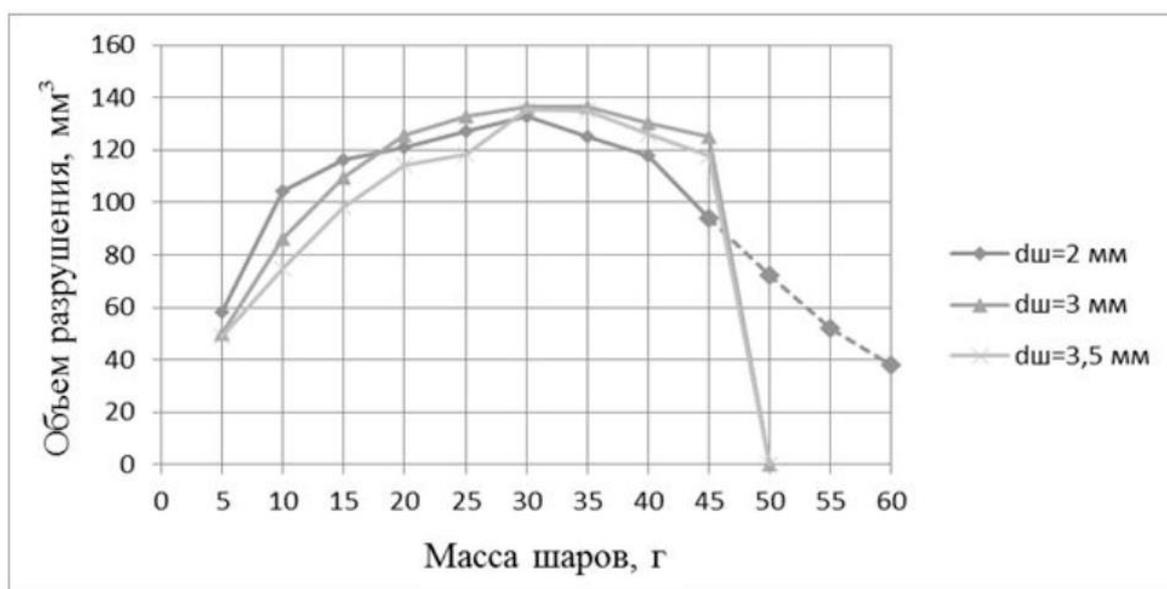


Рисунок 16 – Зависимость объема скважины от веса порции шаров

Было проведено исследование влияния диаметра шаров на эффективность разрушения мрамора при бурении скважин с опусканием снаряда с периодичностью $t_{оп}$. По окончании бурения замерялись геометрические параметры скважин (таблица 5) и сканировалась их форма. Установлено, что при увеличении диаметра шаров увеличивается диаметр скважины, ее глубина и объем.

Таблица 5 – Влияние диаметра шаров на эффективность шароструйного бурения

Диаметр шаров $D_{ш}$, мм	Объем скважины $V_{скв}$, мм ³	Диаметр скважины $D_{скв}$, мм	Глубина цилиндрической части скважины $h_{цч}$, мм	Полная глубина скважины h , мм
2	19000	23	31,2	49,9
3	26600	23,9	41,6	58,7
3,5	29800	25,8	45,8	63,3

Для интерпретации полученных результатов была проведена высокоскоростная съемка. Обработка полученных видеофрагментов позволила определить расход и скорости шаров в камере смешения при бурении шарами различных диаметров, по которым рассчитана кинетическая энергия, которой обладает шар перед соударением с забоем (таблица 6).

Таблица 6 – Расход шаров и средняя скорость движения шаров различного диаметра на разных участках камеры смешения

Диаметр шаров $D_{ш}$, мм	Расход шаров $Q_{ш}$, ш/с	Общее количество шаров, участвующих в разрушении $N_{ш}$, ш	Средняя скорость движения шара $V_{ср}$, м/с	Средняя кинетическая энергия одного шара $E_{кин}$ при вылете из камеры смешения, мДж
2	1461	304	9,03	2,682
3	529	90	7,95	7,023
3,5	252	57	7,48	9,816

Как видно на полученных видеофрагментах, с уменьшением диаметра шаров возрастает число их соударений друг с другом и снарядом, что ведет к повышению скорости их износа и сжижению КПД шароструйного бурения.

2.5. Исследование влияния геометрических параметров бурового снаряда на эффективность шароструйного бурения

Проведение экспериментальных исследований являлось очень сложным этапом работ в связи с многообразием исследуемых факторов. На втором этапе экспериментальных исследований при оптимальных значениях технологических параметров определялись зависимости влияния различных геометрических параметров ШЭБС (рисунок 17) на эффективность шароструйного бурения.

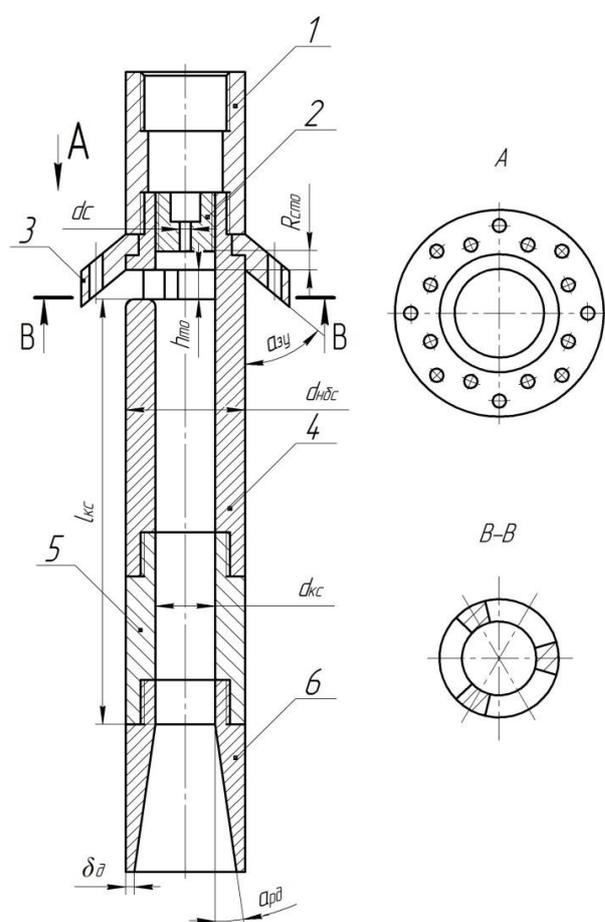


Рисунок 17 – Основные геометрические параметры ШЭБС исследуемой конструкции:

1 – переходник на нагнетательную магистраль;

2 – сопло;

3 – задерживающее устройство;

4 – камера всасывания;

5 – камера смешения;

6 – диффузор;

d_c – диаметр сопла;

$R_{сто}$ – расстояние между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон;

$h_{мо}$ – высота технологических окон;

$\alpha_{зу}$ – угол конусности задерживающего устройства;

$d_{кc}$ – диаметр камеры смешения;

$l_{кc}$ – длина камеры смешения;

$\alpha_{рд}$ – угол раскрытия диффузора;

$h_{д}$ – толщина стенки диффузора в

выходном сечении

2.5.1. Расстояние между соплом и технологическими окнами

При оптимальных значениях расстояния между снарядом и забоем, диаметра и массы порции шаров было проведено исследование влияния величины расстояния между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон $R_{сто}$ на эффективность разрушения керамической

плитки при забурке скважины (рисунок 18) и мрамора при бурении скважин с опусканием бурового снаряда (таблица 7). Изменение формы забоя скважины при этом показано на рисунке 19.

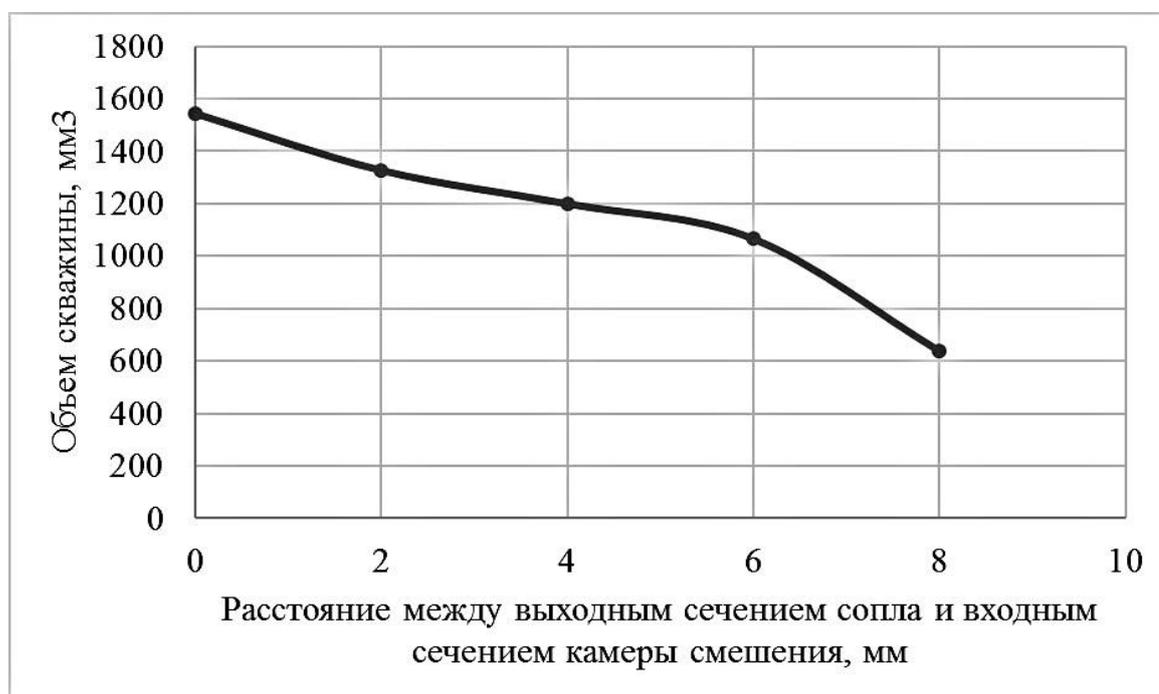


Рисунок 18 – Зависимость диаметра и объема скважины от расстояния между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон

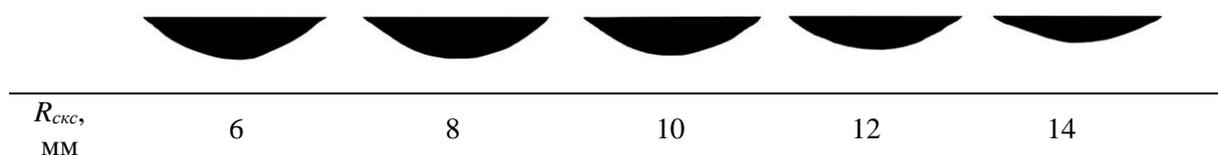


Рисунок 19 – Изменение формы криволинейного забоя при варьировании расстояния между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон

Таблица 7 – Влияние расстояния между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон на эффективность шароструйного бурения

Расстояние между соплом и верхним срезом окон, мм	Объем скважины, мм ³	Диаметр скважины, мм	Длина цилиндрической части скважины, мм	Общая глубина скважины, мм
0	30800	25	57,2	70,8
3	24100	24,9	46	58
6	21370	24,8	39,1	51,2

Исходные параметры: диаметр шаров $D_{ш}=3$ мм; масса порции шаров $m_{ш}=25$ г; диаметр сопла $d_c=2$ мм; диаметр камеры смешения $d_{кc}=8$ мм; длина камеры смешения $l_{кc}=82$ мм; угол раскрытия диффузора $\alpha_{рd}=10^\circ$; время бурения $t=2$ мин; расход жидкости при истечении из сопла $Q_c=6,7$ л/мин; давление перед соплом $P_c=1$ МПа.

Из таблицы 8 видно, что увеличение расстояния $R_{cто}$ в исследуемом диапазоне незначительно влияет на диаметр скважины. Однако объем и глубина скважины при увеличении $R_{cто}$ заметно уменьшаются.

Для выявления причин уменьшения эффективности шароструйного бурения с увеличением расстояния между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон при заданных условиях проведена высокоскоростная съемка. Результаты обработки видеофайлов представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Расход и скорость шаров в камере смешения при разных значениях расстояния между соплом и верхним срезом технологических окон

Расстояние между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон, мм	0	3	6
Расход шаров, ш/с	1084	1055	1050
Скорость шаров в камере смешения, м/с	8,387	7,778	6,457

Полученные результаты показывают, что при увеличении расстояния при относительно постоянном значении расхода шаров их скорость в камере смешения уменьшается. Это связано изменением профиля скоростей потока жидкости в камере смешения. При подъеме сопла профиль скоростей потока жидкости на интервале верхнего среза технологических окон выравнивается. Таким образом, проходя через камеру смешения, шары испытывают меньшее ускорение.

2.5.2. Высота технологических окон

Данные исследования проводились при бурении скважин в мраморе с расхаживанием бурового снаряда с шагом $1,25 \cdot d_{ш} - 1,75 \cdot d_{ш} - 2,25 \cdot d_{ш}$. Полученные результаты сведены в таблице 9. Из таблицы видно, что увеличение высоты окон в исследуемом диапазоне мало влияет на диаметр скважины, а объем и глубина скважины при увеличении высоты окон незначительно уменьшается.

Таблица 9 – Варьирование высоты технологических окон

Высота технологических окон, мм	Объем скважины, мм ³	Диаметр скважины, мм	Длина цилиндрической части скважины, мм	Общая глубина скважины, мм
4,2	34180	25,4	62,9	74,1
6,1	30800	25	57,2	70,8
7,8	28900	25,2	53,3	65,2
Исходные данные: $d_{oc}^H=16$ мм, $d_{kc}=8$ мм, $d_c=2$ мм, $\alpha_{zy}=40^\circ$, $l_{kc}=40$ мм, $\alpha_{po}=10^\circ$, $\delta_d=1$ мм, $d_{ur}=3,5$ мм, $m_{ur}=20$ г, $R_{dz}=5$ мм, $Q_p=6,7$ л/мин, $t_{pac}=5$ мин, $t=40$ мин, горная порода: мрамор, промывочная жидкость: вода				

Для интерпретации полученных результатов была проведена высокоскоростная съемка процесса бурения. Из таблицы 11 видно, что при увеличении высоты технологических окон при относительно постоянном значении расхода шаров их скорость в камере смешения снижается.

Таблица 10 – Расход и скорость шаров в камере смешения при разных значениях высоты технологических окон

Высота технологических окон, мм	4,2	6,1	7,8
Расход шаров в камере смешения, ш/с	1188	1154	1166
Скорость шаров в камере смешения, м/с	9,445	9,226	8,939

Анализ видеофрагментов показал, что с увеличением высоты технологических окон в области под задерживающим устройством увеличивается количество скопившихся шаров. Последнее приводит к уменьшению коэффициента эжекции снаряда, следовательно, уменьшению скорости шаров в камере смешения. Снижением скорости шаров объясняется уменьшение объема и глубины скважины, наблюдаемое в таблице 10.

2.5.3. Длина камеры смешения

Для определения оптимальной длины камеры смешения в ряду длин $5 \cdot d_{kc}$; $7,5 \cdot d_{kc}$; $10 \cdot d_{kc}$; $12,5 \cdot d_{kc}$; $15 \cdot d_{kc}$; $17,5 \cdot d_{kc}$ предварительно были выявлены значения оптимальных масс порции шаров при забурке скважины. Стоит отметить, что оптимальная масса порции шаров при увеличении длины камеры смешения увеличивается.

Экспериментальные исследования влияния длины камеры смешения на эффективность разрушения проводились при бурении скважин в образцах

мрамора с расхаживанием снаряда. Полученные результаты исследований представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Влияние длины камеры смешения на эффективность шароструйного бурения

Длина камеры смешения, мм	Оптимальная масса порции шаров, г	Объем скважины, мм ³	Диаметр скважины, мм	Длина цилиндрической части скважины, мм	Общая глубина скважины, мм
40	20	32000	25,6	57	70,3
60	25	30800	25	57,2	70,8
80	30	29200	24,6	53,3	66,8
100	30	28600	24,2	52,7	66
120	35	27600	24,2	51,9	65,5
140	35	24500	23,8	47	61,2

Исходные данные: $d_{oc}^H=16$ мм, $d_{kc}=8$ мм, $d_c=2$ мм, $\alpha_{zy}=40^\circ$, $h_{mo}=6,1$ мм, $\alpha_{pd}=10^\circ$, $\delta_d=1$ мм, $d_{ш}=3,5$ мм, $R_{dз}=5$ мм, $Q_p=6,7$ л/мин, $t_{pac}=5$ мин, $t=40$ мин, горная порода – мрамор, промывочная жидкость – вода

Полученные результаты позволили построить график зависимости объема и глубины скважины от длины камеры смешения (рисунок 20). Анализ графиков показывает, что с увеличением длины камеры смешения объем выбуренной горной породы снижается. Максимальная глубина скважины зафиксирована при бурении буровыми снарядами с длиной камеры смешения, равной 40 и 60 мм.

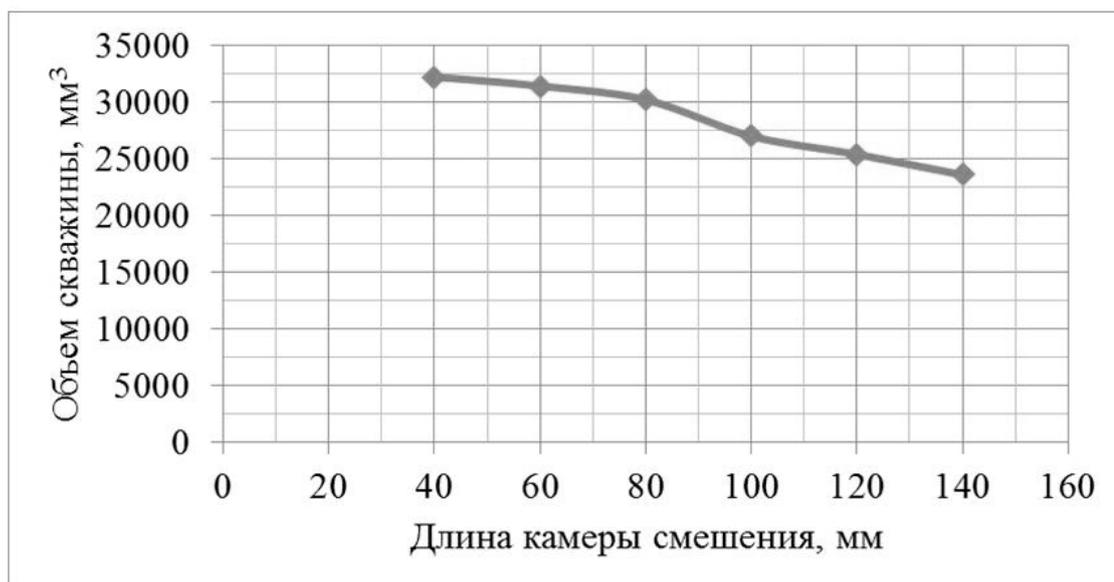


Рисунок 20 – Зависимость глубины скважины от длины камеры смешения

Для анализа вышеописанных результатов была проведена высокоскоростная съемка процесса бурения, результаты которой представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Расход и скорость шаров в камере смешения при разных значениях ее длины

Длина камеры смешения, мм	40	60	80
Расход шаров в камере смешения, шт/с	1084	1020	967
Скорость шаров в камере смешения, м/с	8,387	7,597	7,361

Анализ результатов, представленных в таблице 12, указывает на уменьшение скорости шаров в камере смешения при увеличении ее длины, что объясняется большим количеством соударений шаров о ее стенки. Данный вывод хорошо согласуется с результатами американских исследователей [75], которые показали, что увеличение длины камеры смешения ведет к снижению коэффициента эжекции. Снижение скорости шаров в камере смешения приводит к уменьшению скорости их подъема в затрубном пространстве, следовательно, снижению расхода шаров.

2.5.4. Угол раскрытия диффузора

Исследования влияния угла раскрытия диффузора на эффективность разрушения мрамора проводились при бурении скважин с опусканием снаряда с периодичностью $t_{рас}$.

Исходные данные: $d_{bc}^H=16$ мм, $d_{kc}=8$ мм, $d_c=2$ мм, $\alpha_{zy}=40^\circ$, $h_{mo}=4,2$ мм, $l_{bc}=60$ мм, $\delta_o=1$ мм, $d_{ui}=3,5$ мм, $m_{ui}=20$ г, $R_{o3}=5$ мм, $Q_p=6,7$ л/мин, $t_{рас}=5$ мин, $t=30$ мин, горная порода – мрамор, промывочная жидкость – вода

Геометрические параметры скважины представлены в таблице 13.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при угле раскрытия диффузора 10° диаметр, глубина и объем скважины имеют максимальные значения. Диаметр скважины с увеличением угла раскрытия диффузора уменьшается.

Таблица 13 – Влияние угла раскрытия диффузора на эффективность шароструйного бурения

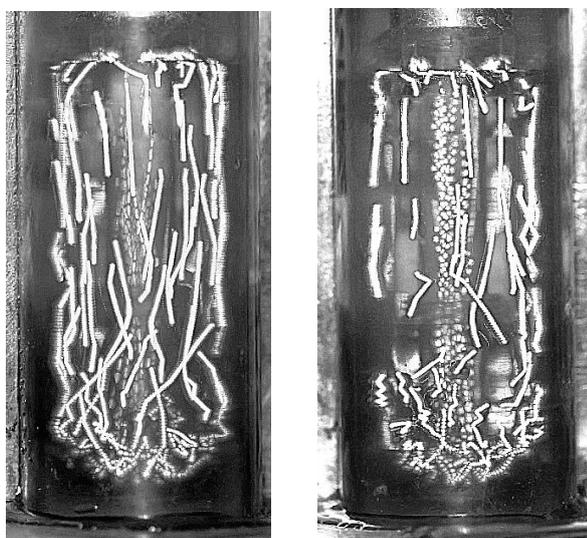
Угол раскрытия диффузора, °	Объем скважины, мм ³	Диаметр скважины, мм	Длина цилиндрической части скважины, мм	Общая глубина скважины, мм
10	28600	25,3	50,4	62,5
20	21370	24,9	38,4	52
30	21516	24	40,9	53,6
0	21010	23,7	41,2	54,1

На следующем этапе была проведена видеорегистрация процесса движения шаров в призабойной зоне скважины при варьировании углов раскрытия диффузора. Результаты высокоскоростной съемки представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Расход и скорость шаров в камере смешения при разных значениях углов раскрытия диффузора

Угол раскрытия диффузора, град	10	20	30	0
Расход шаров в камере смешения, шт/с	1084	1041	1011	890
Скорость шаров в камере смешения, м/с	8,387	7,668	6,884	6,728

Полученные данные показывают, что в ряду углов раскрытия диффузора 10°–20°–30°–0° уменьшается расход шаров в камере смешения, что связано с образованием скоплений шаров между буровым снарядом и забоем скважины (рисунок 21). Уменьшение скорости шаров в камере смешения связано с возрастанием количества рикошетов о стенки бурового снаряда в нижней области.



α_{pd}

10°

0°

Рисунок 21 – Изображения, иллюстрирующие движение шаров в затрубном пространстве

Анализируя результаты скоростных съемок, можно заметить, что уменьшение диаметра скважины связано с траекторией движения шаров в буровом снаряде. В ряду углов раскрытия диффузора 10° – 20° – 30° – 0° условия соударения шаров с периферийной частью забоя скважины усложняются. Кроме того, сопоставление реальных геометрических размеров снаряда, шаров и расстояния между снарядом и забоем скважины, а также наблюдения за траекторией шаров показало, что разрушение периферийной части забоя скважины обуславливается рикошетами отскокивших от породы шаров с поступающими на забой шарами. Это еще раз подтверждает необходимость бурения с минимальным расстоянием между снарядом и забоем.

2.5.5. Диаметр сопла

На следующем этапе проводилось сравнение эффективности разрушения снарядами с различными диаметрами сопел. В связи с необходимостью определения оптимальной массы порции шаров эксперименты проводились при ее варьировании. При этом производилась забурка скважины при следующих условиях: $d_{\text{бс}}^{\text{н}}=16$ мм, $d_{\text{кс}}=8$ мм, $\alpha_{\text{зв}}=40^{\circ}$, $h_{\text{мо}}=4,2$ мм, $l_{\text{кс}}=40$ мм, $\alpha_{\text{пд}}=10^{\circ}$, $\delta_{\text{д}}=1$ мм, $d_{\text{ш}}=3,5$ мм, $R_{\text{дз}}=5$ мм, $t=1$ мин, разрушаемый материал – керамическая плитка.

По полученным экспериментальным результатам построен график зависимости объема скважины от массы порции шаров при различных значениях диаметра сопел, представленный на рисунке 22.

Приведенный на рисунке 22 график показывает, что в ряду диаметров сопел 2–2,5–3–3,5 мм объем скважины возрастает, а при диаметре сопла 4 мм – снижается. Вместе с тем, критическая масса порции шаров при диаметрах сопел, равных 3,5 и 4 мм, падает, что связано с более низкими значениями коэффициента эжекции. Важным является тот факт, что оптимальная масса порции шаров в исследуемом диапазоне изменения диаметра сопел является постоянной.

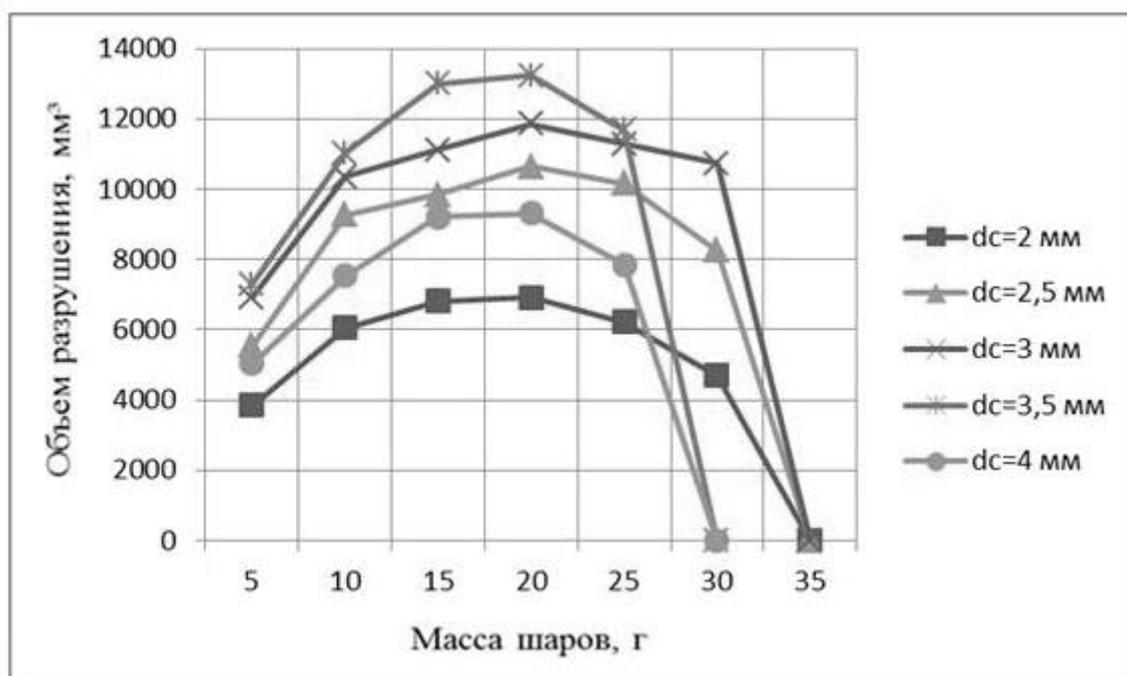


Рисунок 22 – Зависимость объема скважины от массы порции шаров при различных значениях диаметра сопел

На следующем этапе исследований была проведена высокоскоростная съемка процесса циркуляции шаров в призабойной зоне. Обработка полученных видеофрагментов позволила определить расход и скорости шаров в камере смешения при бурении снарядами с различным диаметром сопел (таблица 15).

Анализируя результаты скоростных съемок, можно заметить, что в ряду диаметров сопел 2–2,5–3–3,5 мм увеличивается скорость движения шаров в камере смешения, что объясняется увеличением скорости смешанного потока жидкости в камере смешения.

Таблица 15 – Влияние диаметра сопла на расход и скорость шаров в камере смешения

Диаметр сопла, мм	2	2,5	3	3,5	4
Расход шаров в камере смешения, шт/с	1084	1118	1224	1368	1120
Скорость шаров в камере смешения, м/с	8,387	9,445	9,616	10,015	8,046
Рассчитанная скорость жидкости без шаров, м/с	10,151	10,889	11,777	13,973	10,05
Отношение скорости шаров к скорости жидкости	0,826	0,867	0,816	0,716	0,8

Увеличение скорости шаров в камере смешения приводит к увеличению их расхода. Таким образом, экспериментально подтвердились предположения Увакова А.Б. [72, 73] и Заурбекова С.А. [24]. Это связано с тем, что в момент подсосывания шаров в технологические окна при больших скоростях смешанного потока шары быстрее покидают верхнюю область бурового снаряда, не препятствуя поступлению других шаров.

На основе результатов высокоскоростной съемки удалось определить отношение скорости движения шаров к скорости промывочной жидкости в камере смешения (таблица 16). Следует отметить, что при диаметре сопла, равном 3,5 мм, наблюдается уменьшение данного отношения, что объясняется значительным увеличением расхода шаров.

2.6. Выводы и рекомендации

Полученные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы и рекомендации для проведения последующих исследований и опытно-конструкторских работ.

Технологические параметры режима бурения:

- при увеличении этого параметра диаметр скважины возрастает выше требуемого значения, а механическая скорость бурения снижается. Таким образом, расстояние между снарядом и забоем должно быть минимально возможным.

- с увеличением массы порции шаров механическая скорость бурения возрастает, а диаметр скважины почти не изменяется. Однако, при превышении определенного значения скорость проходки значительно снижается, вплоть до прекращения процесса бурения. Таким образом, масса порции шаров должна быть максимально возможной, но не больше критического значения, выше которого бурение не осуществляется. Критическое значение массы порции шаров может быть определено расчетным путем;

- с увеличением диаметра используемых шаров закономерно увеличивается их масса, и как следствие, кинетическая энергия, которой обладают шары перед соударением с забоем, а общее количество шаров, участвующих в процессе бурения уменьшается. Установлено, что с увеличением диаметра шаров снижаются потери энергии на их соударение друг с другом, а объемное разрушение горной породы при единичном соударении шара с забоем возрастает. Таким образом, рекомендуется использовать шары максимально возможного диаметра.

Геометрические параметры:

- нижний торец сопла должен совпадать по высоте с верхним срезом технологических окон. При таком расположении шары, проходящие через камеру смешения испытывают большее ускорение за счет увеличения величины коэффициента эжекции;

- впускные окна должны иметь минимально возможную высоту, обеспечивающую свободное прохождение шаров. При увеличении высоты впускных окон прохождению шаров в камеру смешения препятствует струя жидкости, истекающая из сопла;

- выбор длины камеры смешения будет зависеть от продолжительности рейса. С увеличением длины камеры смешения эффективность бурения несколько снижается, однако увеличивается величина проходки на долото, за счёт более медленного износа шаров.

- угол раскрытия диффузора должен быть минимально возможным для обеспечения разрабатываемости периферийной части забоя;

- при использовании центробежных насосов стоит выбирать диаметр сопла, обеспечивающий наибольший расход жидкости в камере смешения, который зависит от расхода насоса и коэффициента эжекции.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Разработка улавливающе-подпитывающего устройства

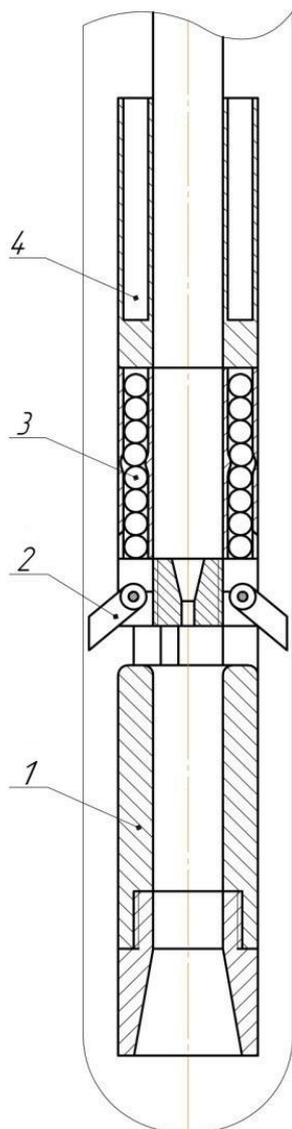


Рисунок 23 – Схема компоновки низа буровой колонны с улавливающе-подпитывающим устройством:
1 – буровой снаряд;
2 – задерживающее устройство;
3 – забойный шаропитатель;
4 – забойный шароуловитель

При существенной продолжительности рейса стоит учитывать фактор износа шаров во время бурения, поэтому становится необходимой их периодическая замена.

Высокая трудоемкость, низкая надежность и значительные потери времени на спуско-подъемные операции при выполнении операций по замене изношенных шаров новыми требуют разработки технических средств, обеспечивающих повышение рейсовой скорости бурения. Так, представляется возможной разработка устройства, способного наряду с заменой изношенных шаров новыми спускать шары на забой и поднимать их с забоя скважины вместе с буровым снарядом. Исходя из целевого назначения предлагаемого устройства, назовем его улавливающе-подпитывающим.

Принципиальная конструкция предлагаемого устройства представлена на рисунке 23. Устройство представляет собой модульную конструкцию, состоящую из складывающегося задерживающего устройства, съемных шароуловителя и шаропитателя, которые, в свою очередь соединяются с шароструйным аппаратом. Преимуществами модульной конструкции являются:

- возможность взаимозаменяемости элементов;
- возможность многократной сборки/разборки и смены места положения;

- удобство при транспортировке и монтаже.

Принцип работы УПУ заключается в выполнении следующей последовательности технологических операций:

1. спуск представленной компоновки низа бурильной колонны до забоя скважины (при этом задерживающее устройство находится в транспортном положении);

2. воздействие на забойный шаропитатель с целью подачи на забой первой порции шаров;

3. воздействие на задерживающее устройство (ЗУ), перевод его в рабочее положение;

4. процесс бурения до появления признаков чрезмерного износа шаров;

5. воздействие на ЗУ, перевод его в транспортное положение (при этом лепестки ЗУ перекрывают технологические окна бурового снаряда);

6. включение бурового насоса, подъем шаров до забойного шароуловителя, их улавливание;

7. воздействие на забойный шаропитатель, приводящее к высыпанию второй порции шаров на забой;

8. воздействие на ЗУ, перевод его в рабочее положение;

9. включение насоса, возобновление процесса бурения.

Ввиду того, что предлагаемая схема состоит из элементов, не имеющих на данный момент технической реализации (устройство для подпитки шаров, складывающееся задерживающее устройство), необходимо осуществить разработку их возможных конструкций поотдельности.

3.2. Разработка забойного шаропитателя

На первом этапе конструкторских работ разрабатывалась конструкция забойного шаропитателя. Предложенный забойный шаропитатель, представленный на рисунке 24.

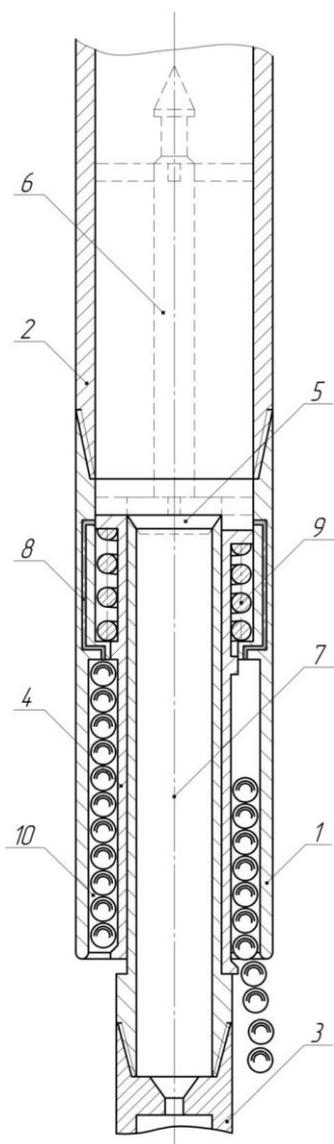


Рисунок 24 – Забойный шаропитатель:

- 1 – корпус; 2 – колонна бурильных труб;
- 3 – ШЭБС;
- 4 – подвижный элемент; 5 – седло;
- 6 – запорный клапан;
- 7 – центральный канал;
- 8 – перепускной канал;
- 9 – пружина; 10 – отсек для размещения шаров

Принцип работы шаропитателя заключается в следующем. Перед спуском шаропитателя в скважину в отсек для размещения шаров 12 засыпаются шары. В процессе бурения через центральный канал 7 корпуса прокачивают буровой раствор. Подвижный элемент 4 удерживается в крайнем верхнем положении пружиной 9. Для осуществления подпитки шаров без остановки циркуляции бурового раствора с устья скважины в колонну бурильных труб 2 сбрасывают запорный клапан 6, который садится в седло 5 и перекрывает центральный канал 7. За счет роста давления бурового раствора на седло 5 пружина 9 будет сжиматься и подвижный элемент 4 переместится в крайнее нижнее положение, открыв перепускной канал 8. Благодаря воздействию сил гравитации и давления бурового раствора, подводимого через перепускной канал 8, шары высыплются из отсека для их размещения 10 в затрубное пространство. После высыпания шаров останавливается циркуляция бурового раствора, при этом подвижный элемент 4 возвращается в исходное положение. Запорный клапан 6 извлекается из колонны бурильных труб 2 при помощи овершота, спускаемого на талевом канате. Далее включается буровой насос, процесс бурения возобновляется.

3.3. Разработка складывающегося задерживающего устройства

Было разработано задерживающее устройство (ЗУ) следующего вида (рисунок 25). В транспортном положении лепесток 6 находится в углублении корпуса ЗУ 3. На подпружиненный поршень 4 воздействует предварительно сброшенный запорный клапан, который перекрывает центральный канал. Поршень под действием давления промывочной жидкости перемещается в нижнее (рабочее) положение. При этом нижняя часть поршня 4 (толкатель) воздействует на подвижный лепесток 6 задерживающего устройства 3. Лепесток раскрывается и при совпадении фиксирующего средства с канавкой приводится в рабочее положение.

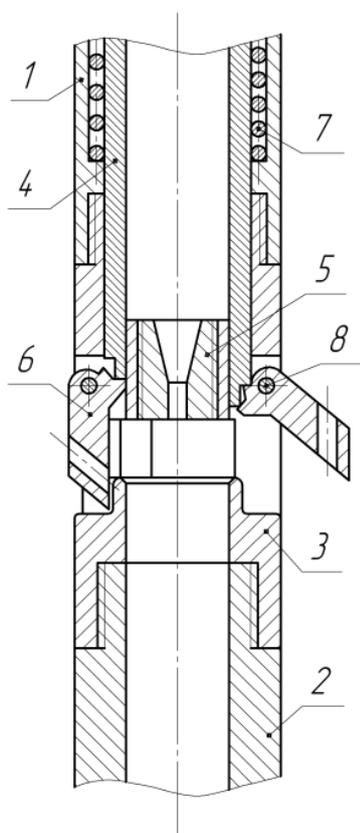


Рисунок 25 – ЗУ со складывающимися лепестками рычажного типа:
1 – корпус; 2 – корпус камеры смещения;
3 – корпус ЗУ; 4 – подпружиненный поршень; 5 – сопло; 6 – лепесток ЗУ;
7 – пружина; 8 – ось

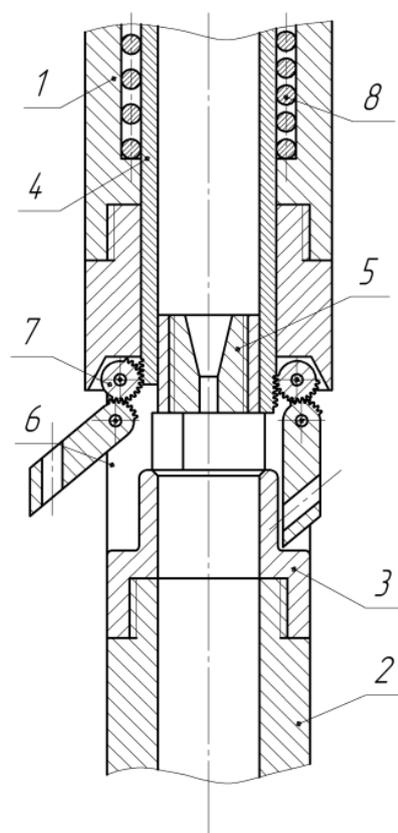


Рисунок 26 – ЗУ со складывающимися лепестками шестеренчатого типа:
1 – корпус; 2 – корпус камеры смещения;
3 – корпус ЗУ; 4 – подпружиненный поршень; 5 – сопло; 6 – лепесток; 7 – промежуточное колесо; 8 – пружина; 9 – ось

Однако данный тип устройства имеет следующие недостатки:

- утоньшение стенки в месте паза для лепестка, что вследствие износа может привести к поломке;
- ненадежность и трудоемкость сборки лепестков такого типа;
- отсутствие способа снятия с фиксированного положения без повреждения фиксирующего средства;
- засор подвижных элементов и пазов корпуса шламом, в которых в транспортном положении располагаются лепестки.

Также видно, что в данном варианте при опускании поршня лепестки ЗУ раскрываются. Однако технологически более удобным было бы их складывание при воздействии поршня. Это обусловлено тем, что основное положение ЗУ "раскрытое", а закрываться лепестки должны только при необходимости удаления и подпитки шаров.

В связи с этим было решено изменить направление движения лепестков при опускании поршня путем добавления промежуточных тел. На рисунке 26 приведено ЗУ шестеренчатого типа, механизм которого разработан по аналогии с многоступенчатым механическим расширителем [10]. Принцип действия данной конструкции интуитивно понятен, так как практически идентичен принципу действия первой конструкции, за исключением того, что шток здесь воздействует на промежуточное колесо, которое служит для изменения направления вращения лепестка. Теперь он, как и требовалось, закрывается при опускании штока.

Возможны варианты штока с зубчатыми рейками и с червяком. Причем червячная передача обладает эффектом самоторможения и является необратимой: если приложить момент к ведомому звену (червячному колесу), из-за сил трения передача работать не будет. Таким образом, обеспечивается надежная фиксация ЗУ в рабочем положении. В случае с зубчатыми рейками фиксация тоже осуществима, но с меньшей степенью надежности.

3.4. Разработка технологии поддержания расстояния между снарядом и забоем

Одной из важнейших проблем при шароструйном бурении является задача поддержания требуемого расстояния между снарядом и забоем.

Американскими исследователями решали данную проблему посредством использования опорных элементов, на которые разгружался буровой снаряд. Этот способ приводит к интенсивной деформации бурового снаряда и шаров под действием осевой нагрузки при контакте с забоем скважины.

А. Б. Уваковым предложен способ, основанный на рессаживании бурового снаряда. В процессе бурения снаряд периодически разгружался на забой и поднимался до требуемой величины. Данную технологию тоже нельзя считать оптимальной т.к. она усложняет технологию бурения. Кроме того, существует вероятность чрезмерной разгрузки снаряда на забой, что может привести к его деформации.

При проведении исследований автором установлено, что расход шаров в камере смешения напрямую зависит от расстояния между снарядом и забоем. Таким образом, требуемое расстояние можно контролировать посредством фиксации текущего значения расхода шаров. На основании данного наблюдения автором предложена схема поддержания оптимального расстояния, представленная на рисунке 27.

Способ осуществляется следующим образом. На забой скважины засыпают порцию шаров 6, спускают буровой снаряд, насосом подается промывочная жидкость. Рабочая жидкость, подводимая к аппарату, ускоряется в сопле 3 и на выходе из него истекает с большой скоростью в камеру смешения 4. При этом в пространстве между соплом 3 и камерой смешения 4 образуется зона разряжения. Благодаря разряжению происходит всасывание рабочей жидкости со взвешенными шарами 6 из затрубного пространства через впускные окна в корпусе камеры смешения.

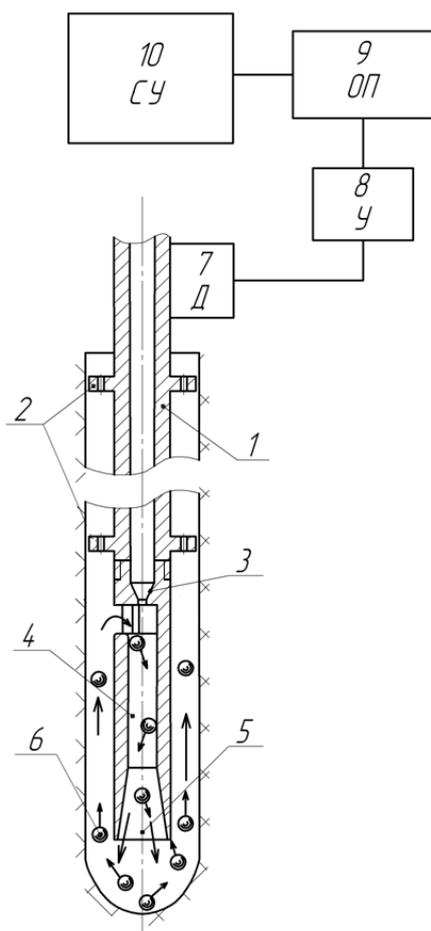


Рисунок 27 – Схема поддержания расстояния между снарядом и забоем при помощи датчика упругих колебаний:

- 1 – колонна буровых труб;
- 2 – центраторы;
- 3 – сопло;
- 4 – камера смешения;
- 5 – диффузор;
- 6 – породоразрушающие шары;
- 7 – датчик упругих колебаний;
- 8 – усилитель;
- 9 – осциллографическая приставка;
- 10 – система управления

Затем двухфазная смесь проходит через камеру смешения 4 и диффузор 5 и ударяется о горную породу, осуществляя разрушение. В процессе циркуляции в призабойной зоне скважины шары постоянно взаимодействуют с буровым снарядом, в котором формируются продольные волны деформации в результате их отскока от забоя скважины. Формирующиеся упругие колебания передаются по колонне буровых труб 1 на устье скважины, где регистрируются датчиком акустических колебаний 7 (Д), усиливаются с помощью усилителя 8 (У) и посредством осциллографической приставки 9 (ОП) направляются в систему управления 10 (СУ), задача которой состоит в том, чтобы передавать управляющее воздействие буровому инструменту на основании полученного сигнала.

Таким образом, определение в процессе бурения значения амплитуды акустических сигналов позволяет оперативно подбирать требуемое расстояние между снарядом и забоем.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

К потенциальным потребителям разрабатываемого способа бурения можно отнести компании, специализирующиеся на бурении без отбора керна скважин различного назначения (геологоразведочные, водозаборные, сейсмические, взрывные, геотермальные, нефтегазовые, технологические, под сваи, под опоры электропередач) в твердых и крепких абразивных горных породах большого и малого диаметра различной глубины.

4.1.2. Анализ конструктивных способов бурения

На сегодняшний день подавляющее большинство скважин бурится механическим вращательным способом с применением различных породоразрушающих инструментов в зависимости от горно-геологических условий. Однако, при определенных условиях, в частности при бурении твердых и крепких горных пород с дневной поверхности, бурение механическим вращательным способом не представляется эффективным. В таком случае альтернативой выступает применение ударно-вращательного и вращательно-ударного бурения с использованием погружных пневмударников.

Шароструйный способ бурения может иметь конкурентное преимущество перед альтернативными способами бурения. В таблице 16 приведен анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты.

Проанализировав данную карту, можно сделать вывод, что предлагаемый продукт может составить достойную конкуренцию существующим методам бурения по таким параметрам, как цена, удобство и простота эксплуатации, увеличение производительности. Однако для этого

необходимо выводить его на рынок, широко рекламировать и предлагать компаниям, подкрепляя результатами успешных полевых испытаний.

Таблица 16 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,11	4	3	2	0,44	0,44	0,22
2. Удобный в эксплуатации	0,09	3	2	2	0,27	0,18	0,18
3. Надежный	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
4. Возможность интеграции в существующие механизмы	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
6. Простота эксплуатации	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	4	5	2	0,36	0,45	0,18
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	4	4	0,06	0,12	0,12
3. Цена	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
5. Обслуживание	0,11	3	3	4	0,33	0,33	0,44
6. Финансирование	0,03	4	2	2	0,12	0,06	0,06
Итого	1	39	35	33	3,34	3,08	2,79
Примечание: Б _ф – Шароструйный способ бурения; Б _{к1} – Бурение с применением пневмоударников; Б _{к2} – Бурение механическим вращательным способом.							

Проанализировав оценочную карту можно сделать вывод, что шароструйный способ бурения является самым конкурентоспособным из рассмотренных.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Патентный обзор и обзор литературных источников	Исследователь
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, исследователь
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
<i>Проведение опытно-конструкторских работ</i>			
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исследователь
	6	Разработка методики проведения эксперимента	Исследователь, руководитель
	7	Разработка и патентование лабораторного стенда для проведения исследований	Исследователь, руководитель
	8	Изготовление лабораторного стенда	Токарь
	9	Изготовление опытных образцов	Исследователь
	10	Проведение экспериментальных исследований	Исследователь
Обобщение и оценка результатов	11	Обоснование полученных результатов	Исследователь, руководитель
	12	Написание статей по теме исследований	Исследователь, руководитель

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Информация о трудоемкости выполнения работ представлена в человеко-днях. Ожидаемое значение трудоемкости $t_{ожі}$ определялось по формуле (3).

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5}, \quad (3)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min i}$ – минимальная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max i}$ – максимальная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

На основании ожидаемой трудоемкости работ, находится продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая выполнение работы несколькими исполнителями. Продолжительность каждой работы определяется по формуле (4).

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4)$$

где T_{Pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Ввиду того, что работы осуществлялись одним исполнителем, примем продолжительность каждой работы равной ожидаемой трудоемкости.

Продолжительность работ следует перевести из рабочих дней в календарные по формуле (5).

$$T_{Pi} = T_{Pi} \cdot k_{кал}, \quad (5)$$

где $k_{кал}$ – коэффициент календарности, принимаемый равным 1,4.

4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Все рассчитанные значения сведены в таблице 18.

Таблица 18 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Продолжительность работ, рабочих дней	Продолжительность работ, календарных дней
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{\text{ож}}$, чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Руководитель	1,8	2,52
Патентный обзор и обзор литературных источников	5	10	7	Исследователь	7	9,8
Выбор направления исследований	3	6	4,2	Исследователь, руководитель	4,2	5,88
Календарное планирование работ по теме	1	2	1,4	Руководитель	1,4	1,96
Проведение теоретических расчетов и обоснований	1	3	1,8	Исследователь	1,8	2,52
Разработка методики проведения эксперимента	1	2	1,4	Исследователь, руководитель	1,4	1,96
Разработка и патентование лабораторного стенда для проведения исследований	7	14	9,8	Исследователь, руководитель	9,8	13,72
Изготовление лабораторного стенда	2	3	2,4	Токарь	2,4	3,36
Изготовление опытных образцов	7	10	8,2	Исследователь	8,2	11,48
Проведение экспериментальных исследований	30	50	38	Исследователь	38	53,2
Обоснование полученных результатов	10	15	12	Исследователь, руководитель	12	16,8
Написание статей по теме исследований	15	20	17	Исследователь, руководитель	17	23,8

Итого длительность работ – 147 календарных дней.

На основе таблицы 18 построен календарный план-график проведения НИР, представленный в виде диаграммы Ганта (таблица 19).

Таблица 19 – Календарный план-график проведения НИР (Диаграмма Ганта)

№	Название работы	Т _к , кал. дни	Продолжительность выполнения работ															
			Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	2,5	■															
2	Патентный обзор и обзор литературных источников	9,8	■	■														
3	Выбор направления исследований	5,9		■	■													
4	Календарное планирование работ по теме	1,9		■	■													
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	2,5			■													
6	Разработка методики проведения эксперимента	1,9			■													
7	Разработка и патентование лабораторного стенда	13,7			■	■												
8	Изготовление лабораторного стенда	3,36					■	■										
9	Изготовление опытных образцов	11,5						■	■	■								
10	Проведение экспериментальных исследований	53,2							■	■	■	■	■	■	■	■		
11	Обоснование полученных результатов	16,8												■	■	■		
12	Написание статей по теме исследований	23,8														■	■	■



Научный руководитель



Исполнитель



Токарь

4.3. Бюджет научно-технического исследования

4.3.1. Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществлялся по формуле (6).

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i}, \quad (6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научно исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб/м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для осуществления НИР, занесены в таблицу 20.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование оборудования	Един. изм.	Кол.	Цена за единицу, руб.	Материальные затраты, руб
Центробежный насос	шт.	1	153 895	176 979
Высокоточные лабораторные весы	шт.	1	27 590	31 328
Горная порода	м ³	0,4	6 420	2953
Камнерезный станок	шт.	1	53 470	61490
Шароструйно-эжекторный буровой снаряд	шт.	1	10 000	10 000
Персональный компьютер	шт.	1	30 000	30000
Приобретение программного обеспечения	шт.	1	23 432	23432
Итого				336 182

4.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы

Должность	Научный руководитель	Исследователь	Монтажник	Токарь	
Разряд	-	-	6	5	
Количество	1	1	1	1	
Тарифная ставка, руб./час	178	125	200	250	
Время на проведение мероприятия, ч.	20	100	10	19	
Тарифный фонд ЗП, руб.	3560	12500	2000	4750	
С учетом районного коэффициента (30%)	4628	16250	2600	6175	Итого:
Заработная плата с учетом надбавок, руб.	5696	20000	3200	7600	36496

4.3.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы производится путем умножения основной заработной платы на коэффициент дополнительной заработной платы, который составляет от 0,12 до 0,15. Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет дополнительной заработной платы

Должность	Научный руководитель	Исследователь	Монтажник	Токарь	Итог
Дополнительная заработная плата	854	3000	490	1140	5474

4.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Отчисления во внебюджетные учреждения

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	5696	854
Исследователь	20000	3000
Монтажник	3200	480
Токарь	7600	1140
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого, рублей	11374	

4.3.5. Накладные расходы

Величина коэффициента накладных расходов, представленных в таблице 24, принята в размере 16%.

Таблица 24 – Накладные расходы

№ п/п	Наименование расходов	Стоимость расходов, рублей	Величина накладных расходов, рублей
1.	Печать и ксерокопирование	700	112
2.	Оплата услуг электроэнергии	13700	2192
Итого			2304

4.3.6. Формирование бюджета затрат научного проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведено в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты НТИ	336 182	Пункт 3.1
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	36 496	Пункт 3.2
Затраты по дополнительной заработной плате	5 474	Пункт 3.3
Отчисления во внебюджетные фонды	11 374	Пункт 3.4
Накладные расходы	2 304	Пункт 3.5
Бюджет затрат НТИ	391 830	Сумма ст. 1-5

5. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

5.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Объектом исследования является технология и техника бурения скважин шароштруйным способом. Исследования проводились на масштабированном лабораторном стенде. В соответствии с [15] выявленные вредные факторы, которые может создать объект исследования, а также те, которые могут возникнуть при проведении исследований, представлены в таблице 26. Рассмотрим выявленные факторы более подробно.

Таблица 26 – Вредные и опасные факторы при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Источник фактора, наименование видов работ	Вредные факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)	Нормативные документы
проектировка конструкции лабораторного стенда с помощью ЭВМ	повышенный уровень электромагнитных излучений; недостаточная освещенность рабочей зоны; повышенная пульсация светового потока	СанПин 2.2.2/2.4.1340-03; СНиП 23-05-9
изготовление лабораторного стенда (обработка металлов резанием на токарном и фрезеровочном станках)	повышенный уровень шума на рабочем месте	СН 2.2.4/2.1.8.562-96; СП 5160-89; ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ;
изготовление образцов для бурения на камнерезном станке	повышенная запыленность воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума на рабочем месте	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 СНиП 41-01-2003
проведение экспериментов на лабораторном стенде	повышенный уровень шума на рабочем месте нервно-психические нагрузки	СН 2.2.4/2.1.8.562-96
статистическая обработка данных с помощью ЭВМ	повышенный уровень электромагнитных излучений; недостаточная освещенность рабочей зоны	СанПиН 2.2.4.1191-03 СНиП 23-05-9

5.1.1. Повышенный уровень электромагнитных излучений

Одним из вредных факторов является электромагнитное излучение персональных электронно-вычислительных машины (ПЭВМ). Основными источниками электромагнитного поля при работе за ПЭВМ являются системный блок и монитор, оборудованный электро-лучевой трубкой. Однако уровень современных технологий позволяет полностью избавиться от электромагнитного излучения путем применения жидкокристаллических мониторов и защитных экранов. Таким образом, этот вредный фактор теряет свою значимость.

Временные допустимые уровни электромагнитного поля, создаваемого персональными ЭВМ на рабочих местах согласно СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 [66] приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 В/м

5.1.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточность освещения приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомляемости.

Помещения, оборудованные персональными электро-вычислительными машинами должны иметь естественное и искусственное освещение. Освещение должно соответствовать требованиям СП 52.13330.2011 [68]. Окна в помещениях должны быть ориентированы на север и северо-восток.

5.1.3. Повышенная пульсация светового потока

Пульсация освещённости на рабочей поверхности неблагоприятно влияет на человека, вызывая повышенную утомляемость, а также может вызывать неадекватное восприятие наблюдаемого объекта за счет появления стробоскопического эффекта. Отрицательное воздействие пульсации возрастает с ее увеличением, появляется напряжение на глазах, усталость, трудность сосредоточения на сложной работе, головная боль.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [66] уровень пульсаций светового потока должен быть: – в помещениях, оборудованных компьютерами – не более 5%.

5.1.4. Повышенный уровень шума на рабочем месте

С физиологической точки зрения шум – это всякий неблагоприятно воспринимаемый звук. Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения в органах слуха, центральной нервной системе и сердечно-сосудистой системе. Также действие шума способствует потере внимания, торможению психических реакций, что в условиях производства может привести к опасности возникновения несчастных случаев.

Для учреждений, в которых занимаются научной деятельностью, допустимый уровень звукового давления составляет 80 дБА [12].

В соответствии СанПиН 2.2.2.3359-16 [67] ССБТ, для защиты от шума вибрационного происхождения использовались средства индивидуальной защиты органов слуха – противошумные вкладыши многократного пользования эластичные.

5.1.5. Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны

На рабочих местах может возникать пыль вследствие процессов дезинтеграции и конденсации.

Источником пыли в рамках представленной работы является камнерезный станок. Для снижения запыленности станок оборудован системой гидравлической очистки.

Воздействие пыли приводит к трем видам профзаболеваний:

- заболевание легких – пневмокониозы;
- дерматиты – заболевания кожи;
- конъюнктивиты – воспаление роговой оболочки глаза.

Нормирование пыли в воздухе рабочего помещения осуществляется по ГОСТ ССБТ 12.1.005-88 [19].

Для защиты от повышенной запыленности работник обеспечивается средством индивидуальной защиты – респиратором.

5.1.6. Нервно-психические нагрузки

Нервно-психические нагрузки приводят к перенапряжению зрительных анализаторов и возникновению нервно-эмоционального напряжения. Нервно-психические перегрузки подразделяют на:

1. Умственное перенапряжение. Решение сложных задач, распределение функций других лиц, восприятие информации и ее оценка, работа в условиях дефицита времени;
2. Перенапряжение анализаторов. Большое число объемов одновременного наблюдения, большая длительность сосредоточенного внимания, малый размер объектов различения, работа с оптическими приборами, нагрузка на слуховой аппарат;
3. Эмоциональные нагрузки. Наличие степени риска для жизни, ответственность за результат собственной деятельности, и ответственность за безопасность других лиц;
4. Неблагоприятный режим работы. Продолжительность труда более 10 ч, монотонность труда, продолжительная речевая нагрузка и т.п [13].

5.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

5.2.1. Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования

Острые кромки, заусенцы, шероховатости на поверхности заготовок, деталей оснастки и инструмента могут привести к появлению царапин, ссадин и порезов, которые могут стать причиной заражений, вызвав нетрудоспособность работников. Основными причинами травматизма, в первом и во втором случаях, являются несоблюдение требований техники безопасности.

Применяемый инструмент должен использоваться по назначению, должен быть исправен, соответствовать условиям труда, требованиям технических нормативных правовых актов.

Для предупреждения травматизма работники обеспечивались спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты в соответствии с требованиями СП 5160-89 [68].

5.2.2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Результатом воздействия электрического тока на организм человека являются электрические травмы, электрические удары и даже смерть ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [17]. Наиболее опасны электрические травмы в виде ожогов, возникающие на том месте тела человека, на котором происходит контакт с токоведущей частью электроустановки. Обычно электроожоги сопровождаются кровотечениями, омертвлением пораженных участков тела. Механические повреждения возникают в результате сокращений мышц под действием тока, который проходит через тело человека. Результатом механического повреждения могут стать вывихи суставов, переломы костей, разрывы кровеносных сосудов и нервных тканей.

5.3. Экологическая безопасность

5.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

К объекту исследования можно отнести лабораторный стенд и образцы для бурения. При изготовлении и модернизации стенда, а также при изготовлении образцов образуются техногенные отходы.

При изготовлении образцов на камнерезном станке в воздух помещения выбрасывается пыль, состоящая из глин, кварцевого сырья, полевых шпатов, мрамора, гранита. Данная пыль удаляется из помещения при помощи вытяжной вентиляции.

Для проведения исследований система циркуляции заполняется водопроводной водой, не подвергаемой загрязнению вредными веществами.

5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

В процессе исследования образуются отходы в виде пробуренных образцов мрамора, гранита и керамической плитки. Материал, разрушенный в процессе бурения оседает в специальной емкости в виде шлама.

При статической обработке данных на ЭВМ образуются твердые бытовые отходы в виде бумаги.

5.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Основным загрязнением литосферы и почвенных покровов являются твердые бытовые отходы. Защита почвенного покрова и недр от твердых отходов реализуется за счет сбора, сортирования и утилизации отходов и их организованного захоронения.

Удаляемый из помещения вентиляционный воздух может стать причиной загрязнения атмосферного воздуха. Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе среды обитания человека не выше ПДК.

Негативное воздействие на гидросферу объектом исследования и непосредственно в процессе исследования не оказывалось.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

При разработке и эксплуатации проектируемого решения единственным источником чрезвычайной ситуации (пожара) может послужить используемое электрооборудование.

5.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований

Стенд для проведения исследований оборудован центробежным насосом, подключенным к системе электроснабжения.

При нарушении норм и правил пожарной безопасности в лаборатории, неисправности электрооборудования, электропроводки может возникнуть пожар.

5.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Для исключения возможности возникновения пожара в рабочем помещении, необходимо систематически проверять целостность изоляционных покрытий электрических проводок, осуществлять курение только в специально отведенных местах.

В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 [20] тушение пожаров предусматривает использование средств и снаряжения пожаротушения. Для пожаротушения в лаборатории корпуса № 6 может быть использован углекислотный огнетушитель.

5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.5.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Основным видом нормативных правовых актов по охране труда является Система стандартов безопасности труда (ССБТ). В рамках этой системы производятся взаимная увязка и систематизация всей нормативной и нормативно-технической документации по безопасности труда, в том числе многочисленных норм и правил по технике безопасности и производственной санитарии.

Руководствуясь трудовым законодательством, режим труда и отдыха предусматривают с учетом специфики труда всех работающих, в первую очередь обеспечивают оптимальные режимы работающих, с повышением физическими и нервно-эмоциональными нагрузками, в условиях монотонности и с воздействием опасных и вредных производственных факторов

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю (статья 91 ТК РФ). Основным режимом работы является пятидневная рабочая неделя с двумя выходными днями. При пятидневной рабочей неделе продолжительность ежедневной работы определяется правилами внутреннего трудового распорядка или графиками сменности, составляемыми с соблюдением установленной продолжительности рабочего рабочей недели и утверждаемыми администрацией по согласованию с профсоюзным комитетом. В течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается.

На работах с вредными условиями труда работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную сертификацию или декларирование соответствия

специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. При работе в лаборатории в качестве СИЗ используется халат.

5.5.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место по отношению к световым проемам должно располагаться таким образом, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Оконные проемы должны быть оборудованы регулирующими устройствами, например, жалюзи.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности оборудования. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья. При этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию. Поверхности сиденья, спинки и других элементов стула должны быть полумягкими, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

В соответствии с СН-181-70 [69] рекомендуются следующие цвета окраски помещений: потолок - белый или светлый цветной; стены - сплошные, светло-голубые; пол – темно-серый, темно-красный или коричневый. Применение указанной палитры цветов обусловлено ее успокаивающим воздействием на психику человека, способствующим уменьшением зрительного утомления. При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, 83 имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложены результаты экспериментальных исследований факторов, обуславливающих эффективность шароструйного бурения, полученный с использованием современных технических средств и программного компьютерного сопровождения, и даны рекомендации по подбору их оптимальных значений. Приложены технические решения для повышения эффективности технологии и техники шароструйного бурения. Полученные результаты являются значительным вкладом в решение задачи промышленного внедрения шароструйного способа бурения.

Основные выводы, научные и практические результаты выпускной квалификационной работы заключаются в следующем:

- разработан и изготовлен лабораторный стенд для исследования факторов, обуславливающих эффективность шароструйного бурения;
- разработаны рекомендации к проектированию оптимальных геометрических параметров шароструйно-эжекторных буровых снарядов и подбору оптимальных технологических параметров бурения;
- для визуализации быстропротекающих процессов шароструйного бурения впервые применена высокоскоростная съемка;
- разработана технология поддержания оптимального расстояния между снарядом и забоем с использованием датчика акустических колебаний;
- разработана конструкция забойного шаропитателя;
- разработана конструкция складывающегося задерживающего устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраамов, Ю. С. Защита человека от электромагнитных воздействий / Ю. С. Авраамов, Н. Н. Грачев, А. Д. Шляпин. – Москва: Изд-во МГИУ, 2002. – 232 с.: ил. – Библиогр.: с. 227-231.
2. Агапов Е.Г. Обработка экспериментальных данных в MS Excel: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов дневной формы обучения / Под ред. Е.Г. Агапова, Е.А. Битехтина. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 32 с.
3. Арбит В. С. Исследование и разработка методики расчета эжекторных буровых устройств с целью создания эффективных технических средств для бурения и освоения скважин: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 1974. – 204 с.
4. А.с. № 1002498, Е 21 В 7/18. Шароструйный снаряд / М.М. Майлибаев – № 3278854/22-03; Заявлено 24.04.1981; Оpubл. 07.03.1983.
5. А.с. № 1032837, Е 21 В 7/18, Е 21 В 7/14. Устройство для термомеханического бурения скважин / О.Л. Дербенева, А.В. Дугарцыренов, О.Р. Ларин, И.В. Чугунов – № 3373919/22-03; Заявлено 29.12.1981; Оpubл. 15.08.1986.
6. А.с. № 1120733, Е 21 В 7/18. Устройство для шароструйного бурения скважин / А.В. Дугарцыренов, О.Р. Ларин, Е.А. Потехин, Л.С.
7. 131 Дербенев, А.А. Боголюбов, Г.Г. Каркашадзе, И.В. Чугунов – № 3597561; Заявлено 31.05.1983; Оpubл. 15.08.1986.
8. А.с. № 188407, Е 21 С 21/00. Способ термодинамического разрушения горных пород / В.Е. Горяев – № 1021728/22-3; Заявлено 30.07.1965; Оpubл. 28.11.1966.
9. А.с. № 417599, Е 21 В 7/18. Шароструйный снаряд для бурения скважин / А.Б. Уваков, В.В. Штрассер – № 1451266; Заявлено 15.06.1970; Оpubл. 28.02.1974.

10. А.с. № 685825, Е 21 С 37/16, Е21 С 21/00, Е 21 В 7/18. Способ термомеханического бурения скважин / Г.А. Янченко, И.В. Чугунов, Я.И. Шнапир, Г.Г. Каркападзе, А.А. Капустин, О.Л. Дербенева, В.Е. Горяев, Г.К. Герасимов, А.А. Боголюбов, Л.С. Дербенев – № 2623146/22-03; Заявлено 02.06.1978; Оpubл. 15.09.1979.

11. А.с. № 870705, Е 21 С 37/16, Е 21 С 21/00, Е 21 В 7/18. Способ эрозионного бурения скважин и устройство для его осуществления / Л.С. Дербенев, А.А. Боголюбов, А.А. Капустин, Г.Г. Каркашадзе, Г.А. Янченко – № 2798122/22-03; Заявлено 18.07.1979; Оpubл. 07.10.1981.

12. А.с. № 939710, Е 21 В 7/18. Шароструйный снаряд для бурения скважин / Коротков В.П. – № 3009898; Заявлено 02.12.80; Оpubл. 30.06.82.

13. Белов, Сергей Викторович. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для бакалавров / С. В. Белов. – 4-е изд. – Москва: Юрайт, 2013

14. Воздвиженский Б.И. Буровая механика / Б.И. Воздвиженский, М.Г. Васильев. – издание 3-е испр. и доп. – М.: Госгеолтехиздат, 1954. – 493 с.

15. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

16. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.

Классификация

17. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

18. ГОСТ 17.1.3.13–86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

19. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

20. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

21. Давиденко А.Н. Абразивно-механическое ударное бурение скважин: монография / А.Н. Давиденко, А.А. Игнатов; М-во образования и науки Украины, Нац. Горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 110 с.

22. Давиденко А.Н., Игнатов А.А., Вяткин С.С. Некоторые вопросы гидромеханического способа бурения // Наук. праці ДонНТУ. Серія Гірничо-геологічна. – 2011. – № 14(181) – С. 75–78.

23. Заурбеков С.А. Повышение эффективности призабойных гидродинамических процессов при шароструйном бурении скважин: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Алматы, 1995. – 18 с.

24. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

25. Исаев Е.Д. Исследование процессов шароструйного бурения с помощью высокоскоростной видеосъемки // Труды XVIII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С. 401–405.

26. Исаев Е.Д., Ковалев А.В., Алиев Ф.Р. Экспериментальные исследования технологических параметров режима шароструйного бурения // Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин», посвященной 60-летию кафедры бурения скважин. – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С. 68–83.

27. Квеско Н.Г. Методы и средства исследований: учебное пособие / Н.Г. Квеско, П.С. Чубик; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 112 с.

28. Ковалев А.В., Алиев Ф.Р., Якушев Д.А. История развития шароструйного бурения // Труды XVII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2013 – С. 266–268.

29. Ковалев А.В., Исаев Е.Д., Алиев Ф.Р., Яцкив А.А., Якушев Д.А. Методика проведения экспериментов на лабораторном стенде при исследовании технологических процессов шароструйного бурения // Труды XVIII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С. 398–401.

30. Ковалев А.В., Исаев Е.Д. Обоснование требований к конструкции шароструйно-эжекторного снаряда для бурения скважин в интервалах твердых и крепких горных пород // Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин», посвященной 60-летию кафедры бурения скважин. – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С. 60–68.

31. Ковалев А.В., Рябчиков С.Я., Веревкин А.В., Исаев Е.Д., Алиев Ф.Р. Определение оптимальной массы технологической порции шаров при шароструйном бурении. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Изд-во «Горная книга», 2015. – №6. – С. 339–345.

32. Ковалев А.В., Рябчиков С.Я., Горбенко В.М., Исаев Е.Д., Алиев Ф.Р. Экспериментальные исследования влияния технологических параметров шароструйного бурения на диаметр скважины // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Изд-во «Горная книга», 2015. – №6. – С. 346–352.

33. Ковалев А.В., Симон А.А., Яцкив А.А., Исаев Е.Д. Исследование влияния геометрических параметров шароструйно-эжекторных буровых снарядов на эффективность их работы // Труды XVIII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С. 408–411.

34. Леджервуд Л.У. Обзор работ по созданию усовершенствованных способов бурения нефтяных скважин (перевод с англ.). – М.: ГОСИНТИ, 1961. – 258 с.

35. Маккрей А.У., Коле Ф.У. Технология бурения нефтяных скважин. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 417 с.

36. Мительман Б.И., Гусман А.М. Гидромеханическое и эрозионное бурение // Обзор зарубежной литературы, Сер. Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1971. – С. 3–75

37. Назаров В.И., Сидорова Т.К. Использование воздействия высоконапорных струй при строительстве скважин: Обзорн. информ. // Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1985. – 56 с.

38. Патент 102707 № а201107407 Україна, МПК Е 21 В 7/18. Кулеструмінний пристрій для буріння свердловин / А.О. Ігнатов, С.С. Вяткин. – Заявл. 14.06.2011; Опубл. 12.08.2013; Бюл. № 15.

39. Патент 102708 № а201107452 Україна, МПК Е 21 В 7/18. Кулеструмінний пристрій для буріння свердловин / А.О. Ігнатов, С.С. Вяткин. – Заявл. 14.06.2011; Опубл. 12.08.2013; Бюл. № 15.

40. Патент 67845 № u201108906 Україна, МПК Е 21 В 7/18. Кулькострумінний прилад / А.О. Ігнатов, С.С. Вяткин. – Заявл. 15.07.2011; Опубл. 12.03.2012; Бюл. № 5.

41. Патент 68322 № u201109643 Україна, МПК Е 21 В 7/18. Кулькострумінний прилад / А.О. Ігнатов, С.С. Вяткин. – Заявл. 02.08.2011; Опубл. 26.03.2012; Бюл. № 6.

42. Патент 81067 № u201212574 Україна, МПК Е 21 В 7/00. Пристрій для буріння / А.О. Ігнатов. – Заявл. 05.11.2012; Опубл. 25.06.2013; Бюл. № 12.

43. Патент 81068 № u201212576 Україна, МПК Е 21 В 7/00. Пристрій для буріння / А.О. Ігнатов. – Заявл. 05.11.2012; Опубл. 25.06.2013; Бюл. № 12.

44. 138

45. Патент РФ № 143090, Е 21 В 7/18. Стенд для исследования технологических процессов шароструйного бурения / А.В. Ковалев, С.Я. Рябчиков и др. – № 2014106459/03; Заявлено 20.02.2014; Опубл. 10.07.2014.

46. Патент РФ № 2114274, Е 21 В 7/18. Шароструйный снаряд для бурения скважин / Т.Н. Зубкова – № 96123178/03; Заявлено 05.12.1996; Опубл. 27.06.1998.

47. Патент РФ №2124620, Е 21 В 7/18. Устройство для шароструйного бурения скважин / Т.Н. Зубкова – № 97100372/03; Заявлено 14.01.1997; Опубл. 10.01.1999.

48. Патент США № 2692116, кл. 255-61. Retractable pellet impact drill bit / Camp J.M. et al – Заявлено 23.04.1954; Опубл. 19.10.1954.

49. Патент США № 2698736, кл. 255-61. Combination pellet impact drill and annulus cutting drill / Ledgerwood L.W. et al – Заявлено 29.01.1952; Опубл. 04.01.1955.

50. Патент США № 2706104, кл. 255-61. Gravity-momentum recirculation pellet impact drilling bit / Ortloff J.E. – Заявлено 29.01.1952; Опубл. 12.04.1955.

51. Патент США № 2717761, кл. 255-18. Reverse circulation pellet impact drilling and coring apparatus / Ledgerwood L.W. – Заявлено 29.01.1952; Опубл. 13.09.1955.

52. Патент США № 2724574, кл. 175-28. Hydraulic standoff control for pellet impact drilling / Ledgerwood L.W. – Заявлено 29.01.1952; Опубл. 22.11.1955.

53. Патент США № 2724575, кл. 255-72. Pellet impact core drill / Deily F.H. – Заявлено 10.12.1952; Опубл. 22.11.1955.

54. Патент США № 2727726, кл. 255-61. Shot drilling-pellet impact drill bit / Ramsey G.H. – Заявлено 29.01.1952; Опубл. 20.12.1955.

55. Патент США № 2727727, кл. 255-61. Combination of pellet impact drilling and rotary shot drilling / Williams P.S. – Заявлено 29.01.1952; Опубл. 20.12.1955.139

56. Патент США № 2728557, кл. 255-61. Controlling off-bottom position of pellet impact drill / McNatt E.M. – Заявлено 15.07.1953; Оpubл. 27.12.1955.

57. Патент США № 2735654, кл. 255-61. Expanding type momentum pellet impact drilling apparatus / Hildbrandt A.B. – Заявлено 28.10.1952; Оpubл. 21.02.1956.

58. Патент США № 2743086, кл. 255-73. Pellet impact reaming apparatus / Roth M. – Заявлено 29.01.1952; Оpubл. 24.04.1956.

59. Патент США № 2761651, кл. 255-61. Apparatus for cyclic pellet impact drilling / Ledgerwood L.W. – Заявлено 06.03.1952; Оpubл. 04.09.1956.

60. Патент США № 2771274, кл. 255-61. Recycle fluid control in pellet impact drilling / Hildebrandt A.B. – Заявлено 28.10.1953; Оpubл. 20.11.1956.

61. Патент США № 2779571, кл. 255-61. Pellet impact drill bit with controlled pellet return / Ortloff J.E. – Заявлено 09.04.1954; Оpubл. 29.01.1957.

62. Патент США № 2807442, кл. 255-61. Momentum pellet impact drilling apparatus / Ledgerwood L.W. – Заявлено 29.01.1952; Оpubл. 24.09.1957.

63. Патент США № 2841365, кл. 255-1.8. Pellet recycle control in pellet impact drilling / Ramsey G.H. et al – Заявлено 27.10.1953; Оpubл. 01.07.1958.

64. Патент США № 2868509, кл. 255-61. Pellet impact drilling apparatus / Williams P.S. – Заявлено 07.06.1956; Оpubл. 13.01.1959.

65. Патент США № 2885184, кл. 255-61. Retrievable reverse circulation pellet impact drill / Ortloff J.E. et al – Заявлено 29.12.1953; Оpubл. 05.05.1959.

Разрушение породы струями жидкости // Экспресс-информ., Сер. Техника и технология бурения. – М.: ВИНТИ, 1971. – №6. – С. 6–13.

66. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

67. СанПин 2.2.2.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.

68. СН 5160-89 Санитарные правила для механических цехов

69. СН 181-70 Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий СанПиН 2.2.4.3359-16. Шум. Вибрация. Инфразвук. Ультразвук.

70. Сулакшин С.С. Современные способы разрушения горных пород при бурении скважин. – М.: Недра, 1964. – 106 с.

71. Уваков А.Б. Исследование и разработка шароструйного способа бурения направленных геологоразведочных скважин: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Москва, 1965. – 120 с.

72. Уваков А.Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.

73. Штрассер В.В. Исследование процессов разрушения горных пород ударами шаров (к теории шароструйного бурения): дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1966. – 217 с.

74. Eckel I.E., Deily F.H., Ledgerwood L.W. Development and testing of jet pump pellet impact drill bits // Transaction AIME. – Dallas, 1956. – p. 15.