

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки: 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Кафедра теоретической и прикладной механики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка и исследование конструкции привода управляемого задерживающего устройства шароструйно-эжекторного бурового снаряда

УДК 622.243.43.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Ленкин Олег Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПМ	Горбенко Михаил Владимирович	К. Т. Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПР	Шарф Ирина Валерьевна	К. Э. Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Евгений Николаевич	К. Т. Н.		

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Уровень образования магистратура

Кафедра теоретической и прикладной механики

Период выполнения весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017 г.
------------------------------------------	---------------

Дата контроля	Название раздела / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела
29.09.2016	Введение	5
30.10.2016	Обзор литературы по теме ВКР	10
28.11.2016	Аналитический обзор по проблемному вопросу	10
15.12.2016	Постановка задачи исследования	5
26.12.2016	Методическая часть: методика моделирования	5
	методика расчета	
27.03.2017	Технологическая часть: разработка привода задерживающего устройства	25
	Анализ и обсуждение результатов	
15.04.2017	Оценка эффективности предложения	5
30.04.2017	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	5
	Раздел «Социальная ответственность»	5
8.05.2017	Заключение	3
8.05.2017	Реферат	2
	Предварительная защита	–
15.05.2017	Написание пояснительной записки	3
21.05.2017	Подготовка доклада	5
28.05.2017	Оформление презентации	2
	Итого	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПМ	Горбенко Михаил Владимирович	К. Т. Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Евгений Николаевич	К. Т. Н.		

Запланированные результаты обучения ООП

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
Р1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК- 19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
Р2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности</i>	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
Р3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
Р4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22;
Р5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20;
Р6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК- 23

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
Р7	Эффективно работать <i>индивидуально</i> , в качестве <i>члена и руководителя команды</i> , умение формировать задания и <i>оперативные планы</i> всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести <i>ответственность за результаты работы</i>	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23
Р8	Самостоятельно учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности; активно <i>владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-8; ПК-23

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

Институт природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Кафедра теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Пашков Е. Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Ленкин Олег Сергеевич

Тема работы:

Разработка и исследование конструкции привода управляемого задерживающего устройства шароструйно-эжекторного бурового снаряда

Утверждена приказом директора (дата, номер)	2067/с от 23.03.2017 г.
---------------------------------------------	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017 г.
------------------------------------------	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	Объект исследования – конструкции привода управляемого задерживающего устройства шароструйно-эжекторного бурового снаряда.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы. 2. Исследование процесса улавливания и подпитки шарами. 3. Разработка конструкции ЗУ. 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 5. Социальная ответственность.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сборочный чертеж модернизированного снаряда. 2. Чертеж лепестка ЗУ. 3. Чертеж корпуса ЗУ.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Шарф Ирина Валерьевна, доцент кафедры ЭПР, к. э. н.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Кырмакова Ольга Сергеевна, ассистент.</p>
<p>Иностранная часть</p>	<p>Баранова Анастасия Викторовна, старший преподаватель.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Обзор литературы</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>01.09.2016 г.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ТПМ	Горбенко М. В.	к. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Ленкин Олег Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 113 страниц, 24 рисунков, 17 таблиц, 42 формул, 53 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: шароструйно-эжекторный снаряд, задерживающее устройство, бурение, разрушение горных пород, шары, скважина, забой.

Объектом исследования являются технические средства для шароструйного бурения.

Цель работы: модернизация шароструйно-эжекторного снаряда, разработка задерживающего устройства.

В процессе исследования разработана конструкция задерживающего устройства.

В результате исследования были модернизирован и просчитан шароструйно-эжекторный снаряд.

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 создание математической модели процессов шароструйного бурения, разработка рекомендации по расчету оптимальных технологических параметров.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения с соответствующей расшифровкой:

ПРИ – породоразрушающий инструмент;

РГП – разрушение горных пород;

ША – шароструйный аппарат;

УПУ – улавливающе-подпитывающее устройство;

ШУ – шароуловитель;

ШП – шаропитатель;

ЗУ – задерживающее устройство;

ПУ – перекрывающее устройство;

БС – бурение скважин;

БТ – бурильная труба.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.004–90 «Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения»;

ГОСТ 12.1.003–83 «Шум. Общие требования безопасности»;

ГОСТ 12.1.018–9 «Пожарвзрывобезопасность статического электричества. Общие требования»;

ГОСТ 26568–85 «Вибрация. Методы и средства защиты. Классификация».

Оглавление

Введение	11
1. Обзор литературы	13
1.1. Анализ ранее проведенных исследований по шароструйному бурению с целью выявления основных направлений дальнейших исследований.....	13
1.2. Анализ технических средств для шароструйного бурения	21
2. Методы исследований	28
2.1. Методика экспериментальных исследований и обработки результатов при забурке скважин с образованием криволинейного забоя.....	28
2.2. Методика проведения экспериментов и обработки результатов при исследовании процессов шароструйного бурения с использованием высокоскоростной съемки	37
2.3. Методика проведения экспериментов и обработки результатов при бурении с расхаживанием бурового снаряда.....	39
3. Исследование процесса улавливания и подпитки шарами	41
3.1. Концепция подпитывающее-улавливающего устройства	41
3.2. Выявление путей модернизации ЗУ	43
4. Разработка конструкции ЗУ	53
4.1. Выбор скважины и расчет диаметра долота	53
4.2. Расчет геометрических параметров шароструйного снаряда	55
4.3. Определение технологических параметров шароструйного бурения....	59
4.4. Расчет хода ползуна	69
4.5. Определение компоновки лепестков	70
5. Экономическое обоснование рентабельности применения установки шароструйно – эжекторного бурового снаряда	74
5.1. Расчет материальных затрат	74

5.2. Нормативные затраты на энергоносители.....	75
5.3. Затраты по основной заработной плате.....	76
5.4. Затраты на единоразовые выплаты в связи со сдачей этапа	78
5.5. Отчисления в государственные внебюджетные фонды.....	78
5.6. Расчет контрагентных расходов	79
5.7. Формирование бюджета научно-исследовательского проекта.....	80
6. Социальная ответственность	83
6.1. Производственная безопасность	83
6.2. Экологическая безопасность	87
6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
Заключение.....	97
Список использованных источников	98
Приложение А.....	101

ВВЕДЕНИЕ

В наше время ведутся большие объемы разведочного и эксплуатационного бурения. В связи с этим уходит очень много сил, средств и времени. Основные проблемы бурения связаны с проходкой крепких горных пород.

Над вопросами изобретения и усовершенствования новых более эффективных способов разрушения горных пород трудятся многие ученые России. Разработано множество методов бурения – термобурение, электроимпульсное, бурение с использованием энергии взрывов и другие. Но их применение на практике пока что невозможно из-за ряда проблем, остающихся под вопросом.

Вне сомнения имеется актуальность усовершенствования и разработки механического породоразрушающего инструмента.

Еще в середине двадцатого века были произведены исследования одного из способов – способа разрушения пород ударами шаров. Данному способу было присвоено название – шароструйное бурение.

При анализе основных задач по разрушению горных пород при шароструйном бурении было выявлено, что данный способ бурения показал высокую эффективность по проходке крепких горных пород.

Остался открытым вопрос, связанный с высокой трудоемкостью, низкой надежностью и потерей большего количества времени при спуско-подъемных операциях. Это исходит из недостаточной проектировки бурового инструмента.

Взяв во внимание всю эту информацию, разработка новых технических средств, методик расчета оптимальных геометрических параметров буровых снарядов и рациональных технологических параметров режима шароструйного бурения является в данный момент значимым и требующим решения вопросом.

На кафедре бурения скважин Томского политехнического университета была создана установка для абразивного бурения с применением долота

гидромониторно-эжекционного типа, в дальнейшем преобразованная в установку для шароструйного бурения. В основу разработки был положен принцип разрушения горной породы за счёт непрерывной циркуляции породоразрушающих частиц на забое, осуществляемой при помощи струйного аппарата, приводимого в действие потоком промывочной жидкости.

В ходе лабораторных исследований были выявлены существующие проблемы шароструйного бурения и определены основные направления их решения. В частности, была поставлена задача увеличения рейса инструмента путем обеспечения подпитки новыми порциями шаров.

Целью данной работы является модернизация разработанного на кафедре бурения шароструйного снаряда, конструкция которого позволит осуществлять подпитку и замену изношенных шаров без подъема инструмента.

1. Обзор литературы

1.1. Анализ ранее проведенных исследований по шароструйному бурению с целью выявления основных направлений дальнейших исследований

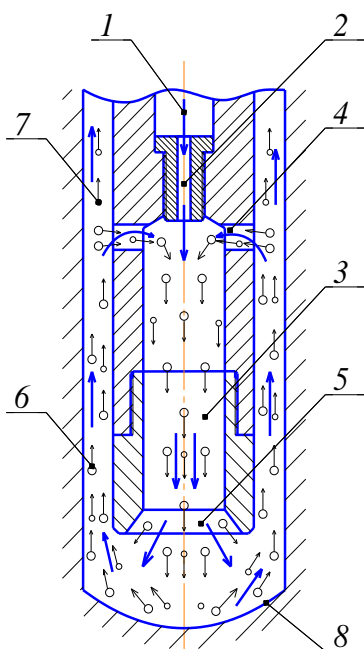


Рисунок 1.1 - Схема работы шароструйного аппарата:

- 1) камера подвода рабочей жидкости; 2) сопло; 3) камера смешения; 4) впускные окна; 5) диффузор; 6) шары; 7) частицы шлама; 8) разрушаемый материал.

Принцип действия шароструйного аппарата следующий (рисунок 1.1): рабочая жидкость, подводимая к аппарату с большой скоростью, проходит камеру подвода рабочей жидкости 1, ускоряется в сопле 2 и на выходе из него истекает с большой скоростью в камеру смешения 3. При этом в пространстве, окружающем выход сопла с внешней стороны, образуется зона разрежения. В корпусе аппарата выполнены впускные окна 4, через которые благодаря разрежению происходит всасывание рабочей жидкости со взвешенными шарами 6 и частицами шлама 7 из затрубного пространства. Далее двухфазная смесь проходит через камеру смешения, поступает в диффузор 5 и ударяется разрушаемый материал 8, осуществляя разрушение.

Способ разрушения горных пород ударами шаров был предложен в 1955 г. группой ученых американской нефтяной компании «Картер Ойл К°».

Результаты этих исследований освещены в работах И.Э. Эскеля, Ф.Г. Дэйли, Л.У. Леджерворда [1, 2]. Некоторые данные приводятся в работах А.У. Маккрея и Ф.У. Коле [3]. Целью исследований была разработка более эффективного способа бурения нефтяных скважин. Убедившись в возможности разрушения горных пород ударами быстро движущихся шаров, исследователи решили проблему создания устройства, позволяющего осуществлять разгон

шаров и их рециркуляцию. Устройством, наиболее полно отвечающим этим требованиям, оказался струйный насос.

В результате проведенных лабораторных исследований было установлено, что наибольшая механическая скорость проходки наблюдается в случае использования шаров максимально возможного диаметра, не заклинивающих в камере смешения струйного насоса. Также установлено увеличение механической скорости бурения при максимально возможном расходе, при котором не происходит вынос шаров из скважины. При бурении известняка была достигнута скорость проходки 6,8 м/ч (при расходе 254 л/мин, перепаде давления в сопле струйного насоса 4,4 МПа). Использование глинистого раствора обусловило падение скорости бурения на 25%, а воздуха – на 75 % по сравнению с использованием воды. Необходимо отметить, что для определения расхода шаров и скорости их движения в камере смешения струйного насоса использовался специальный шариковый электромагнитный детектор, а процесс заклинивания шаров в камере смешения исследовался с помощью высокоскоростной видеосъемки.

На основе результатов лабораторных исследований были сконструированы два шариковых бура диаметром 228,7 мм для бурения скважин [1]. Буры имели сменные камеры смешения диаметром 89 и 102 мм и набор сопел диаметром от 15,9 до 23,8 мм. Следует отметить, что аппараты были изготовлены из стали SAE4340 и закалены до твердости 36–40 С по Роквеллу. Сопла изготавливали из вольфрамо-кобальтового твердого сплава. Шары производились на специальном прессе из стали SAE52100 и закалялись до твердости 50–53 С по Роквеллу. Испытания калибровочных лап при воздействии на бур осевой нагрузки 12,2 тс и крутящего момента, равного 693 кгс·м, показали их удовлетворительную прочность.

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.

Таблица 1.1 – Условия проведения промышленных испытаний шарикового бура

Параметр	$D_{скв}$, мм	$M_{кр}$, кгс·м	$G_{ос}$, кгс	$V_{вр}$, об/мин	d_c , мм	$d_{кк}$, мм	k_3	$P_{ст}$, МПа	Δp_c , МПа	Q , л/мин	$d_{ш}$, мм	$M_{ш}$, кг	$V_{ж}$, м/с	$V_{вп}^1$, м/с	$V_{вп}^2$, м/с	$V_{вп}^3$, м/с	$Q_{ш}$, шт/с	$V_{ш}$, м/с
Значение	232	46,4	736	20	22,1	89	3,6	5,05– 5,33	3,9– 4,18	1970	31,8	63,4– 86,2	24,1	5,5	1,13	0,95	140	22,8
Примечание																		
$D_{скв}$ – диаметр скважины, $M_{кр}$ – крутящий момент, $G_{ос}$ – осевая нагрузка, $V_{вр}$ – скорость вращения, d_c – диаметр сопла, $d_{кк}$ – диаметр камеры смешения, k_3 – коэффициент эжекции, $P_{ст}$ – давление на стояке, Δp_c – перепад давления в сопле, Q – расход воды, $d_{ш}$ – диаметр шаров, $M_{ш}$ – масса шаров, $V_{ж}$ – скорость жидкости на выходе из камеры смешения, $V_{вп}^1, V_{вп}^2, V_{вп}^3$ – скорости восходящей жидкости соответственно в зазоре между аппаратом и скважиной, возле сопла и возле бурильных труб, $Q_{ш}$ – расход шаров в камере смешения, $V_{ш}$ – скорость вылета шаров из камеры смешения																		

При бурении оклахомского мрамора (мягкая порода) средний диаметр скважины равнялся 270 мм, а средняя скорость проходки составила 2,29 м/ч. По вирджинскому известняку (порода средней крепости) была получена средняя механическая скорость 1,22 м/ч при диаметре скважины 251 мм. Средняя механическая скорость бурения розового кварцита (твердая порода) составила 0,15 м/ч, а диаметр скважины – 246 мм. При этом наблюдался интенсивный износ калибровочных лап при бурении кварцита. При бурении мрамора и известняка стальные шары практически не изнашивались, при бурении же кварцита за 3,5 часа вес порции в 63,5 кг уменьшился на 1,13 кг. Износ поверхностей камеры смешения и других деталей аппарата был несущественен.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных работ было сделано заключение о возможности «производить разрушение горных пород с заметной скоростью, что показывает реальность принципов бурения ударами шаров. Дальнейшие работы могут быть сделаны для полного определения их перспективности в условиях производства» [1]. Однако уже через пять лет (в 1961 г.) один из участников этих исследований Л.У. Леджервуд [2] отмечал: «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». В отечественной литературе некоторые исследователи [4, 5], 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 (ПРИ) назывался «шароструйным аппаратом»). Причем в силу того, что для эффективной работы шароструйного аппарата нет необходимости в его вращении, его применяли для искусственного искривления геологоразведочных скважин. Анализируя результаты американских ученых, руководитель исследований А.Б. Уваков указывал на их не совсем объективные выводы [6]. Американские ученые 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.

В результате проведенных исследований [6, 7] были решены следующие вопросы, имеющие важное научное и практическое значение для совершенствования шароструйного способа бурения скважин:

- сформулирована версия механизма разрушения горных пород ударами шаров;
- выявлены основные аналитические зависимости, характеризующие процесс разрушения горных пород ударами шаров;
- выявлены основные факторы, влияющие на скорость шароструйного бурения;
- разработана методика выбора и расчета основных геометрических параметров шароструйного аппарата;
- разработана методика расчета процессов шароструйного бурения;
- разработаны и испытаны различные конструкции шароструйных снарядов;

- разработана методика направленного бурения скважин и изучены основные закономерности искусственного искривления шароструйными отклонителями.

Авторами установлено, что при разрушении той ли иной горной породы существует оптимальная скорость соударения шаров с забоем (40 – 180 м/с), которая зависит от упругих свойств материала шаров и горной породы, диаметра и плотности шаров, динамической твердости горной породы. Скорость шароструйного бурения в режиме усталостного разрушения с увеличением твердости горных пород уменьшается, а в режиме оптимального разрушения – увеличивается. Эта зависимость является одной из самых важных, не свойственных ни одному из существующих механических способов РГП. В оптимальном режиме износ шаров и шароструйного аппарата будет минимальным вследствие исключения отскока шаров от забоя. Скорость проходки при этом может достигать до 20 м/ч в породах VII–XI категорий по буримости.

Результаты исследований С.А. Заурбекова [8] сводятся к следующему:

- получена количественная оценка рациональных параметров призабойных процессов при шароструйном бурении;
- разработан шароструйный снаряд с первичным и вторичным соплами кольцевой (щелевидной) формы и опорой по центру;
- установлены рациональные параметры натурального шароструйного снаряда и уточнены условия, обеспечивающие эффективность его работы;
- разработана методика расчета и конструирования шароструйных снарядов.

Промышленные испытания показали превышение механической скорости бурения на 20% и проходки на долото на 43% по сравнению с серийными долотами. Бурение осуществлялось в интервале 500–1100 м по породам средней крепости при следующих параметрах режима бурения: расход жидкости – 30 л/с, осевая нагрузка – 10 кН, частота вращения – 90 об/мин, плотность бурового раствора – 1060 кг/м³.

В XXI веке интерес специалистов к шароструйному бурению заметно снизился. В публикуемых работах чаще рассматриваются проблемы конструирования при исследовании комбинированных способов разрушения горных пород. Так шароструйное бурение заинтересовало украинских исследователей [9–12], которые разработали гидродинамический снаряд, в основе которого лежит комбинация шароструйного и дробового бурения. Однако информации о проведении дальнейших исследований в работах не было представлено.

На основании вышеизложенного, можно отметить ряд преимуществ шароструйного бурения:

- возможность реализации на забое скважины большой мощности;
- значительная продолжительность рейса, которая будет ограничиваться лишь износостойкостью шароструйного аппарата, т.к. заменять износившиеся шары можно подсыпанием их в скважину;
- простота конструкции шароструйного аппарата;
- отсутствие необходимости в создании высоких осевых нагрузок на ПРИ;
- возможность бурения с малой частотой вращения ПРИ (а также без вращения), что позволяет уменьшить износ бурильных труб, упростить условия для проходки направленных скважин.

Достоинства шароструйного бурения указывают на принципиальную возможность и экономическую целесообразность его использования для проходки крепких и очень крепких горных пород. Однако при разработке данного способа РГП не решено ряд проблем, сдерживающих его внедрение на производстве.

Одной из основных задач дальнейшего совершенствования шароструйного способа РГП является поиск путей повышения скорости бурения и снижения затрат энергии на разрушение породы на забое. Известно, что при работе струйного аппарата в камере смешения образуется турбулентный режим

течения, связанный с течением рабочего и инжектируемого потоков, что приводит к износу камеры смешения и уменьшению дальнобойности струи. Судя по открытию Ю.П. Конюшей, при высокочастотном звуковом облучении струи жидкости в диапазоне числа Струхаля $s = 2 - 5$ вблизи сопла в приосевой части струи наблюдается уменьшение нормальных и сдвиговых рейнولدсовых напряжений, что приводит к увеличению длины начального участка и вследствие этого к возрастанию дальнобойности струи [13]. Для реализации этого эффекта возможно использование измененной геометрии струйного течения, которое обуславливает возникновение самовозбуждения струи [14]. При этом будет иметь место интенсификация процессов разрушения горных пород за счет эффекта кавитации.

Ряд американских авторов [1, 3], основываясь на результатах исследований по изучению распределения гидравлической энергии бурового насоса при шароструйном бурении, пришли к выводу о низком значении его КПД, не превышающем 3%, что связано с низким значением КПД струйных аппаратов (30–40%). Основываясь на этих результатах, в отечественной литературе некоторые исследователи [4] характеризовали «ударно-дробовой способ бурения» как малоперспективный для бурения глубоких скважин. Штрассер В.В. опровергнул это мнение, доказав, что на разрушение породы затрачивается около 6–8 % поверхностной энергии [7]. Однако ни одним из исследователей не была разработана методика гидравлического расчета промывки скважины при шароструйном бурении, в которую входят выбор параметров и расхода жидкости, расчет давлений, выбор типа и числа насосов и режимов их работ. Кроме того, в рамках этих исследований можно провести оценку применимости способа для бурения глубоких скважин с использованием современной серийно выпускаемой буровой техники.

Проведенные исследования показали, что наибольшие механические скорости бурения наблюдаются при использовании в качестве промывочной жидкости воды [1]. Однако при шароструйном бурении к промывочным

жидкостям предъявляют целый ряд дополнительных требований, которым не отвечает вода. Известно, что при ударах шаров забой покрывается сетью трещин, в связи с чем возможно эффективное использование понизителей твердости [6]. Поэтому актуальны исследование и разработка различных рецептов промывочных жидкостей для шароструйного бурения.

Энергетическая картина процесса шароструйного бурения является очень важной для обоснованного выбора параметров долот, породоразрушающих частиц и режимов бурения, обеспечивающих максимальную эффективность бурения. В работе [6] приведены зависимости энергоемкости разрушения от твердости горных пород и размеров шаров. Однако энергоемкость разрушения не была увязана со шламовыми характеристиками. Детальный анализ гранулометрического состава шлама позволит с высокой точностью исследовать зависимость энергоемкости разрушения горных пород от различных технологических факторов и разработать методику выбора рациональных режимных параметров бурения скважин в различных горных породах.

Эффективность шароструйного бурения определяется свойствами горных пород, геометрическими параметрами скважины, геометрическими параметрами бурового снаряда и технологическими режимами бурения (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Классификация факторов, определяющих эффективность шароструйного бурения

Одной из важнейших групп является группа геометрических параметров снаряда. Результаты исследований по изучению влияния данных параметров на эффективность разрушения горных пород приведены в различной литературе [1, 6, 8]. Однако в предложенных методиках расчета струйных аппаратов присутствует большой разброс рекомендованных значений. В связи с этим необходимо более детальное изучение оптимальных геометрических параметров снарядов с целью корректировки методики расчета шароструйно-эжекторных снарядов.

1.2. Анализ технических средств для шароструйного бурения

Самым важным звеном при шароструйном бурении является непосредственно сам шароструйный аппарат, так как именно он реализует взаимодействие шаров с породой на забое, создавая необходимые условия и передавая необходимую энергию для циркуляции шаров и осуществления разрушения горной породы. В процессе исследований было проведено значительное количество поисковых работ, а также проанализированы различные конструкции шароструйных снарядов, которые позволили выделить следующие проблемы:

1. Серьезнейшей проблемой является формирование периферийной части забоя скважины, т.к. он имеет вогнутую форму (рисунок 1.1).

2. Известно, что для эффективного разрушения горных пород буровой снаряд необходимо располагать на определенном расстоянии от забоя скважины. Поэтому имеет место проблема поддержания оптимального расстояния между долотом и забоем.

3. При работе снаряда существует проблема обеспечения оптимальной траектории движения шаров, которая обеспечивала бы их быстрый подъем в затрубном пространстве, быстрое прохождение через впускные окна и эффективное разрушение горных пород.

Со времени открытия способа различными учеными проводились опытно-конструкторские работы по совершенствованию шароструйных аппаратов.

Способы решения проблемы формирования периферийной части забоя скважина предлагались в ряде отечественных и зарубежных патентов. Среди них можно выделить следующие способы разрушения периферийной части забой скважины:

- ударами шаров, вылетающих из струйного аппарата, расположенного параллельно оси скважины [8, 15–30] и под некоторым углом [7, 31];
- механическим вооружением лопастного и дробового [11, 31] типов.

На территории Казахской ССР Уваковым А.Б. [6] при проведении полевых испытаний для поддержания оптимального расстояния от шароструйного долота до забоя скважины использовался следующий метод. Рассчитывалась средняя механическая скорость проходки в определенных горных породах, затем через каждый равный промежуток времени шароструйный аппарат опускался на определенную величину (например, каждые 2 минуты на 1 см). Однако использование данного способа поддержания расстояния сомнительно в случаях:

- малой геологической изученности буримых горных пород;
- при бурении скважин на больших глубинах.

Другие способы решения данной проблемы 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 [21] и счетчика количества шаров, проходящих через камеру смешения [17];
- жесткое закрепление струйного аппарата относительно механического вооружения, разрушающего периферийную [11] и центральную [8, 16, 24] части забоя скважины;

- различные конструктивные особенности, основанные на изменениях гидродинамических условий при изменении расстояния между долотом и забоем [24, 27];
- использование в конструкции долота перекатывающегося по забою опорного элемента [31].

Поиск и анализ патентных материалов дал возможность 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 [27];
- резкое уменьшение площади снаряда над впускными окнами, что позволяет значительно снизить скорость восходящего потока и направить шары в камеру смешения для последующего всасывания [23, 24, 27–29, 31];
- удержание поднимающихся восходящим потоком шаров при помощи задерживающего устройства [8, 20, 25, 32] и конструктивно в корпусе снаряда [11, 16, 22, 26, 30];
- поднятие шаров паром при использовании газообразных рабочих агентов [18, 28].

Процесс бурения сопровождается постоянным износом шароструйного снаряда, который взаимодействует с шарами, а также происходит износ самих шаров, которые осуществляют процесс разрушения горной породы. На рисунке 1.3 представлены наиболее сильно подверженные износу части шароструйных снарядов.

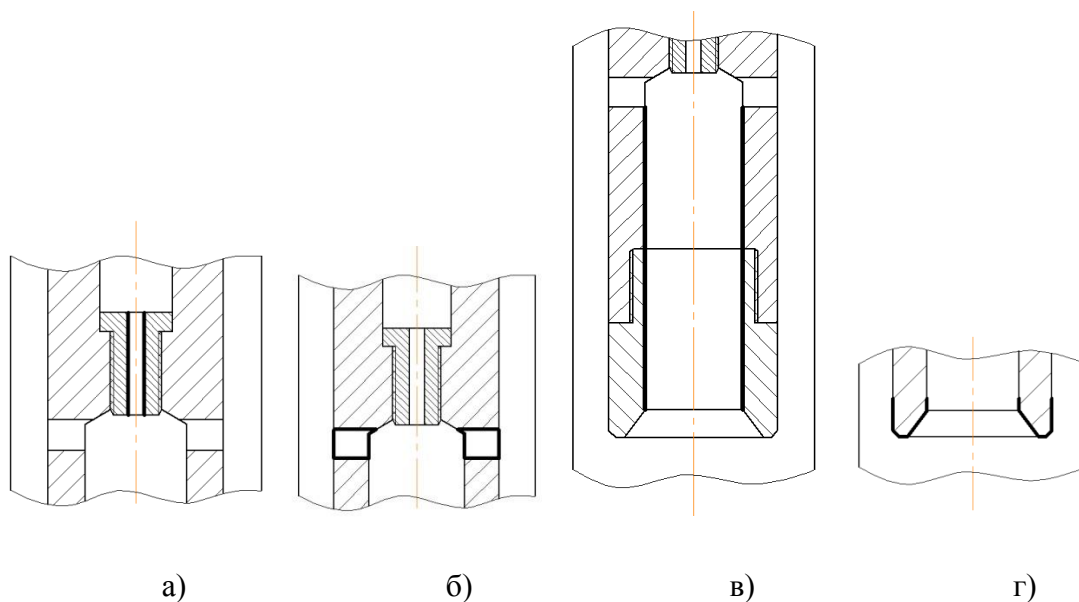


Рисунок 1.3 – Наиболее часто изнашиваемые части снаряда (показаны жирной линией):

а – первичное сопло; б – впускные окна; в – камера смешения; г – выходной торец диффузора.

При этом сильный износ первичного сопла возможен вследствие абразивного воздействия бурового раствора, износ окон всасывания – за счет взаимодействия с шарами и шламом, камеры смешения – за счет кавитационной эрозии, выходного торца диффузора – вследствие отскоков шаров от забоя скважины. Поэтому актуальна разработка мероприятий по уменьшению износа снаряда. Если же износ снаряда неизбежен, можно использовать техническое решение, позволяющее производить смену струйного аппарата без подъема бурильных труб при помощи спускаемого в скважину овершота [19, 22], а также комбинированием спускаемого овершота и включением обратной промывки [27].

Проблему износа шаров можно решить использованием шаров из твердосплавных материалов, обладающих высокой износостойкостью. Также важным моментом в уменьшении износа породоразрушающих элементов является оптимизация их движения в призабойной части скважины. Следует отметить, что процесс износа шаров во время бурения неизбежен и для поддержания эффективного бурения необходима подпитка новыми шарами

взамен изношенных. Однако техническое решение данной проблемы до сих пор отсутствует.

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 [24]. Так как на больших глубинах присутствует сложность поддержания цилиндрической формы скважины, то компоновка бурильной колонны может быть снабжена калибратором для проработки стенок скважины [8, 16].

Эффективность шароструйного бурения определяется множеством факторов, поэтому изменение условий бурения (например, переход от бурения одной породы к другой) должно сопровождаться соответствующей корректировкой работы снаряда без проведения спускоподъемных операций. Поэтому имеет место разработка средств автоматизации и контроля процесса углубки скважины.

Известно [6], что процесс бурения шароструйным способом складывается из нескольких определенных последовательных этапов: 1) спуск в скважину шаров; 2) спуск в скважину шароструйного аппарата; 3) процесс бурения; 4) подъем аппарата из скважины; 5) извлечение шаров с забоя. В работе [6] представлена информация о проведении полевых испытаний. По этим данным было опробовано два способа доставки шаров на забой скважины. Первый заключается в доставке шаров в бумажных пакетах, которые сбрасывались в скважину. После включения подачи бурового раствора и начала процесса бурения эти пакеты размягчаются, из них высыпаются шары и пакеты выносятся на поверхность. Второй способ заключается в спуске в скважину специального контейнера, представляющего из себя колонковую трубу, суженную в нижней части и забитую глиной. Данный контейнер спускается на бурильных трубах, после включения насоса, под давлением жидкости шары продавливают глину и перемещаются на забой скважины, а контейнер извлекается на поверхность. Для

извлечения шаров с забоя скважины используют шароуловители различных конструкций, спускаемых на забой после извлечения долота из скважины. Высокая трудоемкость, низкая надежность и значительные потери времени на спуско-подъемные операции при выполнении этих операций требуют проведения детального анализа, изучения и совершенствования технологии шароструйного бурения. Так, например, возможна разработка устройства, способного спускать буровой снаряд с шарами на забой скважины, и поднимать шары с забоя скважины вместе со снарядом после окончания рейса без дополнительного спуска шароуловителя.

Шароструйное бурение также может применяться для геологоразведочного бурения. Так известны технические решения по отбору керна [8, 16, 26]. Также область применения данного способа бурения расширяется за счет использования его в качестве скважинного расширителя [32]. Кроме того, известны конструкции гидромониторного бура для бурения рыхлых горных пород при гидродобыче [28], шароструйного снаряда с нагревателем для бурения в мерзлых горных породах [30].

На основе вышеизложенного дальнейшее развитие шароструйного бурения возможно за счет разработки технических средств, обеспечивающих:

- оптимальную траекторию движения шаров в призабойной зоне;
- эффективное разрушение периферийной части забоя скважины;
- возможность контроля процесса углубки скважины и мониторинга забойных процессов;
- поддержание оптимального расстояния между долотом и забоем скважины;
- возможность управления шароструйным аппаратом без прерывания процесса бурения и осуществления дополнительных спускоподъемных операций;
- подпитку изношенных шаров новыми в процессе бурения;
- отбор керна и использование в целях геологоразведочного бурения;

- спуск на забой порции шаров и подъем шаров с забоя без подъема бурильных труб;
- забурку скважины с поверхности и т. д.

2. Методы исследований

2.1. Методика экспериментальных исследований и обработки результатов при забурке скважин с образованием криволинейного забоя

Для проведения исследований было необходимо разработать лабораторный стенд, разработать методику проведения экспериментов и обработки полученных данных. Исследователи пытались максимально приблизить условия проведения эксперимента к производственным условиям. Многогранность нерешенных вопросов накладывало отпечаток на стоимость, время и энергозатраты. Поэтому некоторые вопросы, в частности, определение рациональных геометрических параметров снарядов, проведено недостаточно глубоко. Нами было принято решение исследования проводить в масштабированном варианте, что позволило провести широкую гамму исследований в короткие сроки и получить вполне убедительные результаты.

При разработке лабораторного стенда к нему предъявлялись следующие требования:

- Обеспечение замкнутой циркуляции рабочей жидкости.
- Реализация системы очистки рабочей жидкости от частиц разрушенного материала.
- 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 долота до образца разрушаемого материала и плавного спуска инструмента в модель скважины по мере ее углубления.
- Обеспечение центровки долота в модели скважины.

Разработанный стенд имеет замкнутую систему циркуляции промывочной жидкости (рисунок 2.1). Насос 1 подаёт рабочую жидкость по напорной магистрали 4 к гидромониторно-эжекторному долоту 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 всасывания породоразрушающих частиц. 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 долотом установлены манометры 14, 15. Для видеорегистрации процесса бурения напротив стакана размещена видеокамера 16.

Характеристика используемого центробежного насоса CR1-27 представлена на рисунке 2.2.

Общий вид лабораторного стенда представлен на рисунке 2.3. 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 долота до образца разрушаемого материала и обеспечения возможности плавного спуска инструмента в модель скважины по мере ее углубления на стойке установлен механизм подачи долота 6 на основе фрикционной ременной передачи с маховиком 12. Жидкость подводится через напорную магистраль 7 и переводник 8 к долоту 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 долотом установлен манометр 11. Для принудительной подачи шаров в технологические окна в конструкцию эжекторного долота включено задерживающее устройство 13 конусной формы, которое вместе с центратором 14 центрирует долото в стакане 10.

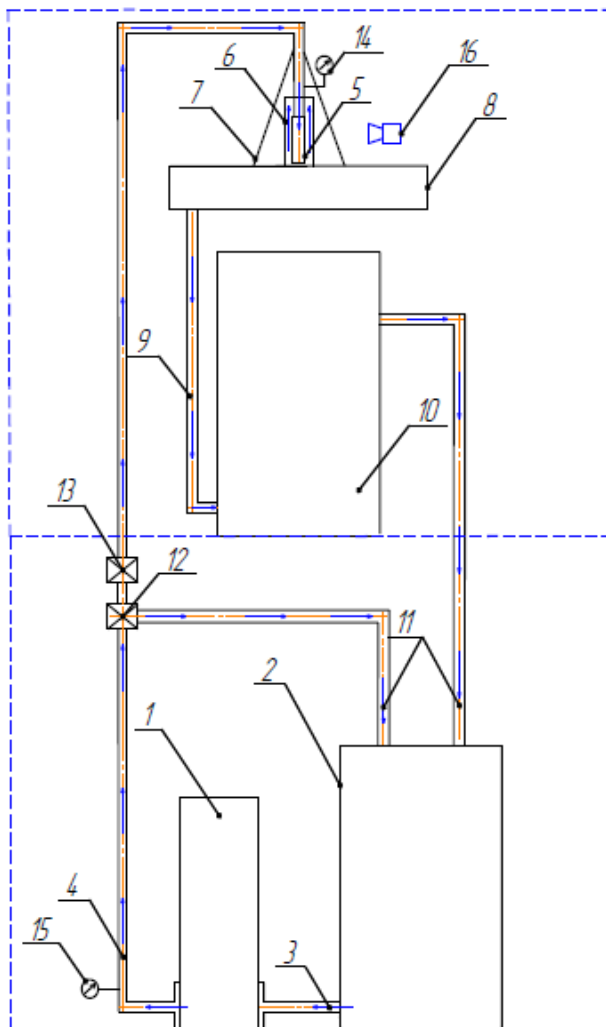


Рисунок 2.1 – Схема стенда для исследования технологических процессов шароструйного бурения:

- 1 – насос; 2 – сливная емкость; 3 – всасывающая магистраль;
 4 – нагнетательная магистраль; 5 – гидромониторно-эжекторное долото; 6 – стакан;
 7 – механизм подачи долота; 8 – поддон; 9 – сливная магистраль; 10 – отстойник;
 11 – сливная магистраль; 12 – трехходовой кран; 13 – расходомер; 14, 15 – манометр;
 16 – видеокамера.

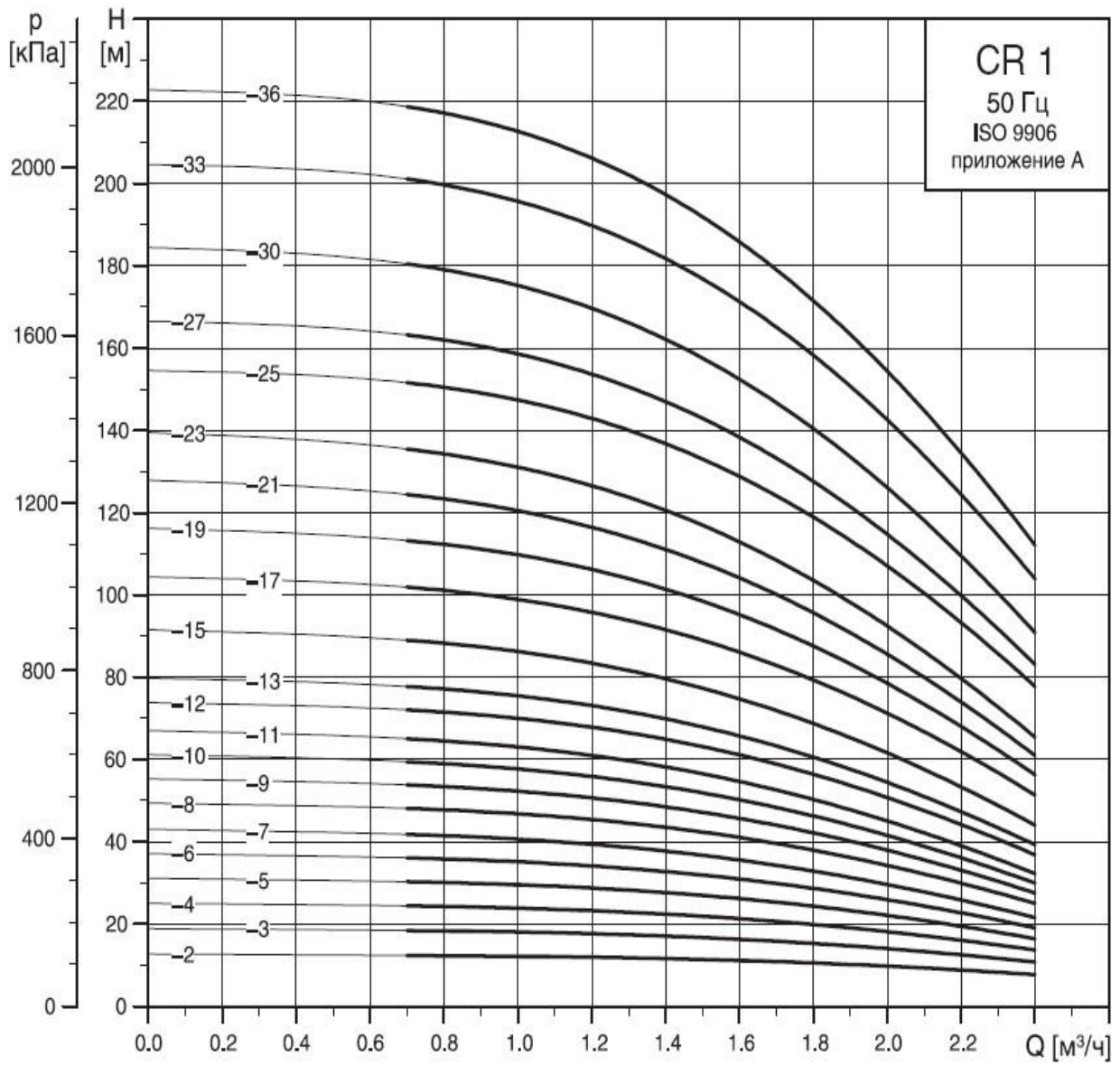


Рисунок 2.2 – Диаграммы характеристик насосов линии CR 1.

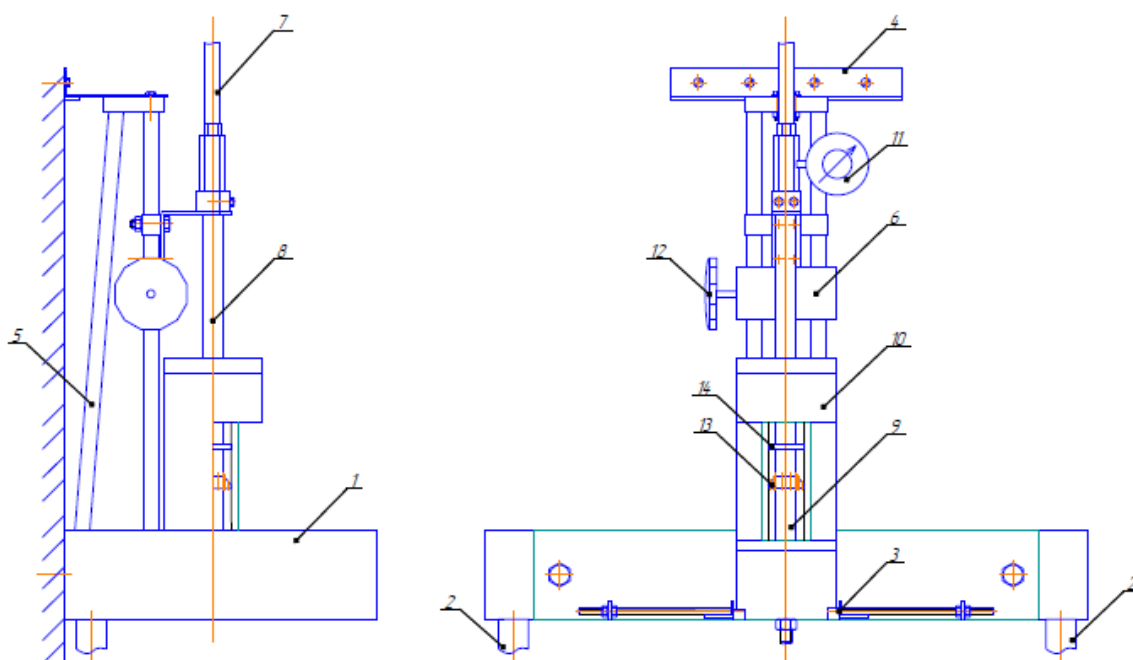


Рисунок 2.3 – Общий вид лабораторного стенда:

1 – поддон; 2 – сливная магистраль; 3 – зажим стакана; 4 – кронштейн; 5 – стойка; 6 – механизм подачи долота; 7 – напорная магистраль; 8 – переводник; 9 – гидромониторно-эжекторное долото; 10 – стакан; 11 – манометр; 12 – маховик для управления механизмом подачи; 13 – задерживающее устройство; 14 – центратор.

Стакан для установки образца горной породы и визуального наблюдения за процессом всасывания шаров в эжекторное долото (рисунок 2.4) состоит из нижнего 4, среднего 2 и верхнего 1 цилиндров. В нижнюю часть 4 на опорный диск 5 устанавливается образец разрушаемого материала 8, который поджимается средним цилиндром 2 стакана. Для визуального наблюдения за процессом всасывания шаров в эжекторные окна долота в среднем цилиндре 2 имеется смотровое окно, а во внутреннюю часть устанавливается прозрачная труба 3, поджимаемая верхним цилиндром 1. Для установки и извлечения образца разрушаемого материала необходимо раскрутить резьбовое соединение на цилиндрах 2, 4. Извлечение образца производится стержнем, вставленным в нижнее отверстие нижнего цилиндра 4.

Порядок подготовки и проведения экспериментов на лабораторном стенде следующий:

1. Подготавливаются образцы разрушаемого материала (керамическая плитка). Для этого на плитке размечаются квадраты 50*50 мм, далее обрезаются на камнерезном станке. С помощью наждачной бумаги шлифуется ребристая часть квадратных заготовок до появления гладкой поверхности, размечается окружность диаметром 45 мм и вырезаются круглые заготовки. Далее отшлифованную поверхность круглых заготовок красят синей краской.
2. Напорная магистраль соединяется переводниками с долотом. Для герметичности резьбовых соединений используется лента ФУМ.
3. Проводится испытание на герметичность собранных элементов.
4. 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.
5. Записываются входные параметры эксперимента в «дневник проведения экспериментов».
6. С помощью электронных весов навешивается необходимая масса порции шаров требуемого диаметра. Далее порция шаров высыпается в стакан на образец разрушаемого материала.
7. Поворотом маховика механизма подачи долото опускается в стакан. С помощью зажимов стакан крепится к коробу.
8. Маховиком механизма подачи устанавливается требуемое расстояние между долотом и забоем.
9. Нажатием кнопки «Пуск» включается насос, при выходе жидкости из долота включается секундомер.
10. В течение запланированного времени производится бурение. Нажатием кнопки «Стоп» останавливается насос.

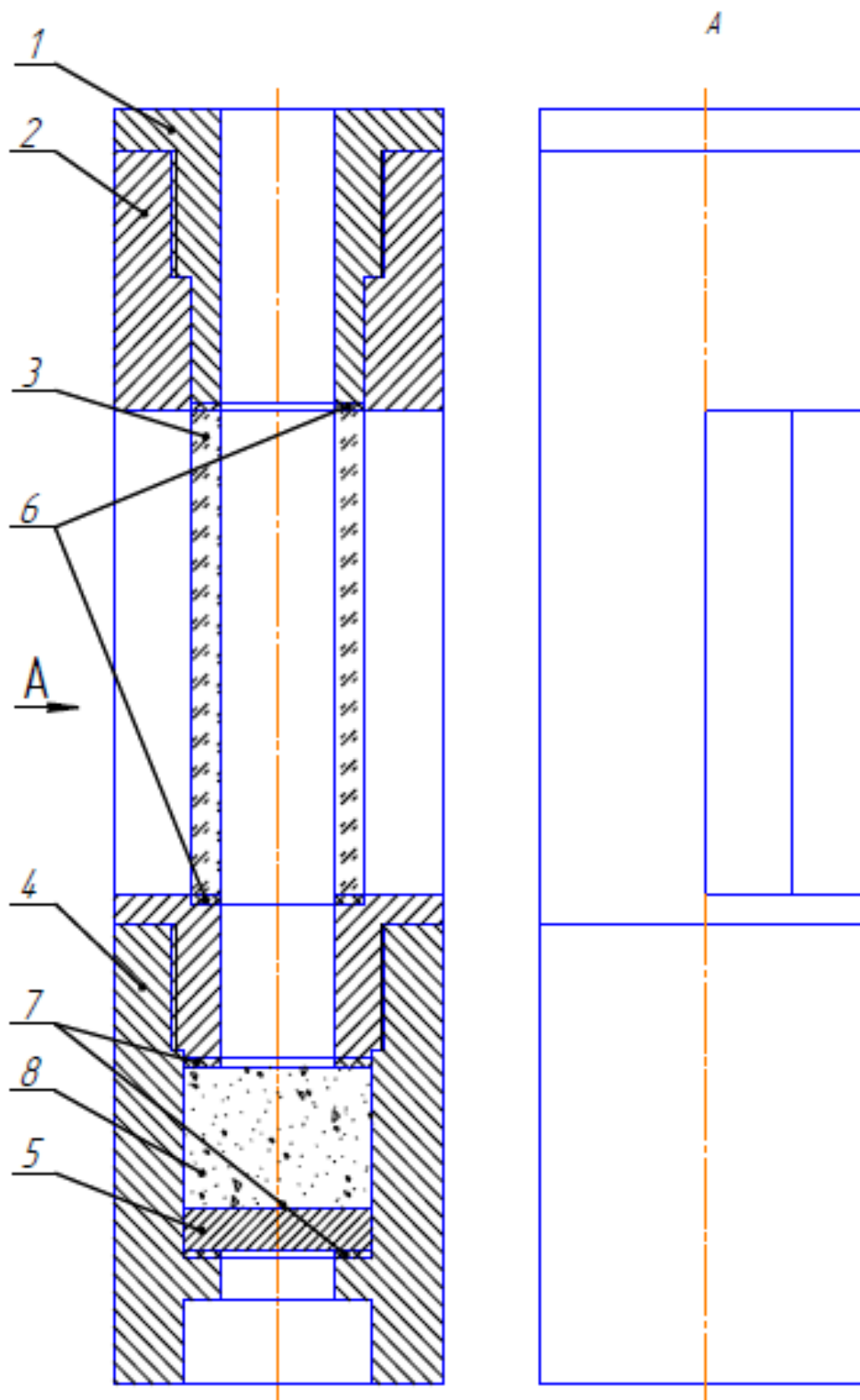


Рисунок 2.4 – Стакан для размещения образца разрушаемого материала: 1 – верхний нажимной цилиндр стакана; 2 – средний цилиндр стакана; 3 – прозрачная труба; 4 – нижний цилиндр стакана; 5 – опорный диск; 6, 7 – резиновая прокладка; 8 – образец разрушаемого материала.

11. В течение запланированного времени производится бурение. Нажатием кнопки «Стоп» останавливается насос.
12. Поворотом маховика механизма подачи поднимается долото, раскручиваются зажимы стакана.
13. Извлекаются шары из стакана в специальный короб с ветошью, тщательно протираются, высыпаются в емкость для хранения.
14. Откручивается средний цилиндр стакана от нижнего, извлекается образец разрушаемого материала, на который наносится номер согласно «дневнику проведения экспериментов».
15. Замеряются геометрические параметры скважины (рисунок 2.5). Для этого в воронку разрушения задавливается пластилин, который принимает ее форму. Далее пластилин извлекается, измеряется максимальная высота слепка, которая равна глубине скважины. С помощью мерного цилиндра измеряется объем слепка, который равен объему скважины. Также замеряется диаметр слепка, который равен диаметру скважины. Рассчитываются линейная и объемная скорости разрушения. При необходимости исследуется форма слепка пластилина, которая отображает форму криволинейного забоя. Все данные записываются в «дневник проведения экспериментов».

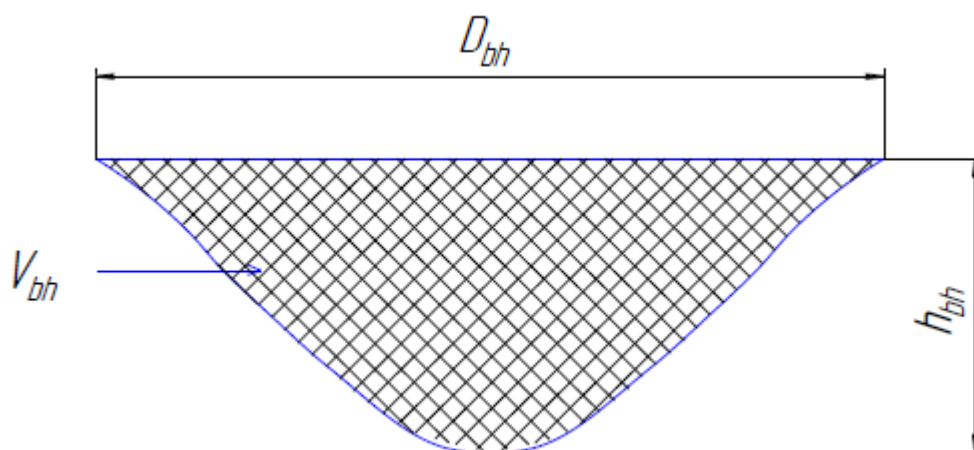


Рисунок 2.5 – Измеряемые геометрические параметры криволинейного забоя.

При необходимости рассчитывается линейная скорость перемещения нижней точки забоя $V_{лин}$ и объемная скорость разрушения $V_{об}$ по формулам:

$$v_{ин} = h/t, \quad (2.1)$$

$$v = V/t. \quad (2.2)$$

Минимальное количество повторных экспериментов принимается равным трем. Далее рассчитываются среднее арифметическое, дисперсия, среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации измеряемого параметра A_i [51]. Следует отметить, что коэффициент вариации не превышал 10%, что говорит о хорошей воспроизводимости полученных результатов. Формулы расчетных параметров для статистической обработки экспериментальных данных представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Формулы расчетных параметров для статистической обработки экспериментальных данных.

Расчетный параметр	Формула
Среднее арифметическое	$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$
Дисперсия	$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [A_i - \bar{A}]^2$
Среднее квадратичное отклонение	$\sigma = \sqrt{D}.$
Коэффициент вариации	$v = \frac{\sigma}{\bar{A}} \cdot 100\%$

2.2. Методика проведения экспериментов и обработки результатов при исследовании процессов шароструйного бурения с использованием высокоскоростной съемки

Для видеорегистрации процессов циркуляции шаров был модернизирован стакан для размещения образца горной породы (рисунок 2.6). В средний цилиндр 4 стакана устанавливается образец горной породы 7, который поджигается 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, поджигаемая верхним цилиндром 2 стакана. В верхнем цилиндре выполнен отвод жидкости 3, а также имеется посадочное место под манжету 8, которая удерживается нажимной гайкой 1. Для наблюдения за циркуляцией шаров под буровым снарядом образец горной породы 7 обработан таким образом, что его верхняя часть входит во внутреннюю часть прозрачной трубы 5. Также были изготовлены буровой снаряд и задерживающее устройство из оргстекла.

После включения насоса и завершения переходных процессов при подсветке прожекторами 1 мощностью 1000 Вт производится кратковременная запись (1–2 с) с помощью высокоскоростной видеокамеры 2 (рисунок 2.7). Записанное на высокоскоростную камеру видеоизображение при помощи специальных компьютерных программ передается на обработку в компьютер 3.

Для высокоскоростной съемки использовалась видеокамера модели Migo m310. Видеокамера способна производить видеосъемку со скоростью до 3600 кадров в секунду при разрешении 1024x720 точек на дюйм и оснащена устройством хранения данных объемом 64. С помощью компьютерной программы «Measure Dynamics» проводились замеры координаты шаров в двух осях декартовой системы.

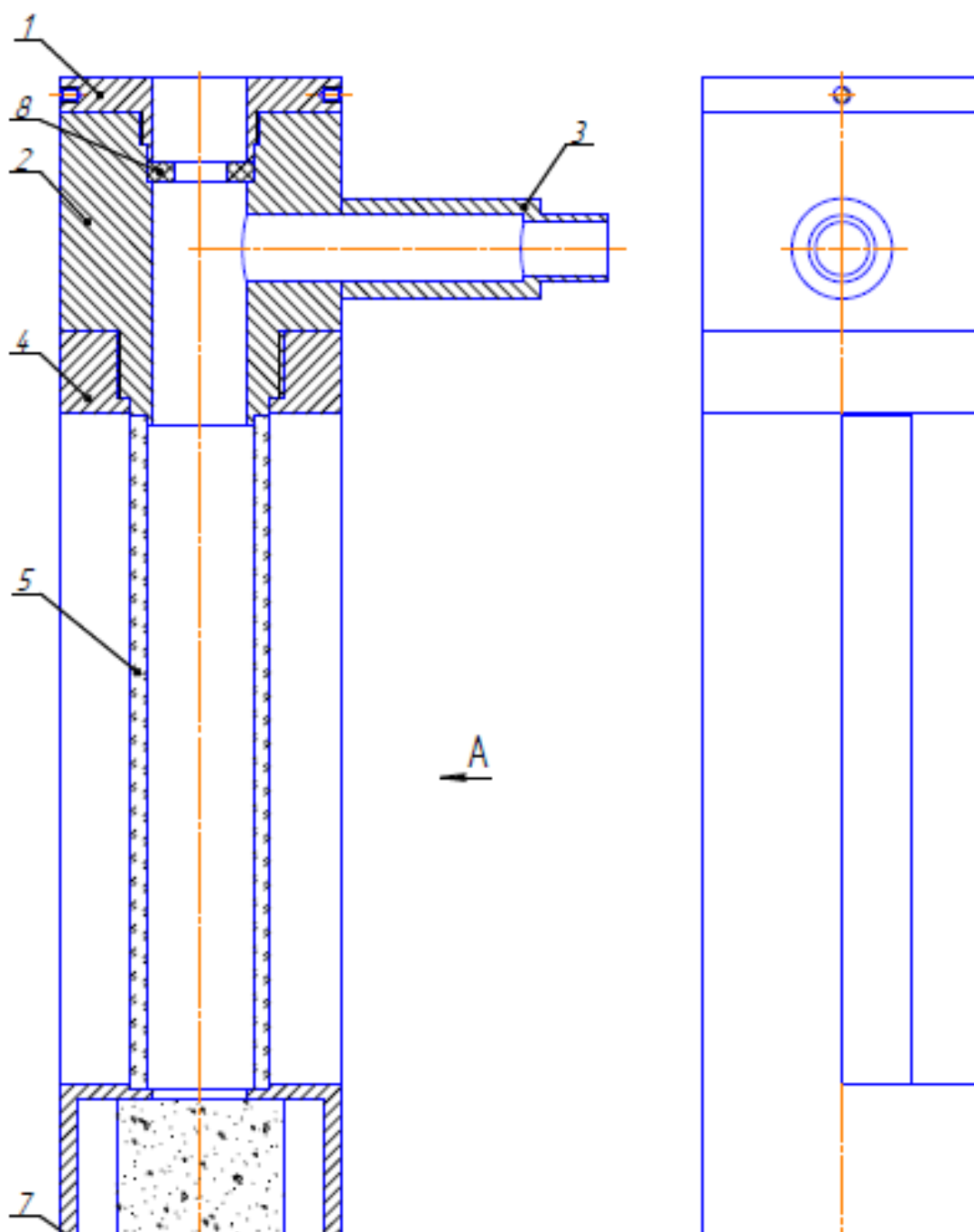


Рисунок 2.6 – Стакан для размещения образца горной породы:

- 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.

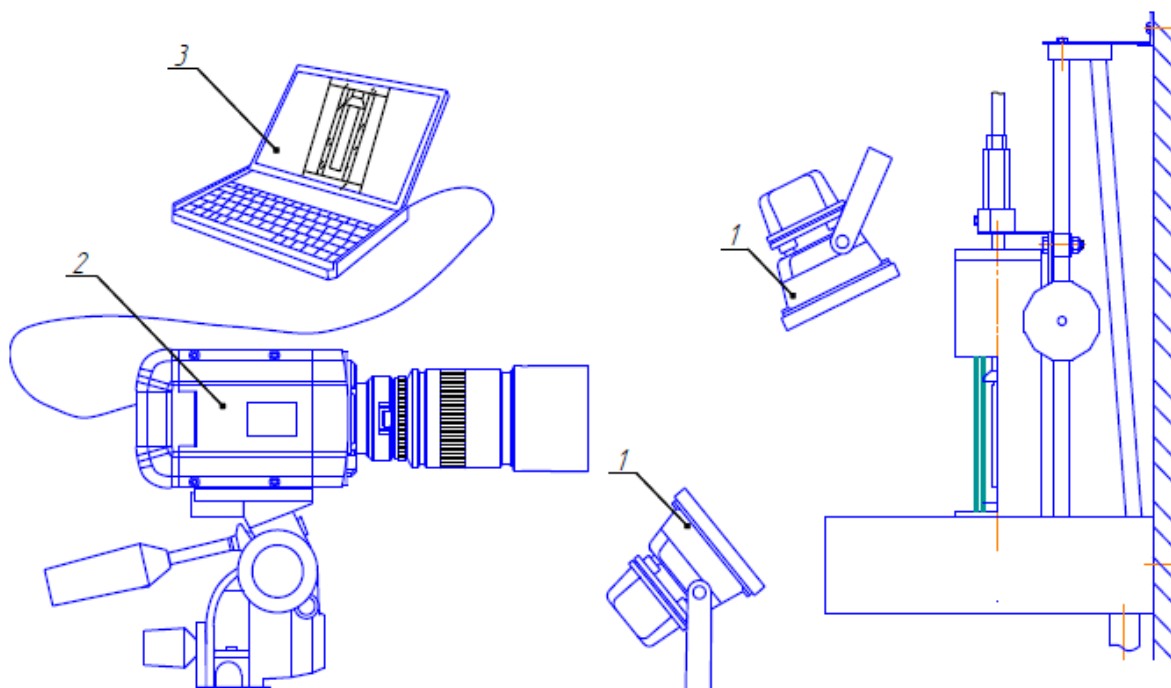


Рисунок 2.7 – Расстановка техники для проведения видеосъемки: 1 – осветительные прожекторы; 2 – высокоскоростная камера; 3 – персональный компьютер.

2.3. Методика проведения экспериментов и обработки результатов при бурении с расхаживанием бурового снаряда

Бурение производилось при поддержании необходимого расстояния между долотом и забоем (рисунок 2.8, а) путем расхаживания бурового снаряда. После проходки определенного интервала (рисунок 2.8, б) буровой снаряд кратковременно опускается на забой скважины (рисунок 2.8, в) и поднимается до запланированного расстояния между долотом и забоем (рисунок 2.8, г). Расхаживание производится с периодичностью трас. После поднятия снаряда с помощью специальных индикаторов на стойке измеряется проходка ht .

По истечении времени бурения T замеряются геометрические параметры скважины. Для этого из мерного цилиндра выливается вода в скважину. Объем воды, заполнившей скважину, является объемом скважины. Далее с помощью камнерезного станка от пробуренного образца отрезается половина образца в продольном сечении. Далее замеряется диаметр скважины $D_{скв}$, глубина скважины h , глубина цилиндрической части $h_{цч}$ и глубина в точке

соприкосновения долота с забоем h_d (рисунок 2.9). Также сканируется форма скважины.

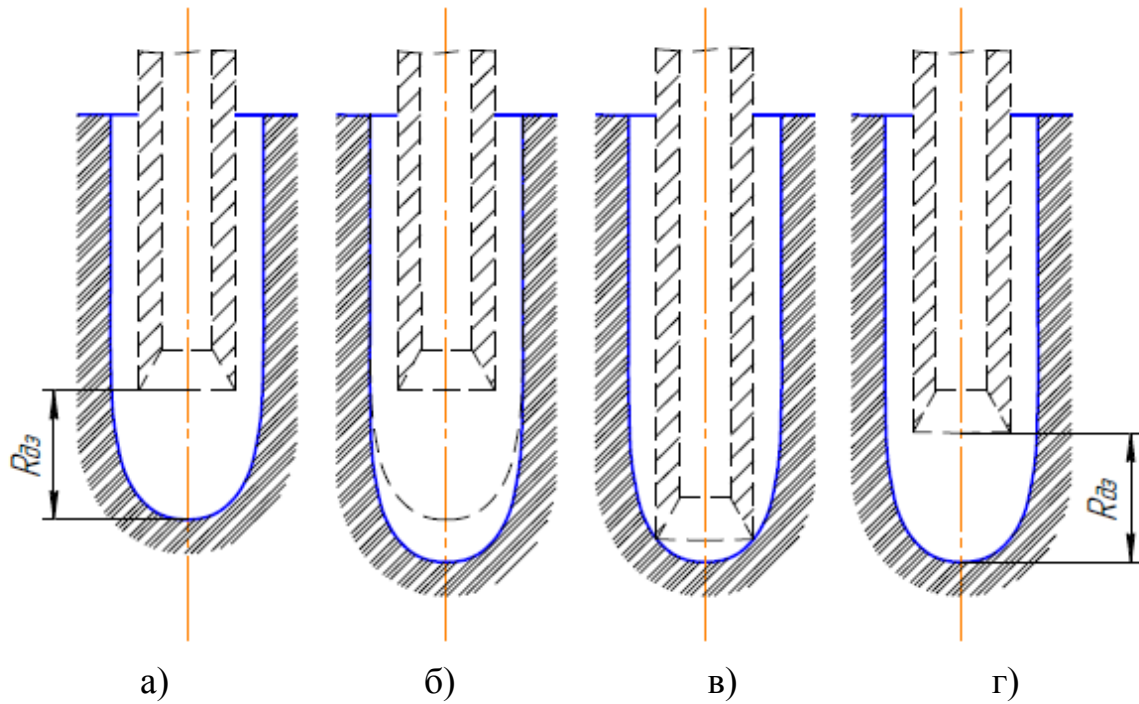


Рисунок 2.8 – Схема поддержания оптимального расстояния между долотом и забоем путем расхаживания бурового снаряда.

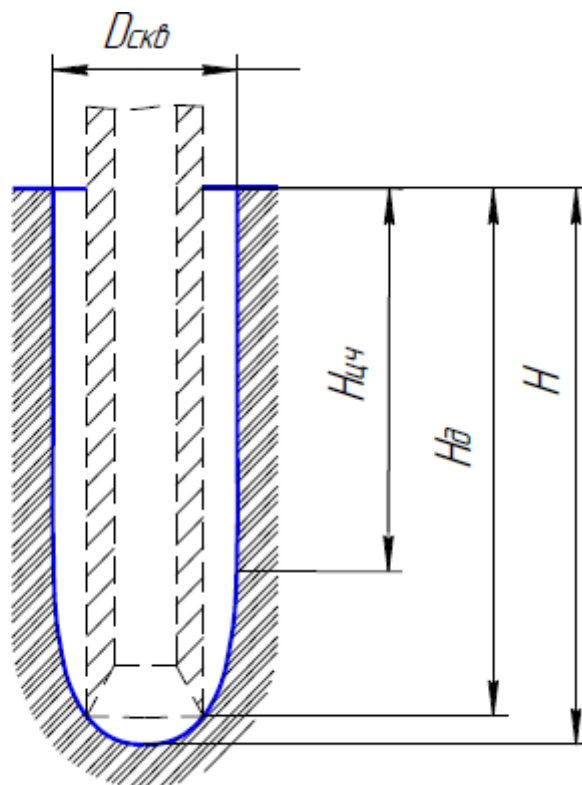


Рисунок 2.9 – Геометрические параметры скважины.

3. Исследование процесса улавливания и подпитки шарами

3.1. Концепция подпитывающее-улавливающего устройства

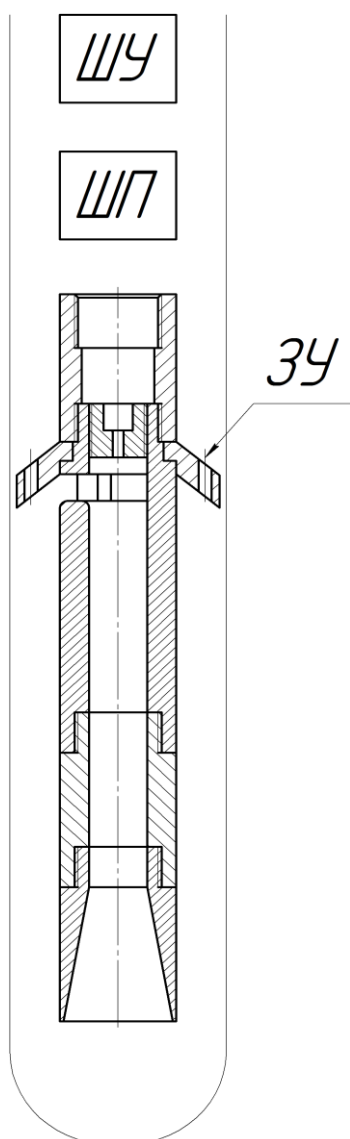


Рисунок 3.1 – Схематическое изображение подпитывающее улавливающего устройства.

Улавливающе-подпитывающее устройство представляется нам модульной конструкцией, состоящей из 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.

Схема (Рисунок 3.1) отражает принятую концепцию. При этом важно создать простую и надежную систему взаимодействия таких элементов как: шароуловитель (ШУ), шаропитатель (ШП), задерживающее устройство (ЗУ).

Планируется использовать уже разработанный и запатентованный на кафедре БС забойный шаропитатель [12].

Принцип работы шаропитателя заключается в следующем. Перед спуском шаропитателя в скважину в отсек для размещения шаров 10 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.

Улавливание шаров также является важной темой для изучения. Однако в данной работе она не освещается. Стоит отметить, что конструкция шароуловителя разрабатывается на базе забойных

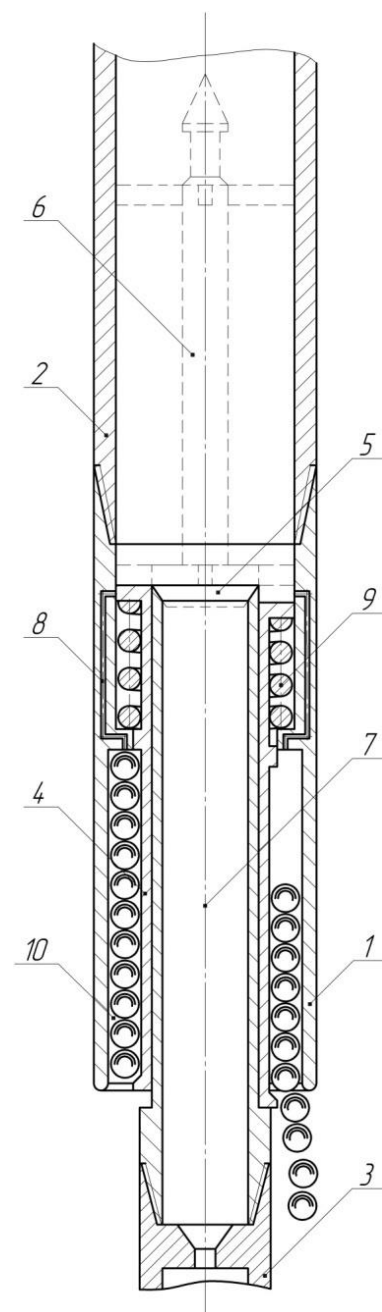


Рисунок 3.2 – Забойный шаропитатель:

- 1 – корпус ШП; 2 – колонна БТ; 3 – ША, 4 – подвижный элемент; 5 – седло;
- 6 – запорный клапан;
- 7 – центральный канал;
- 8 – перепускной канал;
- 9 – пружина; 10 – отсек для шаров.

металлоуловителей [13], принцип действия которых основан на увеличении кольцевого пространства между компоновкой и стенками скважины.

Можно сделать вывод, что при разработке улавливающе-подпитывающего устройства главной целью является оптимизация работы всей системы, осуществляющей разрушение забоя.

Основные критерии оптимизации системы:

- подобрать из существующих ШУ такую конструкцию, которая соответствовала бы общей схеме ША;
- обеспечить внедрение запатентованного ШП в компоновку;
- добиться необходимых геометрических параметров ША, удовлетворяющих исходным данным по скважине;
- спроектировать ЗУ в соответствии с геометрическими параметрами основных узлов ША и скважины.

В данной работе последние два критерия будут определяющими, а остальные накладывать некие ограничения на главные цели.

Решение поставленной задачи очень важно для шароструйного бурения и бурения в целом, так как сокращается время на спуско-подъемные операции, становится возможной подача и улавливание шаров без извлечения колонны, что в конечном итоге ведет к увеличению рейсовой скорости и повышению технологической и экономической эффективности.

3.2. Выявление путей модернизации ЗУ

Необходимо сконструировать ЗУ таким образом, чтобы оно имело два положения: рабочее - в котором устройство будет выполнять свою основную и первоначальную функцию, и, так называемое транспортное - при котором станет возможным свободное перемещение шаров от забоя в ШУ и из ШП на забой.

Следовательно, нужно повысить гибкость системы путем обеспечения подвижности элементов ЗУ.

В ходе анализа некоторых конструкций было установлено, что этого можно добиться несколькими способами:

- ЗУ со складывающимися лепестками;
 - шарнирного типа;
 - с зубчатыми колесами
- ЗУ с отверстиями переменного проходного сечения;
- ЗУ с поворачивающимися лепестками;
- регулирование проходного сечения отверстий в ЗУ за счёт вращения перекрывающего устройства (ПУ).

Исследование конструкции ЗУ со складывающимися лепестками

Данная конструкция является технически наиболее обоснованной, так как подобный принцип действия уже применяется в бурении. В частности, в раздвижных скважинных расширителях.

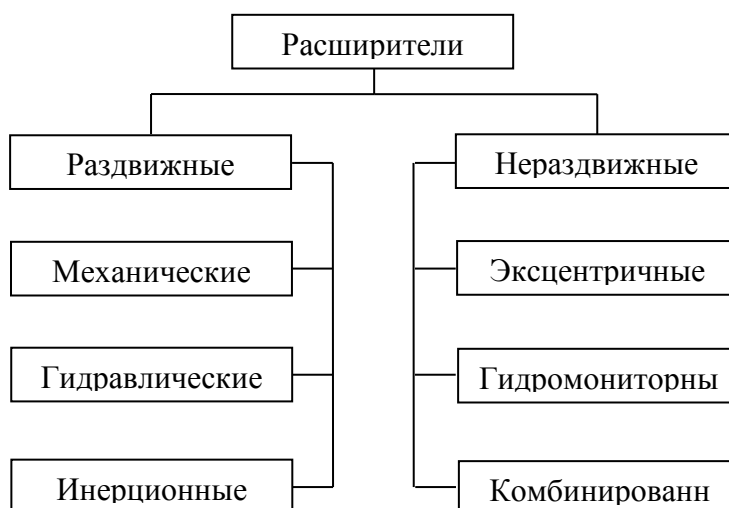


Рисунок 3.3 - Классификация скважинных расширителей

Скважинные расширители, используемые для создания каверн в интервале продуктивного пласта, могут иметь выдвигаемые породоразрушающие

органы, либо не иметь их. Раздвижные расширители имеют разные размеры в транспортном и рабочем положении. В транспортном положении диаметр корпуса обеспечивает беспрепятственный спуск инструмента в заданный интервал скважины с учетом диаметров обсадных труб и бурения пилотстволола. После спуска инструмента в заданный интервал из корпуса выдвигаются породоразрушающие органы, которые после окончания расширения убираются обратно [14].

Раздвижные расширители различают по характеру приведения из транспортного в рабочее положение на механические, гидравлические и инерционные.

Были рассмотрены механические и гидравлические расширители, так как по принципу действия они соответствуют условиям модернизации ЗУ. Инерционные расширители не рассматривались, так как они приводятся в рабочее положение центробежными силами, действующими на породоразрушающие органы при вращении инструмента, а вращение противоречит исходной концепции шароструйного бурения.

За прототип ЗУ со складывающимися лепестками был взят скважинный расширитель [15]. В нем осуществлен принцип воздействия поступательно движущегося толкателя на шарнирные породоразрушающие органы. Толкатель при этом является продолжением подпружиненного поршня со штоком, который приводится в движение промывочной жидкостью.

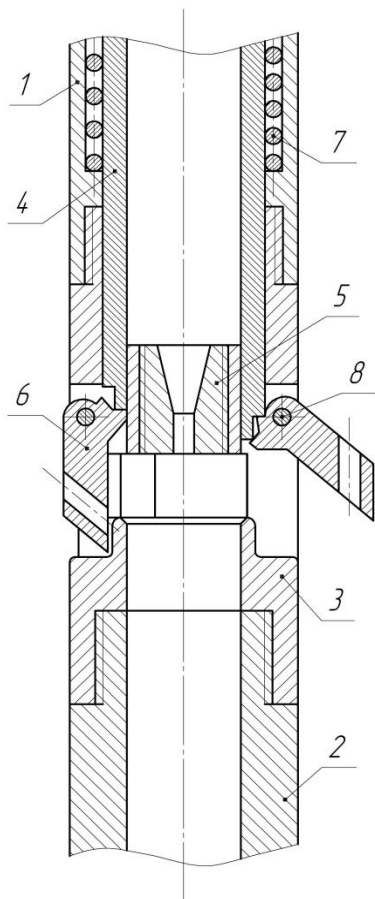


Рисунок 3.4 - ЗУ со складывающимися лепестками рычажного типа:

- 1 – корпус; 2 – корпус камеры смещения; 3 – корпус ЗУ;
 4 – подпружиненный поршень;
 5 – сопло; 6 – лепесток ЗУ;
 7 – пружина; 8 – ось.

На основании данной конструкции было разработано ЗУ следующего вида.

Принцип его действия заключается в следующем. В транспортном положении лепесток 6 находится в углублении корпуса ЗУ 3. На подпружиненный поршень 4 в направлении как показано на рисунке воздействует предварительно сброшенный запорный клапан, который, в свою очередь, приводится в действие промывочной жидкостью. Поршень перемещается в нижнее, рабочее положение, при котором нижняя часть поршня 4 (толкатель) воздействует на подвижный лепесток 6 задерживающего устройства 3. Лепесток раскрывается и при совпадении фиксирующего средства с канавкой оказывается в рабочем положении.

Однако данный тип устройства имеет минусы:

- утоньшение стенки в месте паза для лепестка, что вследствие износа может привести к поломке.
- ненадежность лепестков с данным способом воздействия (возможно скалывание тонкой внутренней части лепестка).
- засор подвижных элементов и пазов корпуса, в которых в транспортном положении располагаются лепестки. При циркуляции раствора шлам попадает в боковые пазы и забивает их. Если пазы вовремя не очистить, то может возникнуть опасность неполного закрытия лопастей и аварии.

Но основная проблема заключается в том, что данное направление движения лепестков не сочетается с принципом, по которому их решено было сделать подвижными, так как на самом деле лепестки должны складываться при необходимости удаления и подпитки шаров, то есть до воздействия они должны быть в рабочем положении (открыты).

В связи с этим было решено изменить направление движения лепестков при опускании поршня путем добавления промежуточных тел, таких как кулачки или шестерни. В данном случае выгоднее использовать зубчатую передачу с промежуточными колесами. Поэтому также были рассмотрены многоступенчатые механические расширители.

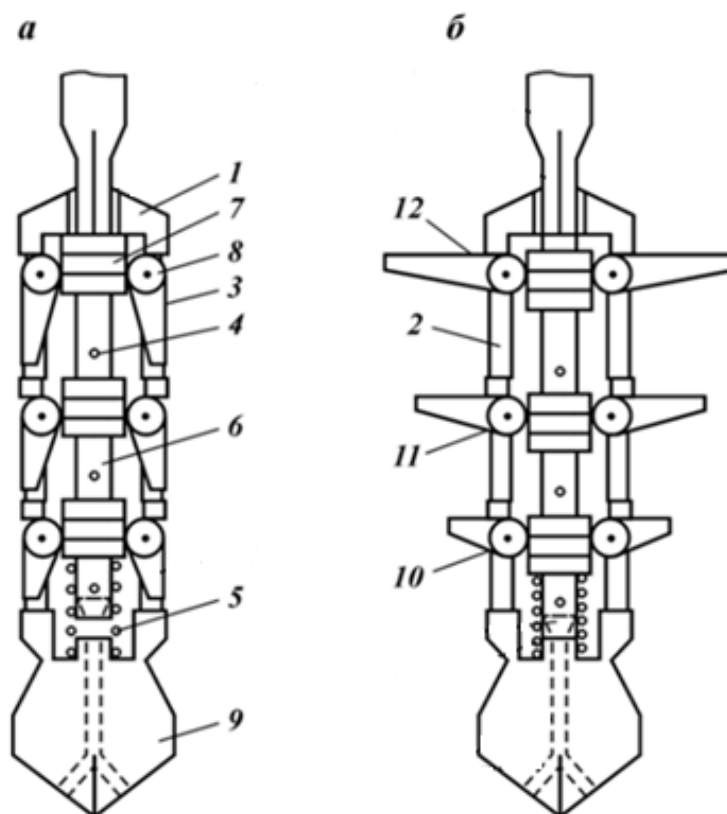


Рисунок 3.5 - Многоступенчатый механический расширитель:

а – транспортное положение; б – рабочее положение.

Принцип включения в работу данного устройства отличается от предыдущего расширителя. Отличительной чертой здесь является передача шестерня – рейка. При опоре долота 9 на забой скважины под действием веса

бурильных труб полый шток с зубчатыми рейками 7 опускаются вниз, пружина 5 сжимается, а через зубчатые рейки 7 полого штока 6 и зубчатые сектора 8 на лопасти 12 передается крутящий момент, способствующий их раскрытию.

При подъеме бурильной колонны полый шток 6 с зубчатыми рейками 7 поднимают и лопасти расширителя 12 закрываются.

Ниже приведено ЗУ, механизм которого разработан по аналогии с описанным выше расширителем.

Принцип действия данной конструкции интуитивно понятен, так как практически идентичен принципу действия первой, за исключением того, что шток здесь воздействует на промежуточное колесо, которое служит для изменения направления вращения лепестка. В данном случае он, как и положено, закрывается при опускании штока.

Возможны два варианта штока:

- с зубчатыми рейками;
- с червяком.

При этом последний имеет большое преимущество, так как червячная передача обладает эффектом самоторможения и является необратимой: если приложить момент к ведомому звену (червячному колесу), из-за сил трения передача работать не будет [16]. Таким образом, обеспечивается надежная фиксация ЗУ в рабочем положении. В случае с зубчатыми рейками фиксация тоже осуществима, но с меньшей степенью надежности.

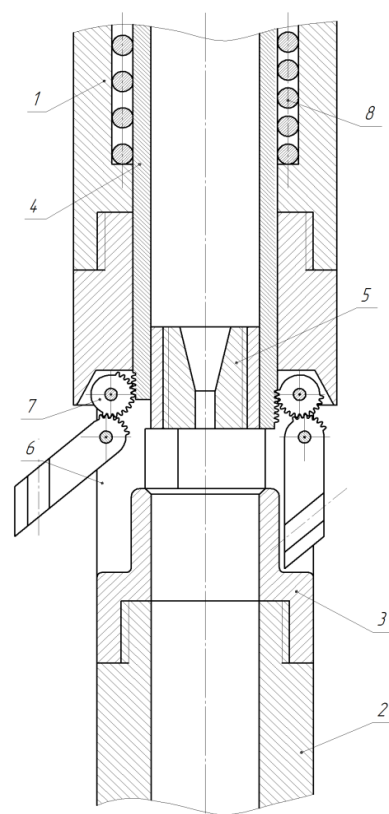


Рисунок 3.6 - ЗУ со складывающимися лепестками шестеренчатого типа:
 1 – корпус; 2 – корпус камеры смешения; 3 – корпус ЗУ;
 4 – подпружиненный поршень; 5 – сопло; 6 – лепесток ЗУ; 7 – промежуточное колесо; 8 – пружина. 9 – ось.

Достоинства:

- Обеспечивает движение лепестков в нужном направлении.
- Фиксация.
- Плавность работы (в червячном варианте).
- Недостатки:
- Усложнение схемы.
- Крайне нежелательное увеличение числа мелких подвижных частей.
- Большие потери на трение.
- Трудноосуществимое вращение червячного штока (в червячном варианте).

Поиск новых решений по модернизации ЗУ

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что конструкция с шарнирными лепестками и поступательно движущимся толкателем является осуществимой. Однако проблема направления движения лепестков остается нерешенной. В связи с этим был сделан выбор в пользу внедрения шарнирно-рычажной конструкции.

На рисунке ниже представлен приблизительный вид ЗУ с механизмом шарнирно-рычажного типа, в котором эта проблема решена. Новая конструкция в корне изменила принцип работы механизма. В данном ЗУ на каждый лепесток приходится одна тяга, направляющая, ползун, пружина, паз в корпусе.

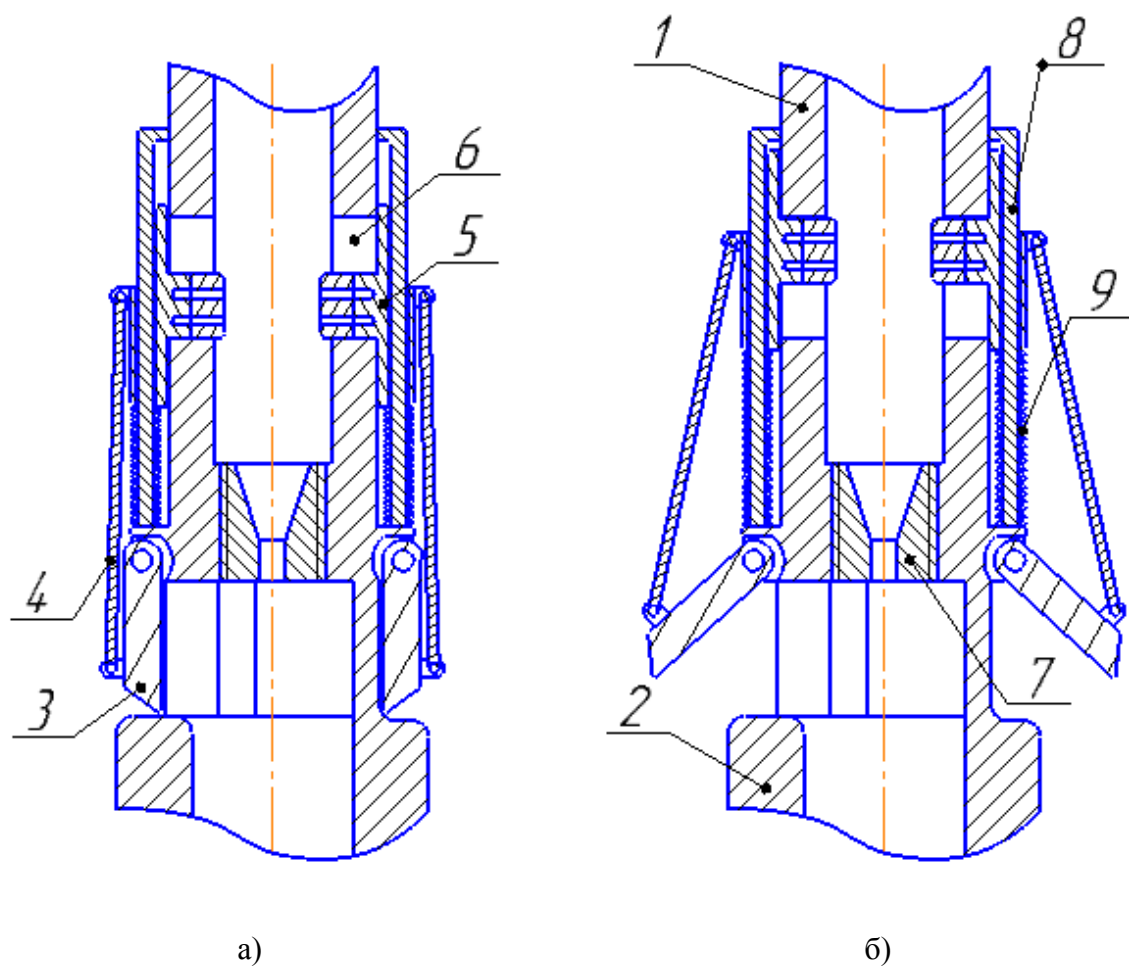


Рисунок 3.7 - ЗУ с механизмом шарнирно-рычажного типа:

а – транспортное положение; б – рабочее положение.

1 – корпус, 2 – корпус камеры смещения, 3 – лепесток, 4 – тяга, 5 – ползун, 6 – паз в корпусе,
7 – сопло, 8 – направляющая 9 – пружина.

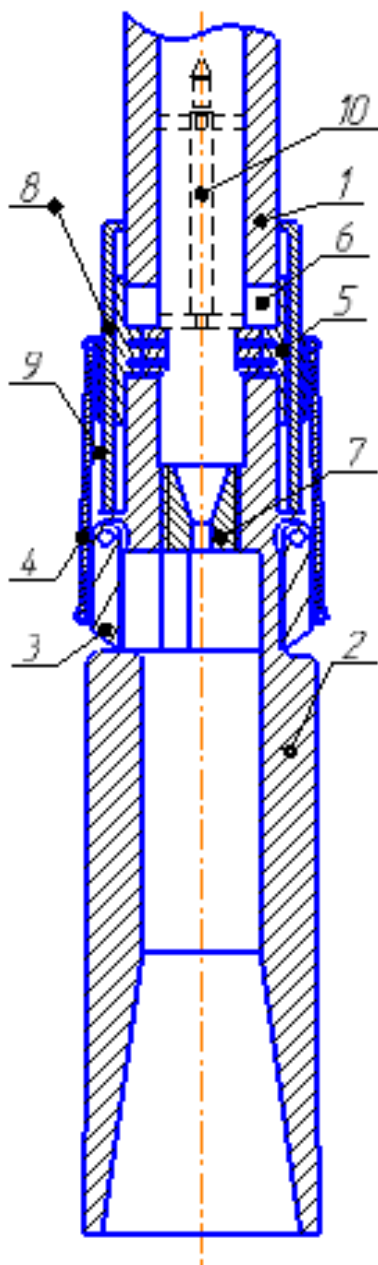


Рисунок 3.8 - ЗУ с механизмом шарнирно-рычажного типа:

1 – корпус; 2 – корпус камеры смещения; 3 – лепесток; 4 – тяга; 5 – ползун; 6 – паз в корпусе; 7 – сопло; 8 – направляющая; 9 – пружина; 10 – запорный клапан.

Принцип его действия заключается в следующем. В транспортном положении лепесток 3 находится в углублении корпуса 1. На подпружиненный ползун 5 в направлении как показано на рисунке воздействует предварительно сброшенный запорный клапан 10, который, в свою очередь, приводится в действие промывочной жидкостью. Ползун 5 перемещается по направляющим 8 в нижнее положение, при котором рычаг 4 (толкатель) воздействует на подвижный лепесток 3 задерживающего устройства. Лепесток закрывается и при совпадении фиксирующего средства с канавкой оказывается в транспортном положении.

Достоинства конструкции:

- обеспечивает поворот лепестков в нужном направлении;
- имеет простой механизм перевода из рабочего положения в транспортное и обратно;
- минимизирует возможность заклинивая при переводе механизма из рабочего положения в транспортное и обратно;
- простота технологического процесса при изготовлении механизма.

Поэтому данная конструкция выбирается в качестве базовой, на основе которой будет разработан итоговый вариант.

Однако перед тем как перейти к определению параметров ЗУ необходимо изучить процесс шароструйного бурения для того, чтобы выявить характер протекающих процессов и функции элементов ШЭБС.

4. Разработка конструкции ЗУ

4.1. Выбор скважины и расчет диаметра долота

Примем, что к началу бурения с использованием шароштурейного снаряда определенная глубина была пройдена шарошечным долотом, диаметр которого предстоит определить для того, чтобы максимально приблизить условия проектирования к реальным.

Предположим также, что решение перехода от вращательного способа к шароштурейному было принято в связи с увеличением крепости породы, так как применение шароштурейного бурения в диапазоне залегания мягких пород нецелесообразно.

Диаметр бурения (диаметр долота) выбирается в зависимости от диаметра эксплуатационной колонны, который, в свою очередь, принимается в соответствии с возможным суммарным дебитом продуктивного пласта (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 - Соответствие рекомендуемого условного внешнего диаметра эксплуатационной колонны и суммарного дебита продуктивного пласта

Нефтяные скважины		Газовые скважины	
Суммарный дебит, т/сут	Рекомендуемый внешний диаметр эксплуатационной колонны, (диаметр муфты), мм	Суммарный дебит, тыс.м ³ /сут.	Рекомендуемый внешний диаметр эксплуатационной колонны, (диаметр муфты), мм
< 40	114 (133)	< 75	114 (133)
40-100	127-140 (146 - 159)	75 - 250	127-140 (146 - 159)
100-150	140-146 (159 - 166)	250 - 500	146 – 178 (166 - 198)
150-300	168-178 (188 - 198)	500 - 1000	178-219 (198 - 245)
>300	178-194 (198 - 216)	1000 - 5000	219-273 (245 - 299)

Таблица 4.2 - Рекомендуемые значения радиального зазора между скважиной и обсадной колонной

Условный внешний диаметр обсадных труб $D_{ок}$	114; 127	140;146	168; 178; 194	219; 245	273; 299	325; 340; 351	377; 406; 426; 473; 508
Радиальный зазор Δ_1 , мм	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-45	45-50

Из технического задания значение предполагаемого дебита для нефтяной скважины равно 50 т/сут. Ему соответствует внешний диаметр эксплуатационной колонны 127 мм (Таблица 4.2).

Согласно [22], диаметр долота под эксплуатационную колонну определяется по формуле

$$D_d = d_m + 2 \cdot \Delta_n, \quad (4.1)$$

где D_d - диаметр долота, мм

d_m - диаметр муфты эксплуатационной колонны, мм (Таблица 3.1)

Δ_n - радиальный между стенкой скважины и муфтой обсадной трубы (Таблица 3).

Для обсадной трубы диаметром 127 мм диаметр муфты равен 146 мм, а диаметральный зазор - 15 мм.

Тогда

$$D_d = 146 + 2 \cdot 15 = 176 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 20692-75 выбирается ближайший диаметр долота $D_d = 187,3$ мм.

4.2. Расчет геометрических параметров шароструйного снаряда

Рассчитаем геометрические параметры ШЭБС, учитывая требования, выявленные в пункте 3.4, а также условия модели скважины.

Известно [7], что при шароструйном бурении для эффективного разрушения горной породы следует применять шары максимально возможного диаметра.

Определяем максимальный размер породоразрушающих шаров:

$$d_{\text{ш}} = \frac{D_{\text{СКВ}}}{6,6}, \quad (4.2)$$

где $D_{\text{СКВ}}$ - диаметр скважины, равный диаметру долота $D_{\text{д}} = 187,3$ мм.

$$d_{\text{ш}} = \frac{187,3}{6,6} = 28,379 \text{ мм.}$$

Так как планируется применять шарики от подшипников качения, то округлим полученное значение до их ближайшего стандартного диаметра. По [23] это значение равно 28,575 мм.

Исходя из полученного значения диаметра шара, вычислим основные геометрические параметры ШЭБС:

- диаметр камеры смешения;
- длину камеры смешения;
- наружный диаметр бурового снаряда;
- высоту технологических окон;
- диаметр выходного сечения сопла.

Все дальнейшие вычисляемые параметры будем приводить к нормальным линейным значениям [16].

Диаметр камеры смешения

По экспериментальным данным Увакова А.Б. [7] во избежание заклинивания шаров в камере смешения ее диаметр должен определяться по формуле:

$$d_{\text{КС}} = 2,2 \cdot d_{\text{Ш}}, \quad (4.3)$$

где $d_{\text{Ш}}$ – диаметр шара.

$$d_{\text{КС}} = 2,2 \cdot 28,575 = 62,865 \approx 63 \text{ мм.}$$

Следовательно, площадь камеры смешения вычисляется следующим образом:

$$S_{\text{КС}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{КС}}^2}{4}. \quad (4.4)$$

$$S_{\text{КС}} = \frac{3,14 \cdot 63^2}{4} = 3115,665 \approx 3116 \text{ мм}^2.$$

Наружный диаметр бурового снаряда

Согласно [7] наружный диаметр бурового снаряда равен:

$$d_{\text{бс}}^{\text{н}} = D_{\text{СКВ}} - 2 \cdot 1,1 \cdot d_{\text{Ш}}. \quad (4.5)$$

$$d_{\text{бс}}^{\text{н}} = 187,3 - 2 \cdot 1,1 \cdot 28,575 = 124,435 \approx 124 \text{ мм.}$$

Длина камеры смешения

Согласно [7] длина камеры смешения определяется нижеследующим выражением:

$$l_{\text{КС}} = 8 \cdot d_{\text{КС}} \quad (4.6)$$

$$l_{\text{КС}} = 8 \cdot 63 = 504 \approx 500 \text{ мм.}$$

Высота технологических окон

Согласно [7] определяем высоту технологических окон:

$$h_{\text{то}} = 1,25 \cdot d_{\text{ш}} \quad (4.7)$$

$$h_{\text{то}} = 1,25 \cdot 28,575 = 35,72 \approx 40 \text{ мм.}$$

Форма входного участка камеры смешения

Влияние формы входного участка камеры смешения учитывается коэффициентом инжектируемого потока, представляющим собой произведение коэффициентов скорости камеры смешения, диффузора и входного участка. Изменение формы входного участка камеры смешения влияет на величину коэффициента скорости входного участка. При уменьшении коэффициента скорости уменьшается коэффициент инжектируемого потока, падает коэффициент инжекции или уменьшается степень сжатия аппарата.

Согласно данным, представленным в работе [24], наиболее рациональной является коноидальная форма, однако она сложна в изготовлении. Наиболее простой и в тоже время обладающей незначительным сопротивлением является коническая форма с углом конусности 45–60° [25–26].

По конструктивным соображениям вход в камеру смешения снабжен фаской шириной 0,5 мм под углом 45°.

Размеры диффузора

Наиболее сложной задачей расчета является установление оптимальной формы диффузора, соответствующей безотрывному течению и минимуму потерь энергии при заданных режимных параметрах [26].

По экспериментальным данным, приведенным в большинстве работ [24, 25, 27], значение оптимального угла раскрытия диффузора составляет 8°. На основании экспериментальных исследований [28] установлено, что наилучшая скорость проходки при шароштруйном бурении наблюдается при угле раствора

диффузора, равным 30° . Авторы объясняют это тем, что с увеличением угла раствора уменьшается длина диффузора, что в свою очередь ведет к увеличению величины скорости шара, с которой он ударяется о забой скважины.

Высоту диффузора согласно [7] можно определить по формуле:

$$l_d = \frac{\frac{d_{\text{бс}}^{\text{н}} - d_{\text{кс}}}{2} - r_1}{\text{tg } \alpha}, \quad (4.8)$$

где $d_{\text{бс}}^{\text{н}}$ – наружный диаметр струйного аппарата, r_1 – толщина стенки диффузора в выходном сечении, α – угол раскрытия диффузора.

Для обеспечения достаточного количества ударов шаров по периферийной части забоя при меньшем расстоянии между долотом и забоем, выбираем угол раскрытия $\alpha = 10^\circ$.

Толщину стенки определяем следующим образом:

$$r_1 = 0,5 \cdot d_{\text{ш}}. \quad (4.9)$$

$$r_1 = 0,5 \cdot 28,575 = 14,288 \approx 15 \text{ мм.}$$

Тогда высота диффузора равна:

$$l_d = \frac{\frac{124 - 63}{2} - 15}{0,176} = 88,07 \approx 90 \text{ мм.}$$

Толщина ребер технологических окон

Необходимо спроектировать минимально возможную ширину ребер технологических окон без потери жесткости бурового снаряда.

Для начала определим толщину стенок камеры смешения, так как это значение равно толщине ребер.

$$h = \frac{d_{\text{бс}}^{\text{н}} - d_{\text{кс}}}{2}. \quad (4.10)$$

$$h = \frac{124 - 63}{2} = 30,5 \text{ мм.}$$

Определение остальных размеров ребер жесткости будет определено конструктивно.

После определения всех необходимых геометрических показателей снаряда заносим их в таблицу для последующего выполнения чертежа ШЭБС с учетом этих размеров.

Таблица 4.3 – Основные геометрические параметры ШЭБС

Параметр	D_d	$d_{ш}$	$d_{кк}$	$d_{бс}^H$	$l_{кк}$	$h_{то}$	$d_{сопла}$	k	α	l_d	r_1
Значение, мм	187,3	28,5 75	63	124	500	40	26	$0,5 \times 45^\circ$	10°	90	15

4.3. Определение технологических параметров шароструйного бурения

Расчёт оптимального режима шароструйного бурения будет проводиться для скважины диаметром 187,3 мм в гранитном массиве ($P_c=900 \text{ кг/мм}^2$, $E_2=1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$, $\mu_2=0,25$). Промывочная жидкость – вода ($\rho_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$).

Предполагается для бурения использовать шары подшипников, работающих в агрессивных средах и при повышенной температуре (коррозионно-стойкая, теплостойкая) из стали 96Х18-Ш ($E_1=200026 \text{ МПа}$, $\mu_1=0,28$, $\rho_{ш} = 7,75 \text{ кг/м}^3$).

Исходя из предыдущих расчётов, принимаем длину бурового снаряда $l_{бс} = 1000 \text{ мм}$.

1. Рассчитывается оптимальная масса порции шаров по формуле:

$$m_{ш} = m_{1ш} \cdot N^{ш} = \frac{\rho_{ш} \cdot \pi \cdot d_{ш}^3 \cdot N^{ш}}{6}, \quad (4.11)$$

где $N_{ш}$ – количество поднимающихся шаров в затрубном пространстве, вычисляемое по формуле:

$$N_{ш} = \left(\frac{l_{6с}}{d_{ш} \cdot C_1} \right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot (d_{6с} + D_{СКВ})}{2 \cdot d_{ш} \cdot C_2} \right), \quad (4.12)$$

где C_1 – коэффициент, учитывающий зазор между рядами, по экспериментальным данным $C_1=1,5$; C_2 – коэффициент, учитывающий зазор между шарами в ряду, по экспериментальным данным $C_2=1,5$.

$$N_{ш} = \left(\frac{1000}{28,575 \cdot 1,5} \right) \cdot \left(\frac{3,14 \cdot (124 + 187,3)}{2 \cdot 28,575 \cdot 1,5} \right) \approx 266,$$

$$m_{ш} = m_{1ш} \cdot N_{ш} = \frac{7750 \cdot 3,14 \cdot 0,028575^3 \cdot 266}{6} = 25,17 \text{ кг.}$$

Материал шаров 96Х18-Ш $\rho_{ш} = 7,75 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

2. Определяется величина скорости шара, необходимой для разрушения горной породы в оптимальном режиме [6,7]:

$$V_{\text{опт}} = 2,15 \cdot \left(\frac{4 \cdot (1 - \mu_1^2)}{E_1} + \frac{4 \cdot (1 - \mu_2^2)}{E_2} \right)^2 \cdot$$

$$\cdot \sqrt{\frac{g \cdot P_c^5}{\rho_{ш} \cdot d_{ш}^3 \cdot \left(\frac{4}{d_{ш}} - \frac{4}{0,78 \cdot D_{СКВ}} \right)^3}}. \quad (4.13)$$

$$= 2,15 \cdot \left(\frac{4 \cdot (1 - 0,28^2)}{2 \cdot 10^5} + \frac{4 \cdot (1 - 0,25^2)}{0,98 \cdot 10^5} \right)^2 \cdot$$

$$\cdot \sqrt{\frac{9,8 \cdot 9 \cdot 10^8}{7,75 \cdot 10^3 \cdot (28,575 \cdot 10^{-3})^3 \cdot \left(\frac{4}{28,575 \cdot 10^{-3}} - \frac{4}{0,78 \cdot 187,3 \cdot 10^{-3}} \right)^3}}$$

$$= 44,045 \approx 44 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

3. Скорость падения шаров в воде рассчитывается по формуле Риттингера:

$$q = w \sqrt{\frac{d_{\text{ш}}(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}})}{\rho_{\text{ж}}}}, \quad (4.14)$$

где w – коэффициент, равный для шарообразных тел 5,11.

Отсюда

$$q = 5,11 \sqrt{\frac{28,575 \cdot 10^{-3}(7,75 \cdot 10^3 - 1000)}{1000}} = 2,4 \text{ м/с.}$$

Необходимо также учитывать максимально допустимую скорость течения жидкости в кольцевом пространстве для предупреждения смывания глинистой корки.

4. Максимально возможную скорость восходящего потока находят из выражения [22, 24, 25, 27]:

$$V_{\text{кп max}} = \frac{q}{1,3},$$

$$V_{\text{кп max}} = \frac{2,4}{1,3} = 1,85 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

5. Максимальный расход жидкости, подаваемой насосом, при котором не происходит размывания стенок:

$$Q_{\text{рmax}} = V_{\text{кп max}} \cdot S_{\text{кп}} = V_{\text{кп max}} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{\text{д}}^2 - d_{\text{бс}}^2)}{4}; \quad (4.15)$$

$$Q_{\text{рmax}} = 1,85 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,187^2 - 0,124^2)}{4} = 135,67 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

6. По техническим характеристикам бурового насоса или группы буровых насосов (при условии их параллельной установки) выбирается расход $Q_{\text{р}}$, величина которого должна быть меньше величины максимально возможного расхода $Q_{\text{рmax}}$.

Согласно [29] выбираем Насос буровой трехпоршневой УНБТ–950 /А со следующей характеристикой производительности

Таблица 4.4 - Характеристика бурового насоса УНБТ – 950/А

Дпоршня, мм	Предельно давление на выходе, МПа	Частота двойных ходов в минуту	Подача, м ³ /ч
180	19,0	100	132,5

7. Величина необходимой средней скорости бурового раствора в буровом снаряде определяется по формуле:

$$V_{6c} = \frac{V_{опт}}{\varepsilon}, \quad (4.16)$$

где ε – отношение скорости шаров к скорости жидкости в буровом снаряде, принимается равному 0,7 [7].

$$V_{6c} = \frac{44}{0,7} = 62,86 \frac{м}{с}.$$

8. Определяется требуемый коэффициент эжекции:

$$n = \frac{S_{кc} \cdot V_{6c}}{Q_p} - 1. \quad (4.17)$$

$$n = \frac{0,00407 \cdot 62,86}{\frac{132,5}{3600}} - 1 = 2,95.$$

При это необходимо учесть коэффициент эжекции шаров. Так по [7] коэффициент эжекции по жидкости будет равен разности общего коэффициента эжекции и коэффициента эжекции по шарам. Для вычисленного значения оптимальной скорости он примерно равен 0,9:

$$n_{ж} = n - n_{ш}. \quad (4.18)$$

$$n_{ж} = 2,95 - 0,9 = 2,05.$$

9. По графику зависимости коэффициента эжекции от отношения площади сопла к площади камеры смешения (рисунок 4.1), полученного американскими специалистами [2] при неизменном диаметре камеры смешения, определяется требуемое отношение S_c/S_{kc} .

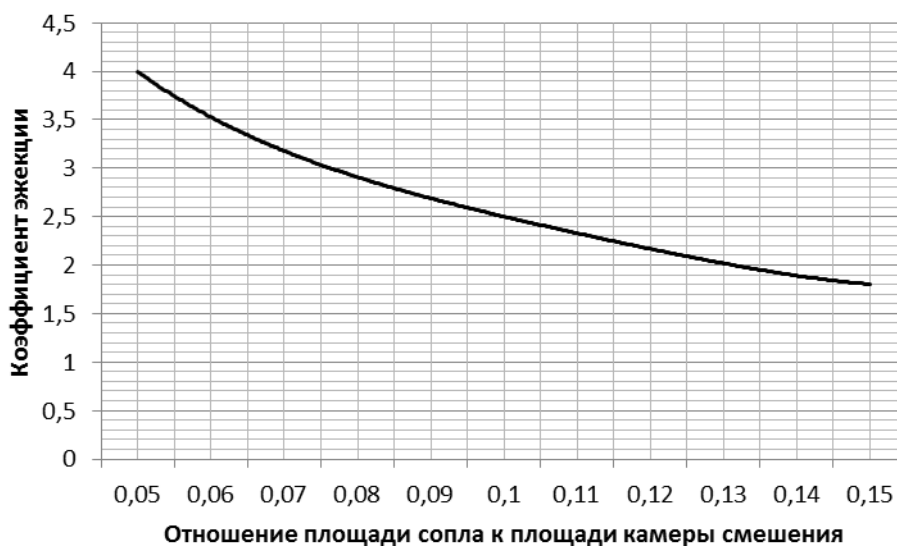


Рисунок 4.1 - Зависимость коэффициента эжекции от отношения площади сопла к площади камеры смешения

Следует отметить, что значения коэффициента эжекции, равные 2÷4, являются наиболее приемлемыми. В случае превышения коэффициента эжекции ухудшаются условия выноса шлама, в результате чего уменьшается КПД струйного аппарата и затрачивается дополнительная энергия на его измельчение.

Полученному значению коэффициенту эжекции $n_{ж} = 2,05$ соответствует $\frac{S_c}{S_{kc}} = 0,12$.

По [7] определяется диаметр и площадь выходного сечения сопла:

$$S_c = \left[\frac{S_c}{S_{kc}} \right] \cdot S_{kc}, \quad (4.19)$$

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{kc} \cdot \left[\frac{S_c}{S_{kc}} \right]}{\pi}}. \quad (4.20)$$

$$S_c = 0,13 \cdot 4070 = 529,1 \text{ мм}^2,$$

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 529,1}{3,14}} = 25,96 \approx 26 \text{ мм.}$$

Далее следует определить форму сопла.

От выбора геометрической формы сопла зависит изменение перепадов давлений и расхода жидкости. По [22,28] наилучшие результаты дает сопло, выполненное в виде конической насадки, заканчивающейся коротким цилиндрическим sprыском. Коническая насадка увеличивает выходную скорость, а цилиндрическая часть сохраняет форму струи и предотвращает ее от разбрызгивания.

По экспериментальным данным [7, 25] оптимальное значение угла конусности конической части насадки составляет 12–15°, согласно [28] оптимальный угол конусности составляет 13°24'. Для обеспечения технологичности изготовления назначаем 13°30'.

Согласно [2] длина цилиндрической части сопла определяется по формуле:

$$l_{\text{соп}}^{\text{цил}} = (1 \dots 2) \cdot d_{\text{соп}}^{\text{цил}}. \quad (4.21)$$

$$l_{\text{соп}}^{\text{цил}} = 2 \cdot 26 = 52 \text{ мм.}$$

Конструктивно назначаем длину сопла равной $l_{\text{соп}} = 140$ мм. Отсюда длина конической части сопла:

$$l_{\text{соп}}^{\text{кон}} = l_{\text{соп}} - l_{\text{соп}}^{\text{цил}}. \quad (4.22)$$

$$l_{\text{соп}}^{\text{кон}} = 140 - 52 = 88 \text{ мм.}$$

С учетом принятого угла конусности 13°30' получаем, что диаметр входного сечения сопла $d_c = 68$ мм.

Также необходимо учесть возможность сборки сопла и корпуса шароструйного аппарата. Из схемы, видно, что целесообразно выбирать наружный диаметр сопла близким к внутреннему диаметру камеры смешения.

Исходя из технологического процесса формообразования резьбы обработкой резанием [30] выбираем резьбу M110x4 для соединения сопла с камерой смешения.

Определим оптимальное расстояние между выходным сечением рабочего сопла и входным сечением камеры смешения.

Расчет производится из условия, что при расчетном коэффициенте эжекции конечное сечение свободной струи равно входному сечению камеры смешения.

Согласно [1] расстояние между выходным сечением рабочего сопла и входным сечением камеры смешения определяется по формуле:

$$l_{\text{КС}}^{\text{соп}} = (1 \dots 1,5) \cdot d_{\text{КС}}, \quad (4.23)$$

$$l_{\text{КС}}^{\text{соп}} = 1,25 \cdot d_{\text{КС}} = 1,25 \cdot 72 = 90 \text{ мм.}$$

Согласно [3, 4,8] расстояние определяется нижеследующим выражением:

$$l_{\text{КС}}^{\text{соп}} = (1 \dots 3) \cdot d_{\text{соп}}^{\text{цил}}. \quad (4.24)$$

$$l_{\text{КС}}^{\text{соп}} = 1,5 \cdot d_{\text{соп}}^{\text{цил}} = 1,5 \cdot 26 = 39 \text{ мм}$$

Следовательно, значение расстояния между выходным сечением рабочего сопла и входным сечением камеры смешения необходимо выбрать в интервале 39...90 мм.

В ходе проведенных исследований было установлено, что расстояние между выходным сечением сопла и верхним срезом технологических окон должно быть равно нулю [20].

Также следует отметить, что высота технологических окон для свободного прохождения используемых шаров равна 40 мм (п. 3.2).

В соответствии с вышесказанным выбирается расстояние равное высоте технологических окон:

$$l_{\text{КС}}^{\text{соп}} = h_{\text{То}} = 40 \text{ мм.}$$

10. Перепад давлений в сопле вычисляется по формуле:

$$\Delta P_c = \frac{Q_p^2 \cdot \rho_{\text{бр}}}{\mu^2 \cdot 2 \cdot S_c^2}, \quad (4.25)$$

где μ – коэффициент расхода сопла, для принятой формы сопел равный 0,95 [25].

$$\Delta P_c = \frac{0,367^2 \cdot 1000}{0,95^2 \cdot 2 \cdot 0,0005291^2} = 2,67 \text{ МПа.}$$

Согласно [22, 24, 27] рассчитанный перепад давления в сопле должен быть не более 12 МПа для предупреждения интенсивного износа сопла при течении через него бурового раствора.

$$2,67 < 12.$$

11. Рассчитываются потери давления в циркуляционной системе $\Sigma(\Delta P_i)$:

$$\Sigma(\Delta P_i) = \Delta P_T + \Delta P_{\text{КП}} + \Delta P_3, \quad (4.26)$$

где ΔP_T – потери давления в бурильной колонне, $\Delta P_{\text{КП}}$ – потери давления в затрубном пространстве, ΔP_3 – потери давления от замков в затрубном пространстве.

Для определения ΔP_T и $\Delta P_{\text{КП}}$ необходимо определить режим движения жидкости.

Из [7] известно, что при промывке скважины водой в кольцевом пространстве практически всегда режим течения турбулентный.

Поэтому потери давления в трубах и кольцевом пространстве при турбулентном движении бурового раствора рассчитываются по формуле Дарси-Вейсбаха [24-26]:

$$\Delta P_T = \lambda_T \cdot \frac{8 \cdot \rho_{бр} \cdot Q^2 \cdot L_{СКВ}^{max}}{\pi^2 \cdot d_B^5}, \quad (4.27)$$

$$\Delta P_{КП} = \lambda_{КП} \cdot \frac{8 \cdot \rho_{бр} \cdot Q^2 \cdot L_{СКВ}^{max}}{\pi^2 \cdot (D_{СКВ} - d_H)^3 \cdot (D_{СКВ} + d_H)^2}, \quad (4.28)$$

где λ_T , $\lambda_{КП}$ – коэффициенты гидравлического сопротивления в трубах и кольцевом пространстве, принимаются равными 0,02 и 0,035 соответственно.

Соотношение наружного диаметра бурильных труб муфтово-замкового соединения и основного диаметра скважины принимается равным [27]:

$$\frac{d_T}{D_{СКВ}} = 0,6. \quad (4.29)$$

Отсюда

$$d_T = 0,6 \cdot D_{СКВ} = 0,6 \cdot 215,9 = 129,54 \text{ мм.}$$

По таблице 5 выбираем диаметр бурильных труб равным 140 мм с соответствующим диаметром муфты 171 мм. Внутренний диаметр 120 мм.

Таблица 4.5 - Размеры, масса и жесткость стальных буровых труб

Труба		толщина стенки, мм	Муфта наружный диаметр, мм	Масса, кг		
Условный	Наружный			1 м гладкой трубы	двух высадок	муфты
60	60,3	7; 9	80	9,15; 11,3	1,5	02.07.11
73	73	7; 9; 11	95	11,4; 14,2; 16,8	2	4,2
89	89	7; 9; 11	108	14,2; 17,8; 21,2	3,2	4,4
102	101,6	7; 8; 9; 10	127	16,4; 18,5; 20,4 22,4	5	7
114	114,3	7; 8; 9; 10; 11	140	18,5; 20,9; 23,3 25,7; 28,0	6	9
127	127	7; 8; 9; 10	152	20,7; 23,5; 26,2; 28,9	6,5	10
140	139,7	8; 9; 10; 11	171	26; 29; 32; 35	7,5	14
168	168,3	9; 10	197	35,3; 39,0	9,5	16,7

Вычисляем потери давления в трубах и кольцевом пространстве:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot \frac{8 \cdot 1000 \cdot 0,0368^2 \cdot 4500}{3,14^2 \cdot 0,12^5} = 3,97 \text{ МПа},$$

$$\Delta P_{кп} = 0,035 \cdot \frac{8 \cdot 1000 \cdot 0,0368^2 \cdot 4500}{3,14^2 \cdot (0,2159 - 0,140)^3 \cdot (0,2159 + 0,140)^2} = 3,12 \text{ МПа}$$

Вычисляются потери давления от замков в затрубном пространстве по формуле [22, 25, 27]:

$$\Delta P_3 = \frac{L_{СКВ}^{max}}{l_{1T}} \cdot \left(\frac{D_{СКВ}^2 - d_H^2}{D_{СКВ}^2 - d_3^2} - 1 \right)^2 \cdot \rho_{бр} \cdot V_{кп}, \quad (4.30)$$

где $V_{кп}$ – скорость движения бурового раствора в затрубном пространстве в области буровых труб, рассчитываемая по формуле:

$$V_{кп} = \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot (D_{СКВ}^2 - d_H^2)}. \quad (4.31)$$

$$V_{кп} = \frac{4 \cdot 0,0368}{3,14 \cdot (0,2159^2 - 0,14^2)} = 1,74 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$\Delta P_3 = \frac{4500}{12} \cdot \left(\frac{0,2159^2 - 0,14^2}{0,2159^2 - 0,171^2} - 1 \right)^2 \cdot 1000 \cdot 1,74 = 0,2 \text{ МПа}.$$

12. Исходя из величин ΔP_c , $\Sigma(\Delta P_i)$, найдем давление перед буровым снарядом:

$$P_{6c} = P_{\text{ВЫХ}} - (\Delta P_T), \quad (4.32)$$

где $P_{\text{ВЫХ}}$ - давление насоса на выходе.

$$P_{6c} = 19 - 3,97 = 15,03 \text{ МПа.}$$

13. Тогда сила давления на клапан составит:

$$F = P_{6c} \cdot S_{\text{КС}},$$

$$F = 15,03 \cdot 10^6 \cdot 4070 \cdot 10^{-6} = 44892 \text{ Н}$$

Это значение будет рабочим значение пружины, т.е. $F = F_2$.

4.4. Расчет хода ползуна

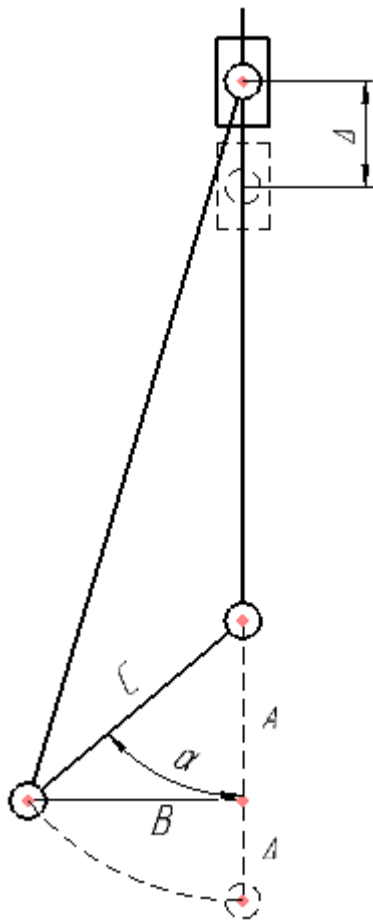


Рисунок 4.3 – шарнирно-рычажная схема работы ЗУ.

Для расчета хода ползуна понадобится обозначить следующие размеры:

C – расчетная длина лепестка ЗУ;

B – затрубное пространство;

A – проекция расчетной длины лепестка на ось движения ползуна;

α – угол раскрытия лепестка;

Δ – ход ползуна.

Ширина затрубного пространства вычисляется по формуле:

$$B = 1,2 \cdot d_{\text{ш}},$$

где $d_{\text{ш}}$ – диаметр шарика.

Длина лепестка будет равняться:

$$C = \frac{B}{\sin \alpha} = \frac{1,2 \cdot d_{\text{ш}}}{\sin \alpha}, \quad (4.33)$$

$$A = \cos \alpha \cdot C = \frac{1,2 \cdot d_{\text{ш}} \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha} = 1,2 \cdot d_{\text{ш}} \cdot \text{ctg} \alpha. \quad (4.34)$$

Ход ползуна найдется как разность длин C и A :

$$\Delta = C - A = \frac{1,2 \cdot d_{\text{ш}}}{\sin \alpha} - 1,2 \cdot d_{\text{ш}} \cdot \text{ctg} \alpha. \quad (4.35)$$

Из расчетов геометрических параметров шароструйного снаряда нам известно, что $d_{ш}=28,575$ мм, $\alpha=45^\circ$:

$$\begin{aligned} \Delta = C - A &= \frac{1,2 \cdot d_{ш}}{\sin \alpha} - 1,2 \cdot d_{ш} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \\ &= \frac{1,2 \cdot 28,575}{\sin 45^\circ} - 1,2 \cdot 28,575 \cdot \operatorname{ctg} 45^\circ = 14,2 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Вычислив ход ползуна делаем вывод, что высоту окон в корпусе шароструйно-эжекторного снаряда следует сделать равной 14,2 мм.

4.5. Определение компоновки лепестков

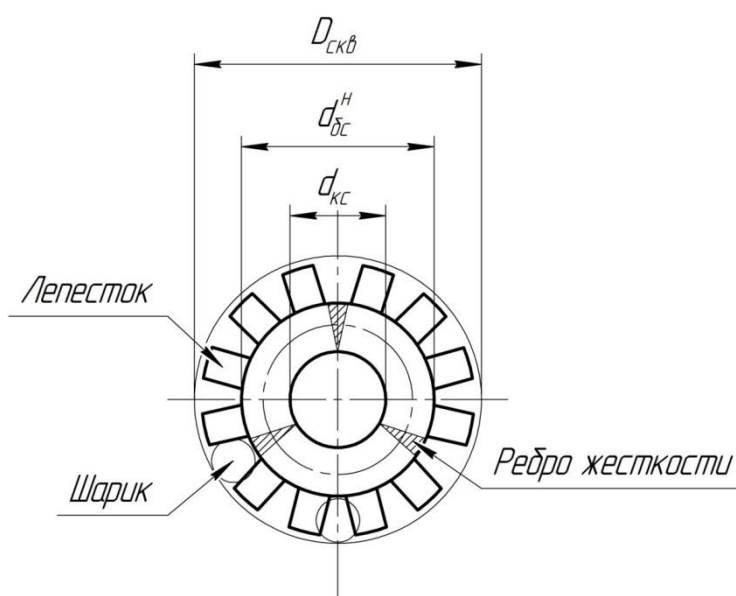


Рисунок 4.2 - Компоновка лепестков ЗУ

Так как длина лепестков должна быть достаточной, чтобы обеспечить задерживание шаров, необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$l_{л} > r_{ш}, \quad (4.36)$$

где $l_{л}$ - длина внешней части лепестка, $r_{ш}$ - радиус шара.

Из рисунка 4.2 видно, что $l_{л}$ вычисляется по следующей формуле:

$$l_{л} = \frac{D_{СКВ} - d_{бс}^H}{2 \cdot 1,2}, \quad (4.37)$$

где 1,2 – коэффициент, обеспечивающий зазор между максимальным внешним диаметром снаряда и диаметром скважины.

$$l_{л} = \frac{187,3 - 124}{2 \cdot 1,2} = 26,375 \approx 26,4 \text{ мм.}$$

Проверяем выполнение условия (3.33):

$$26,4 > 14,2875 ,$$

- условие выполняется.

Ширина лепестка находилась графически из условия обеспечения складывания ЗУ.

В ходе подбора оптимального количества лепестков было решено разбить их на три сектора в каждом по 4 лепестка, разделенных соответственно ребрами жесткости.

Данный вид компоновки обеспечивает в сложенном состоянии сплошное перекрытие технологических окон, что исключает подсосывание шаров при улавливании. Также предполагается, что данная конструкция в виду большего проходного сечения снизит нежелательное эжектирование и переизмельчение шлама и гидравлические удары.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Ленкину Олегу Сергеевичу

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	Магистр	Направление/ специальность	21.04.01 «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Оценка материально-технических и финансовых затрат на проведение научного исследования по разработке шароструйного эжекторного бурового снаряда
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормативы расхода материалов на технологический процесс
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налоговый кодекс РФ ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016г. № 55-ФЗ
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка эффективности НИИ «Разработки шароструйно эжекторного бурового снаряда»	Обоснование перспективности разработки шароструйного эжекторного бурового снаряда в целях повышения технико-экономических показателей бурения
2. Определение бюджета научно-исследовательского проекта	1.Определение основных статей расходов на реализацию проекта; 2.Составление сметы затрат; 3.Формирование бюджета для проведения научно-исследовательского проекта.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение итоговой сметной стоимости научного исследования по разработке шароструйного эжекторного бурового снаряда
Перечень графического материала	
1. Расчетные формулы 2. Таблицы: <ul style="list-style-type: none"> – Материальные затраты – Затраты на энергоносители – Затраты по основной заработной плате – Затраты на единовременные выплаты в связи со сдачей этапа – Отчисления в государственные внебюджетные фонды – Контрагентные расходы – Общие затраты 	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПР	Шарф Ирина Валерьевна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Ленкин Олег Сергеевич		

5. Экономическое обоснование рентабельности применения установки шароструйно – эжекторного бурового снаряда

В данной главе отражены и проведены расчеты всех видов расходов, направленных на проведение научного исследования и разработки конструкции шароструйно – эжекторного бурового снаряда.

Затраты на выполнение научно-исследовательского проекта включают в себя следующие элементы:

- затраты на приобретение оборудования для преобразователя плотности;
- затраты на специальное оборудование и рабочие компоненты;
- затраты на оплату труда;
- затраты на страховые взносы;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

5.1. Расчет материальных затрат

Величина расходов, затраченных на приобретение оборудования, используемых, непосредственно, в разработке самого шароструйно – эжекторного бурового снаряда, рассчитывается по формуле:

$$Z_o = (1 + k_t) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (5.1)$$

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 научного исследования (шт.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы

Коэффициент k_T , описывающий транспортные расходы на доставку материалов принимается минимальным, равным 15% (т.е. $k_T = 0,15$) от самой стоимости этих материалов. Минимальный уровень стоимости доставки

объясняется тем, что все составляющие изделия изготавливаются в городе, где проводится разработка, местными компаниями и лицами.

Все рассчитанные материальные затраты, необходимые для разработки конструкции шароструйно – эжекторного бурового снаряда представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Стоимость оборудования шароструйно – эжекторного бурового снаряда

<i>Наименование</i>	<i>Ед. изм.</i>	<i>Кол-во</i>	<i>Цена за ед., тыс. руб.</i>	<i>Затраты на материалы, (Зм), тыс. руб.</i>
Шароструйно – эжекторный буровой агрегат:				
- Колонна бурильных труб	шт.	15	10000	150000
- Калибратор	шт.	1	8500	8500
- Переводник	шт.	1	2600	2600
- Корпус	шт.	1	3500	3500
- Кольцевое сопло	шт.	1	3100	3100
- Присоединительная головка	шт.	1	2400	2400
- Опора	шт.	1	3200	3200
- Крышка корпуса	шт.	2	6000	12000
- Направляющая	шт.	1	2700	2700
- Блок электроники	шт.	1	2300	2300
- Датчик давления	шт.	1	10000	10000
- Задерживающее устройство	шт.	1	9000	9000
- Подпитывающее устройство	шт.	2	8500	17000
- Программное обеспечение	шт.	1	7000	7000
Суммарная стоимость				233300
Итого, с учетом транспортных расходов				268295

Таким образом, стоимость приобретения оборудования для сборки шароструйно – эжекторного бурового агрегата по расчетам составила 268295 тыс. руб.

5.2. Нормативные затраты на энергоносители

Определяются по основным видам энергии:

- бензин (л/руб);
- дизельное топливо (л/руб);

Таблица 5.2 – затраты на топливо

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за единицу., тыс. руб.	Затраты на топливо
Бензин	литр	1000	38,50	38500
Дизельное топливо	литр	1500	40,90	61350
Сумма				99850

Таким образом, стоимость приобретения топлива составила 99850 тыс. руб.

5.3. Затраты по основной заработной плате

Данная статья расходов включает основную заработную плату научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. В данном проекте такими работниками являются руководитель, инженер и лаборант.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (5.2)$$

где: Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 5.3 – Рассчитанные должностные месячные оклады

Исполнители	Разряд	k_t	Z_{tc} , руб.	Z_m , руб
Руководитель	4	2,18	13080	25500
Инженер	3	1,68	10080	19700
Лаборант	1	1	6000	11700

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (5.3)$$

где: Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 5.3).

Таблица 5.4 – Годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала в 2017 г.

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Лаборант
1	2	3	4
Календарное число дней	365		
Количество нерабочих дней - выходные и праздничные дни	98	118	118
Потери рабочего времени, дни - отпуск - невыходы по болезни	48 16	24 18	24 10
Действительный годовой фонд рабочего времени, дни	203	205	213

Произведя расчет по формуле 3 с учетом годового фонда рабочего времени, получим средневзвешенную заработную плату для каждого рабочего (таблица 4).

Таблица 5.5 – Средневзвешенная заработная плата для научно-технического персонала

Исполнитель	Руководитель	Инженер	Лаборант
Средневзвешенная ЗП, руб.	1307	1074	615

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (5.4)$$

где: $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 5.5);

$Z_{\text{дн}}$ – средневзвешенная заработная плата работника, руб.

Общие затраты на основную заработную плату научно-технического персонала, непосредственно участвующего в проводимых работах, составляют 1389666,53 руб. (один миллион триста восемьдесят девять тысяч шестьсот шестьдесят шесть рублей 53 копейки).

5.4. Затраты на единоразовые выплаты в связи со сдачей этапа

В результате работы были понесены затраты на единовременные выплаты работникам денежных средств в связи со сдачей этапа. Следовательно, при расчете затрат на проведение опытно-конструкторской работы необходимо их учесть. Результаты затрат на единовременные выплаты в связи со сдачей этапа, представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Суммы единовременных выплат

Исполнитель	Сумма выплаты, руб.
Руководитель	100 000
Инженер	100 000
Лаборант	60 000

Общие затраты на единоразовые выплаты в связи со сдачей этапа, составляет 260000 руб.

5.5. Отчисления в государственные внебюджетные фонды

Затраты на страховые взносы в Пенсионный фонд, Фонд социального страхования, Фонд обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений в государственные внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (5.5)$$

где: $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 5.7 – Размер обязательных отчислений страховых взносов

Вид затрат	Руководитель	Инженер	Лаборант
Основная ЗП, руб.	640 288,55	463 919,95	285 458,03
Единоразовые выплаты, руб.	100 000	100 000	60 000
Размер страховых взносов, руб.	200 618,2	152 822,31	93 619,13
Суммарные страховые взносы для всего персонала составили			447059,63

5.6. Расчет контрагентных расходов

В результате изготовления стенда испытательного, который сам по себе является целостным уникальным оборудованием, появилось потребность в его аттестации, без которой его нельзя было бы использовать при проведении предварительных испытаний уже изготовленных вибрационных поточных преобразователей плотности.

Кроме того, зарубежные аттестованные преобразователи плотности и вязкости, купленные и установленные на стенд в роли эталонных, подлежат обязательной поверке, которая должна проводится в специализированных лабораториях.

Перечень работ, выполняемых сторонними организациями по договору или контракту, а также величины стоимости их проведения представлены в таблице 12,13.

Таблица 5.8 – Перечень работ и их стоимость, относящихся к контрагентным расходам

Наименование	Кол-во	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, (Зк), тыс. руб.
Разработка программы методики и аттестации испытательного оборудования с проведением его первичного запуска	1	49000	4900
Проведение поверки измерительных приоров и отдельных компоненттов	1	100000	100000
Подсоединение труб	20	20	400
Результирующая стоимость затрат			105300

Для правильной и безопасной работы установки необходим ее правильный монтаж специалистами инженерно-технического отдела. Рассмотрим основные виды работ, которые необходимы для проведения монтажа шароструйно – эжекторного бурового снаряда. Данные виды работ так же относятся к контрагентным услугам.

Таблица 5.9 – Затраты на монтаж шароструйно– эжекторного бурового агрегата

№	Вид монтажных работ	Количество дней	Стоимость работ, рублей
1	Подготовка площадки, отсыпка	2	50000
2	Отсыпка обваловки для недопущения аварийных розливов нефтепродуктов	1	10000
3	Сбор отдельных узлов	4	110000
4	Установка насосов, присоединение рукавов высокого давления с агрегатом	0,5	10000
5	Опрессовка линии давлением в 250 атм.	0,5	5000
Итого		8	185000

Общие затраты на контрагентные работы составило 290300 рублей.

5.7. Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Величина бюджета на разработку научно-исследовательской продукции является нижним пределом по уровню затрат, который защищается научной организацией при формировании договора с заказчиком.

Бюджет включает в себя учет всех ранее рассчитанных необходимых затрат, для проведения научных исследований и получения, в конечном итоге, продукт, который и является целью работы.

Таблица 5.10 – Перечень работ и их стоимость, относящихся к контрагентныни расходам

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	268295	Пункт 2
2. Затраты на энергоносители	99850	Пункт 3
3. Затраты по основной заработной плате	1389666,53	Пункт 4
4. Затраты на единовременные выплаты в связи со сдачей этапа	260000	Пункт 5
5. Отчисления в государственные внебюджетные фонды	447 059,63	Пункт 6
6. Контрагентные расходы	290300	Пункт 7
7. Итоговая величина затрат		Сумма

Бюджетный фонд, сформированный для проведения научно-исследовательской работы по разработке конструкции шароструйно – эжекторного бурового снаряда, составил 2755171,16 руб.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Магистранту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Ленкину Олегу Сергеевичу

Институт	Природных ресурсов	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>В качестве персонала рассматривается бурильщик. Рабочим местом бурильщика является пульт управления.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<i>Анализ опасных и вредных факторов: 1. Анализ и требования, предъявляемые к уровню шумов; 2. Требования к естественному освещению; 3. Требования к искусственному освещению; 4. Защита от механических факторов опасности; 5. Требования безопасности в аварийных ситуациях; 6. Вещества.</i>
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<i>Оценка воздействия месторождения на состояние земельных ресурсов, атмосферный воздух, состояние поверхностных вод. Характеристика месторождения как источника образования отходов производства и потребления. Комплекс мер по охране окружающей среды.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<i>Возможные ЧС: пожары; открытые фонтаны; порывы, разливы нефти;</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 	<i>1. Особенности законодательного регулирования проектных решений; 2. Охрана труда женщин и подростков.</i>

<p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</p>	<p>3. Работа с вредными и (или) опасными условиями труда;</p> <p>4. Работа в ночное время;</p> <p>5. Применение спецодежды и СИЗ;</p> <p>6. Применение спецпитания и особого лечебно-профилактического обслуживания;</p> <p>7. Надзор за охраной труда.</p>
------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Ленкин Олег Сергеевич		

6. Социальная ответственность

В данной дипломной работе снаряд проектируется для полевых испытаний. В связи с этим данный раздел диссертации посвящен анализу возможных опасных и вредных факторов при работе на буровой установке.

В качестве персонала рассматривается бурильщик.

Рабочим местом бурильщика является пульт управления.

Работу выполняет в основном стоя. Следит за приборами на пульте управления. Регламентированные перерывы- 3% от рабочего времени.

В его обязанности входит участие в подготовительных работах к пуску буровой, руководство работами по приготовлению и химической обработке промывочной жидкости, подготовка скважин к геофизическим работам, принятие первоначальных мер по ликвидации аварий и осложнений, проверка состояния противовыбросовой арматуры, подготовка и выполнение работ по креплению скважины, выполнение всех работ, связанных с опробованием скважины.

Основной целью раздела является рассмотрение оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

6.1. Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных факторов

Вопросам охраны труда в конституции Российской Федерации отводится особое место. В ней говорится, что Российское государство заботится об улучшении условий и охране труда, его научной организации о сокращении, а в дальнейшем и полном вытеснении тяжелого физического труда на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства.

Анализ и требования, предъявляемые к уровню шумов.

С физиологической точки зрения шум рассматривается как звук, мешающий разговорной речи и негативно влияющий на здоровье человека. Шум является одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов. Люди, работающие в условиях повышенного шума, жалуются на быструю утомляемость, головную боль, бессонницу. У человека ослабляется внимание, страдает память. Все это приводит к снижению производительности труда.

Шум на рабочих местах создается работающим оборудованием, а также проникает извне.

Настоящий стандарт (ГОСТ 12.1.028) распространяется на машины, технологическое оборудование и другие источники шума, которые создают в воздушной среде все виды шумов по ГОСТ 12.1.003-83.

Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в дБ, в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, приведены в таблице 6.3 (таблица дана в сокращении).

Таблица 6.1 - Допустимые уровни звукового давления и уровня звука на рабочих местах

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных Полосах со среднегеометрич. Частотами, Гц								Уровни звука, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
(1)	71	61	54	49	45	42	40	38	50
(2)	79	70	63	58	55	52	50	49	60
(3)	83	74	68	63	60	57	55	54	65
(4)	94	87	82	78	75	73	71	70	80
(5)	99	92	86	83	80	78	76	74	85

- (1) - помещение конструкторских бюро, лаборатории для теоретических работ;
- (2) - помещения управлений, рабочие комнаты;
- (3) - кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой телефонной связью, помещение и участки тонкой сборки;
- (4) - лаборатории для проведения экспериментальных работ;

(5) - постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий.

Уровень шумов от буровой установки и другого оборудования, используемого при работе, незначительный. В данном конкретном случае его уровень определяется только работой насосов и установки энергокомплекса и составляет 80 дБ, что соответствует нормам определенным выше указанным ГОСТом.

Требования к естественному освещению.

1) Коэффициент естественного освещения для производственных помещений со зрительно напряженными работами должен составлять в соответствии со СНиП 11-4:

- 0,035 (3,5%) - при одном боковом освещении для наивысшей точности;
- 0,025 (2,5%) - при одном боковом освещении для работ высокой точности;
- 0,020 (2%) - при боковом освещении для работ высокой точности.

2) Световые проемы производственных помещений должны быть ориентированы на север, кроме того, должны быть предусмотрены солнцезащитные приспособления (жалюзи, козырьки, экраны, шторы, матовая окраска стекол и так далее), устраняющие слепящее действие солнечного света на рабочих местах.

Требования к искусственному освещению.

1) Освещенность рабочей поверхности при комбинированном (общем и местном) освещении должна соответствовать нормам Н-743, освещенность рабочих мест светильниками общего освещения в системе комбинированного должна быть не выше 500 и не ниже 150 лк.

2) Освещенность рабочих мест в производственных помещениях без естественного освещения должна соответствовать СНиП 11-4:

не менее 300 лк - для работы I и II разряда;

не менее 200 лк - для работы III и IV разряда.

Защита от механических факторов опасности.

Оградительные (защитные) устройства исключают возможность случайного проникновения человека в опасную зону. Их устанавливают между опасной зоной и работающими. Они подразделяются: по конструктивному исполнению - на кожухи, дверцы, щиты, козырьки, планки, барьеры и экраны; по способу изготовления - на сплошные, несплошные (перфорированные, сетчатые, решетчатые) и комбинированные; по способу установки - на стационарные и передвижные. Требования безопасности к конструкции и применению защитных ограждений приведены в ГОСТ 12.2.062-81.

Устройства дистанционного управления обеспечивают управление оборудованием или технологическим процессом человеком, находящимся за пределами опасной зоны. Это кардинально повышает безопасность работающих. При этом наблюдения за оборудованием ведутся непосредственно, либо с помощью систем телеметрии и телевидения. По конструктивному исполнению эти устройства подразделяются на стационарные и передвижные, а по принципу действия - на механические, электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные.

Требования безопасности в аварийных ситуациях.

При обнаружении неисправности немедленно обесточить электрооборудование, оповестить администрацию. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности.

При обнаружении оборвавшегося провода необходимо немедленно сообщить об этом администрации, принять меры по исключению контакта с ним людей. Прикосновение к проводу опасно для жизни.

Во всех случаях поражения человека электрическим током немедленно вызывают врача. До прибытия врача нужно, не теряя времени, приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Необходимо немедленно начать производить искусственное дыхание,

наиболее эффективным из которых является метод «рот в рот» или «рот в нос», а также наружный массаж сердца.

Искусственное дыхание пораженному электрическим током производится вплоть до прибытия врача.

На рабочем месте запрещается иметь огнеопасные вещества. В помещениях запрещается:

- а. зажигать огонь;
- б. включать электрооборудование, если в помещении пахнет газом;
- в. курить;
- г. сушить что-либо на отопительных приборах;
- д. закрывать вентиляционные отверстия в электроаппаратуре.

Источниками воспламенения являются:

- а. искра при разряде статического электричества;
- б. искры от электрооборудования;
- в. искры от удара и трения;
- г. открытое пламя.

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара персонал должен немедленно принять необходимые меры для его ликвидации, одновременно оповестить о пожаре администрацию.

Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2 или ОУБ-3.

6.2. Экологическая безопасность

Воздействие нефтяной и газовой промышленности на основные компоненты окружающей среды (воздух, воду, почву, растительный, животный мир и человека) обусловлено токсичностью природных углеводородов, их спутников, большим разнообразием химических веществ, используемых в технологических процессах, а также все возрастающим объемом добычи нефти и газа, их подготовки, транспортировки, хранения, переработки и широкого разнообразного использования.

При бурении нефтяных скважин в окружающую среду поступает большое количество загрязняющих веществ различной степени токсичности, которые оказывают значительный вред всем компонентам окружающей среды.

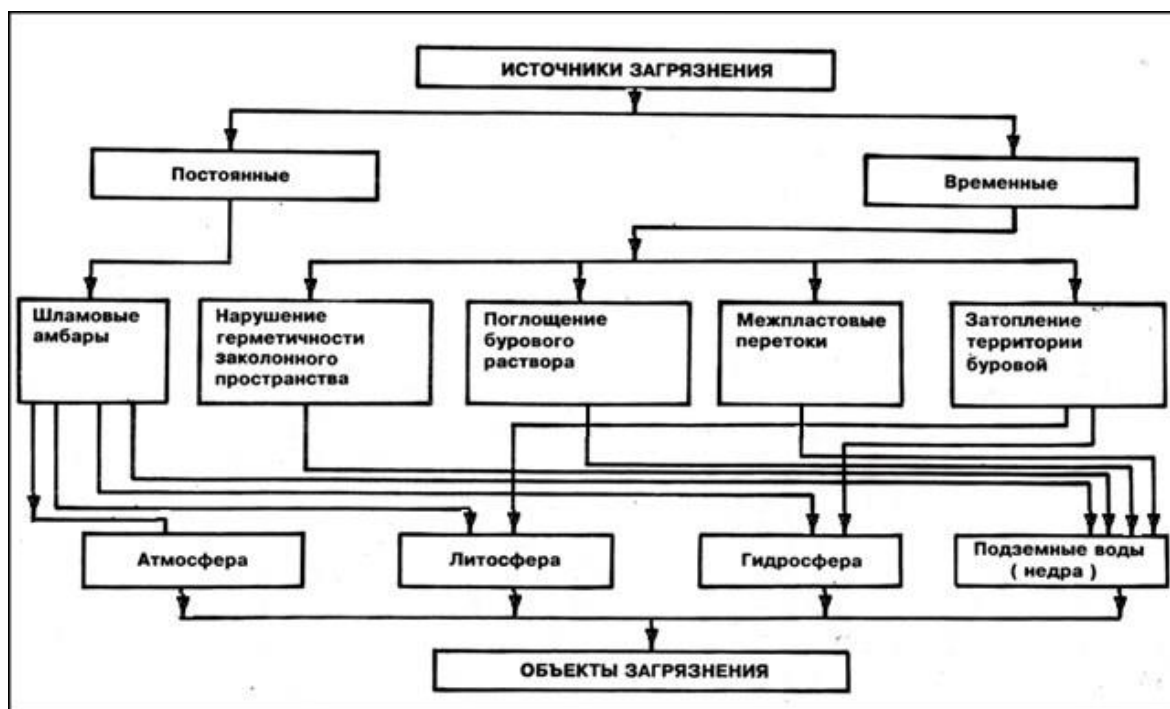


Рисунок 6.1 - Систематизация источников загрязнения при бурении скважин

Постоянными источниками загрязнения атмосферы, почвы, подземных и поверхностных вод являются шламовые амбары, которые представляют собой природоохранные сооружения, предназначенные для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов бурения нефтяных скважин.

К основным загрязнителям сточных вод относятся буровые растворы (особо опасны на нефтяной основе), химические реагенты, а также диспергированные глины, выбуренные породы, утяжелители (механическая примесь), смазочные масла, буровой шлам, содержащий все химические соединения, используемые при приготовлении буровых растворов.

Причины опасного загрязнения растворами водоемов (особенно при наличии земляных амбаров) связаны с переливами и выбросами бурящихся скважин, избыточного раствора, образующегося при разбурировании глинистых пород, сбросом растворов в овраги и водоемы, перетоками их по поглощающим горизонтам (пластам) и др.

Загрязнение территории вокруг буровой можно значительно снизить удалением выбуренной породы (шламоочистными сооружениями). Для очистки растворов можно эффективно использовать вибрационные сита, гидроциклонные пескоотделители, шламоочистители, гидроциклонные установки и центрифуги.

На участках, выделенных для размещения буровых установок, плодородный слой земли снимают и складировуют.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды горюче – смазочными материалами дизельное топливо и другие, горюче – смазочные вещества, необходимые для работы буровой установки, хранят в специальных емкостях.

При строительстве скважин загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами происходит на всех этапах строительства.

Специфика строительства нефтяных и газовых скважин характеризуется, в основном, неорганизованными выбросами вредных веществ в атмосферу, рассредоточивающимися на значительной территории.

Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу от неорганизованных источников обеспечивается герметизацией циркуляционной системы бурового раствора при безамбарном бурении, герметизацией емкостей блока приготовления БР, системы сбора и очистки буровых вод, устья скважины, системы приема и замера пластовых флюидов, поступающих при испытании скважины.

Защита селитебной зоны

Расположение производственной территории относительно селитебной:

- При проектировании зоны необходимо обеспечить защиту селитебной территории от загрязнения промышленными газами, отходами, сточными водами.
- Промышленные предприятия должны быть удалены от селитебной территории на расстояние, соответствующее степени вредности предприятия.

В соответствии с Санитарными Нормами 245-71, в зависимости от вида производства, выделяемых вредных выбросов и условий технического процесса установлена протяженность санитарно-защитной зоны.

Территория санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена и озеленена по проекту благоустройства, разрабатываемому одновременно с проектом строительства или реконструкции предприятия.

С целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, выделяемыми стационарными источниками: котельной, двигателями внутреннего сгорания буровых установок, факельными блоками размещение их осуществляется с учетом господствующего направления ветра.

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожары

Опасность пожаров и взрывов на производственных объектах нефтегазодобывающей промышленности характерна для всех технологических процессов начиная от добычи нефти, газа или конденсата и заканчивая их переработкой. По взрыво- и пожароопасности объекты нефтяной и газовой промышленности относятся к категории «А».

Причины взрывов и пожаров могут быть различны:

- пропуски дизельного топлива, разливы нефтепродуктов и горючих веществ;
- нарушение герметичности выхлопных коллекторов двигателей, неисправность искрогасителей;
- применение открытого огня, курение, проведение сварочных работ вблизи мест хранения нефти, горюче-смазочных материалов, сгораемых конструкций и горючих веществ;
- неисправности электрооборудования, вызывающие искрение, короткое замыкание, нагрев проводов;
- перегрузка электрических приборов, оборудования.

Буровая установка должна быть оборудована следующими средствами пожаротушения:

- двумя пожарными стояками диаметром 50-60 мм;
- тремя пожарными рукавами и двумя переводниками диаметром 50-60 мм;

- огнетушителями ОХП-10 в количестве бшт, ящиками с песком емкостью 0,5м³ (4шт), пожарными щитами, оборудованными лопатами, ломом, топорами, баграми, ведрами.

Открытые фонтаны

Этот вид аварий встречается повсеместно, причем особенно часто при проводке скважин на новых месторождениях нефти и газа.

Основные причины, по которым возникают открытые фонтаны:

- не соответствующая геологическим условиям конструкция скважин;
- некачественное цементирование обсадных колонн, что приводит к прорывам газа при выбросах после закрытия превентора;
- отсутствие противовыбросового оборудования на устье скважин при вскрытии продуктивных горизонтов, а также несоответствие его параметров условиям бурения скважин;
- неправильная эксплуатация противовыбросового оборудования;
- неправильный выбор для вскрытия напорных горизонтов и для бурения скважин после их вскрытия плотности промывочной жидкости;
- недостаточная промывка скважины при бурении и перед подъемом бурильной колонны;
- рост содержания газа в промывочной жидкости в процессе бурения (плохая дегазация выходящей из скважины промывочной жидкости).

Основными мероприятиями по предотвращению и ликвидации аварий являются: проверка состояния противовыбросового оборудования, наличие средств и материалов по борьбе с нефтегазопроявлениями, обучение буровой бригады.

Вскрытие продуктивного пласта запрещается при отсутствии в КНБК клапана – отсекающего, а под ведущей трубой шарового клапана. При снижении плотности бурового раствора во время циркуляции за счет насыщения раствора пластовым флюидом принимаются незамедлительные меры к усилению промывки скважины, дегазации бурового раствора и к доведению его параметров

до технологической необходимости. Важным профмероприятием для предупреждения открытого фонтанирования является практическая подготовка буровой бригады. Бурильщик и его помощники обязаны знать условия проводки скважины и глубину залегания пласта.

Порывы, разливы нефти

Ликвидация разливов нефти и подтоварной воды производится в следующей последовательности: тщательный осмотр места аварии, для определения объемов, характера и порядка необходимых работ; доставка технических средств к месту разлива нефти; локализация нефтяного загрязнения, включающая в себя оконтуривание нефтяного загрязнения; максимально возможный сбор свободной нефти с рельефа.

Восстановление продуктивности нефтезагрязненных земель, состав и порядок работ:

- 1) первичное обследование нефтезагрязненных участков (отбор проб почвы (воды), определение границ разлива нефти;
- 2) оценка степени загрязнения почв нефтью;
- 3) выбор соответствующих технологических мероприятий;
- 4) реализация намеченного комплекса работ и текущий контроль за эффективностью выполняемых мероприятий;

По окончании работ проводится сдача рекультивированных участков контролирующим органам.

Помимо ЧС, связанных с работой оборудования, могут возникнуть ЧС другого характера:

- ЧС стихийного характера (землетрясение, наводнение, ураган и др.);
- ЧС экологического характера (деградация почвы, изменение состояния гидросферы, недостаток кислорода, разрушение озонового слоя и др.);

- ЧС социального характера (шантаж, мошенничество, террор, заложничество, суицид, высокий уровень бедности, нехватка продовольствия и др.).

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правильное расположение рабочего места – один из важных факторов, обеспечивающих как безопасность человека, так и высокую производительность его труда.

Рабочее помещение должно иметь естественное и искусственное освещение. В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы и компактные люминесцентные лампы.

Маркировка опасных зон.

Нормативными документами в сфере маркировки опасных зон утверждены четыре сигнальных цвета (красный, желтый, зеленый, синий) и около полутора сотен знаков безопасности. В ряде случаев устанавливается контрастное чередование полос сигнального цвета с белым или черным.

Визуализация опасности посредством знаков – наиболее простой, дешевый и действенный способ предотвращения несчастных случаев, снижения уровня травматизма, устранения опасности для жизни и здоровья работников, а также угрозы возникновения пожаров или аварий.

На отдельных видах работ предусматривается предоставление работникам в течение рабочего времени специальных перерывов, обусловленных технологией и организацией производства и труда. Виды этих работ, продолжительность и порядок предоставления таких перерывов устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка. Работникам, работающим в холодное время года на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-

разгрузочных работах, и другим работникам в необходимых случаях предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время. Работодатель обязан обеспечить оборудование помещений для обогрева и отдыха работников.

Особенности законодательного регулирования проектных решений

Любое предприятие должно надлежащим образом исполнять федеральное законодательство и нормативные правовые акты, регулирующие государственное управление в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Охрана труда женщин и подростков

Запрещается применение труда женщин на тяжелых работах и на работах с вредными условиями труда, а также на подземных работах, кроме некоторых подземных работ (не физические работы или работы по санитарному и бытовому обслуживанию).

Не допускается прием на работу лиц моложе 15 лет. Запрещается применение труда лиц моложе 18 лет на тяжелых работах и на работах с вредными и опасными условиями труда, а также на подземных работах.

Несовершеннолетние (лица, не достигшие 18 лет) в области охраны труда, рабочего времени, отпусков и некоторых других условий труда пользуются льготами, установленными трудовым законодательством.

Работа с вредными и (или) опасными условиями труда

Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

- 1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);
- 2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);
- 3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).

Работа в ночное время

По общему правилу трудовая деятельность должна осуществляться днем, когда организм человека находится на пике активности. Именно в этот период труд наиболее производительен и безопасен для окружающих и самого работника. Но в современных условиях ограничиться только дневной работой невозможно. По самым разным причинам возникает необходимость привлекать сотрудников к выполнению их обязанностей в ночное время. Эта работа связана с неблагоприятным воздействием на организм человека, и законом таким работникам гарантируется щадящий режим и повышенная оплата труда.

Применение спецодежды и СИЗ

Основной регламентирующий документ о применении СИЗ и спецодежды это ТК РФ. Он вносит определение спецодежды как таковой, средств индивидуальной и коллективной защиты, определение вредного и опасного производственных факторов. ТК обязывает работодателя обеспечивать для работников безопасные условия труда, бесплатную выдачу спецодежды, специальной обуви и других СИЗ. ТК закрепляет права и гарантирует работникам право на безопасный труд.

Применение спецпитания и особого лечебно-профилактического обслуживания

Лечебно-профилактическое питание - это специально подобранные рационы питания, способствующие предупреждению нарушения обмена веществ под действием вредных профессиональных факторов.

В рацион рабочих вредных профессий включаются пищевые вещества:

- обладающие антидотными свойствами
- ускоряющие или замедляющие превращение в организме токсичных веществ или продуктов их метаболизма
- ускоряющие выведение токсичного вещества из организма
- тормозящие процессы всасывания токсичного вещества в кишечник.

Надзор за охраной труда

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации. Эта система осуществляет надзор и контроль за соблюдением российского законодательства о труде и охране труда, нормативных актов о возмещении вреда, причиненного здоровью работника, о социальном страховании и выполнении коллективных договоров на предприятиях, в учреждениях и организациях независимо от формы собственности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований проведен обширный литературный обзор, по результатам которого были выявлены основные проблемы шароструйного способа бурения и малоизученные вопросы.

Была разработана конструкция шароструйно-эжекторного бурового снаряда со складывающимся задерживающим устройством. Основой для которого послужил шарнирно-рычажный механизм.

В ходе данной разработки были решены следующие задачи:

- Определены основные геометрические параметры ШЭБС исходя из диаметра выбранной скважины;
- На базе геометрических параметров рассчитаны параметры ЗУ, которые послужили основой для дальнейшей конструкторской работы;
- Найдены необходимые для осуществления процесса бурения расход и давление, подобран буровой насос;
- Рассчитаны технологические параметры одного из важнейших элементов механизма пружины толкателя.

В итоге были получены все необходимые данные для непосредственного конструирования.

В ходе работы были выполнены необходимые чертежи:

1. Сборочный чертеж модернизированного снаряда;
2. Чертеж лепестка ЗУ;
3. Чертеж корпуса ЗУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Eckel I.E., Deily F.H., Ledgerwood L.W. Development and testing of jet pump pellet impact drill bits // Transaction AIME. – Vol. 207. – 1956. – p. 135.
3. Патент США № 2706104, кл. 255-61. Gravity-momentum recirculation pellet impact drilling bit / Ortloff J. E.–Заявлено 29.01.1952; Оpubл. 12.04.1955.
4. Ковалев А.В., Якушев Д.А. Анализ технических средств для шароструйного бурения с целью выбора перспективных направлений для проведения опытно-конструкторских работ // Проблемы геологии и освоения недр: труды Восемнадцатого международного симпозиума им. М. А. Усова. – Томск: Изд. ТПУ, 2009. – Т. 2. – С. 412–414.
5. Патент № 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.
6. 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.
7. Уваков А.Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.
8. Давиденко А.Н., Игнатов А.А. Абразивно-механическое ударное бурение скважин: монография / М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. –Д.: НГУ, 2013.– 110 с.
9. Конюшая Ю.П. Открытия советских учёных. Ч. 1: Физико-технические науки. / Предисл. И.С. Наяшкова. – 3-е изд., доп. – М.: Изд – во МГУ, 1988. – 478 с.
10. Гиневский А.С, Власов Е.В., Каравосов Р.К. Акустическое управление турбулентными струями. – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2001. – 240 с.

11. Маккрей Л.У., Коле Ф.У. Технология бурения нефтяных скважин. – Гостоптехиздат, 1963. – 417 с.
12. Патент №275918 E21B7/16 Забойный шаропитатель // Ковалев А.В. заявл. 01.07.2013; опубл. 27.21.2014
13. Патент №1504330 E21B31 Металлоуловитель // Перлов Г.Ф. Мессер А.Г., Барабашкин И.Г. 15.06.1970; Опубл. 28.02.1974.
14. Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин - М.: "Недра-Бизнесцентр", 2003 - 556 с.
15. Патент №2292438 E21B7/28. Скважинный расширитель / Башкатов А.Д., Керимов В.А. и др. заявл. 01.07.2005; опубл. 27.21.2007
16. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб.пособие. Изд-е 2-е, перераб. и дополн. – Калининград: Янтар. сказ. 2002. – 454 с.: ил., черт. – Б. ц.
17. Ковалев А.В., Е.Д. Исаев. Исследование процессов шароструйного бурения с помощью высокоскоростной видеосъемки // Современные технологии и техника разведки месторождений полезных ископаемых: проблемы геологии и освоения недр. – Томск: Изд. ТПУ, 2012. – С. 401-405
18. Помазкова З.С. Расчет струйных насосов к установкам для нефтяных скважин. – М.: ГОСИНТИ, 1961. – 66 с.
19. Сазонов Р.П. Экспериментальное исследование водоструйных насосов с цилиндрической камерой смешения // Изв. ВТИ. – М.: Изд-во ВТИ, 1949. – № 11. – С.
20. Е.Д.Исаев, А.В. Ковалев, Ф.Р. Алиев. Экспериментальные исследования технологических параметров режима шароструйного бурения // Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин. – Томск: изд. ТПУ, 2014. – С.68-83
21. Патент № 143090, E 21 B 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.

22. Ганджумян Р.А., Калинин А.Г., Никитин Б.А. Инженерные расчеты при бурении глубоких скважин. – М.: Недра, 2000. – 429 с.
23. В. И. Анурьев. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 2. – 9-е изд., перераб. и доп. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. 928с.
24. Михайлова Н.Д. Техническое проектирование колонкового бурения. – М: Недра, 1985. – 200 с.
25. Осипов П.Ф. Гидроаэромеханика бурения и крепления скважин: Учебное пособие. – Ухта: УГТУ, 2003. – 204 с.
26. Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 350 с.
27. Спивак А.И. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для вузов / А.Н. Попов [и др.]; под ред. А.И. Спивака. – М.: Недра, 2003. – 509 с.
28. Уваков А.Б. Исследование и разработка шароструйного способа бурения направленных геологоразведочных скважин: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Москва, 1965. – 201 с.
29. Караев М.А. Гидравлика буровых насосов. - М.: Недра, 1984.-209с.: ил.
30. Дальский А.М. Справочник технолога-машиностроителя. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 665 с.
31. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб. Для втузов. – 6-е изд., стереотипное. – М.: ИД Альянс, 2011. – 640с.
32. В. И. Анурьев. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 3. – 9-е изд., перераб. и доп. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. 928с.
33. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974.— 832 с..
34. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. – М.: Машиностроение, 1980 – 326 с., ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел 2 Методы исследований

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Ленкин Олег Сергеевич		

Консультант кафедры ТПМ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТПМ	Горбенко Михаил Владимирович	К. Т. Н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯПР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Баранова Анастасия Викторовна			

2. Research methods

2.1. Technique of experimental investigation and result handling in borehole drilling with formation of curvilinear bottom hole

To conduct any experiment it was necessary to develop a laboratory bench, develop technique of experimental investigation and received result handling. Researches have tried to approximate their experimental conditions to production conditions. Versatility of unsolved questions left a mark on cost, time and energy expenses. That is why some questions, i.e. rational drill bit geometrical parameters determining, are not analyzed well enough. We have made a decision to conduct our experiments in scaled view, what made possible to conduct a wide range of researches in short time-frame and acquire satisfactory enough results.

Laboratory bench had to meet some requirements:

1. Securing of closed working fluid circulation.
2. Implementation of purification system of working fluid from destroyed material's particles.
3. Possibility of fastening of destroying material sample.
4. Possibility of visual observation and recording a video of process of balls aspiration and movement.
5. Possibility of adjustment of fluid flowrate.
6. Possibility of assignment of required distance between drill bit and sample and smooth lowering of bit into borehole model during its deepening.

Developed laboratory bench has a closed recirculation system of working fluid (figure 2.2). Pump 1 delivers working fluid by the pumping line 4 to jet-ejection bit 5, which is held and moved by the means of mechanism 7. Reflected from bottom hole fluid, which contains products of destruction, goes up in glass 6, which imitates a borehole and allows to observe the process of rock-destroying particles aspiration. After exiting from the glass fluid with core boring discharging into pan 8, after by drain line 9 – into sedimentation tank 10, where core boring sedimentation takes place. After that fluid flows by the drain line 11 into draining tank 2, from where by the suction line

3 it is sucked by pump and again. To control the flowrate, which is measured by the flow meter 13, in the pumping line 4 is installed a three-way tap 12, which allows the fluid to discharge by the drain line 11 into draining tank 2. To measure the pressure differences in pumping line after the pump and before the drill bit is installed manometers 14, 15. For video registration of drilling process installed a camera 16 in front of a glass.

Characteristic of used centrifugal pump CR1-27 is shown in figure 2.3.

The general view of laboratory bench is shown in figure 2.4. On the pan 1 is installed a glass 10, fastened by the special locker 3. Glass is required to place a sample of rock and for visual observation of pellet movement and aspiration. On the pan is installed a frame 5, which is fastened by the bracket 4 in upper area. To assign the required distance between the drill bit and bottom hole and for smooth lowering of a tool into borehole model during its deepening, on the frame is installed a mechanism of drill bit delivering 6 which is based on friction-pinion-rack gear with handwheel 12. Fluid is delivered by the pumping line 7 and mandrel 8 to drill bit 9, does an useful work and with core borings discharges from the glass into pan and after into draining line 2. To measure the pressure in pumping line before the drill bit is installed a manometer 11. For forced delivering of balls into technological ports the construction of ejection bit contains a holdback 13 of conical shape, which in addition to centralizer 14 centralizes the bit inside the glass 10.

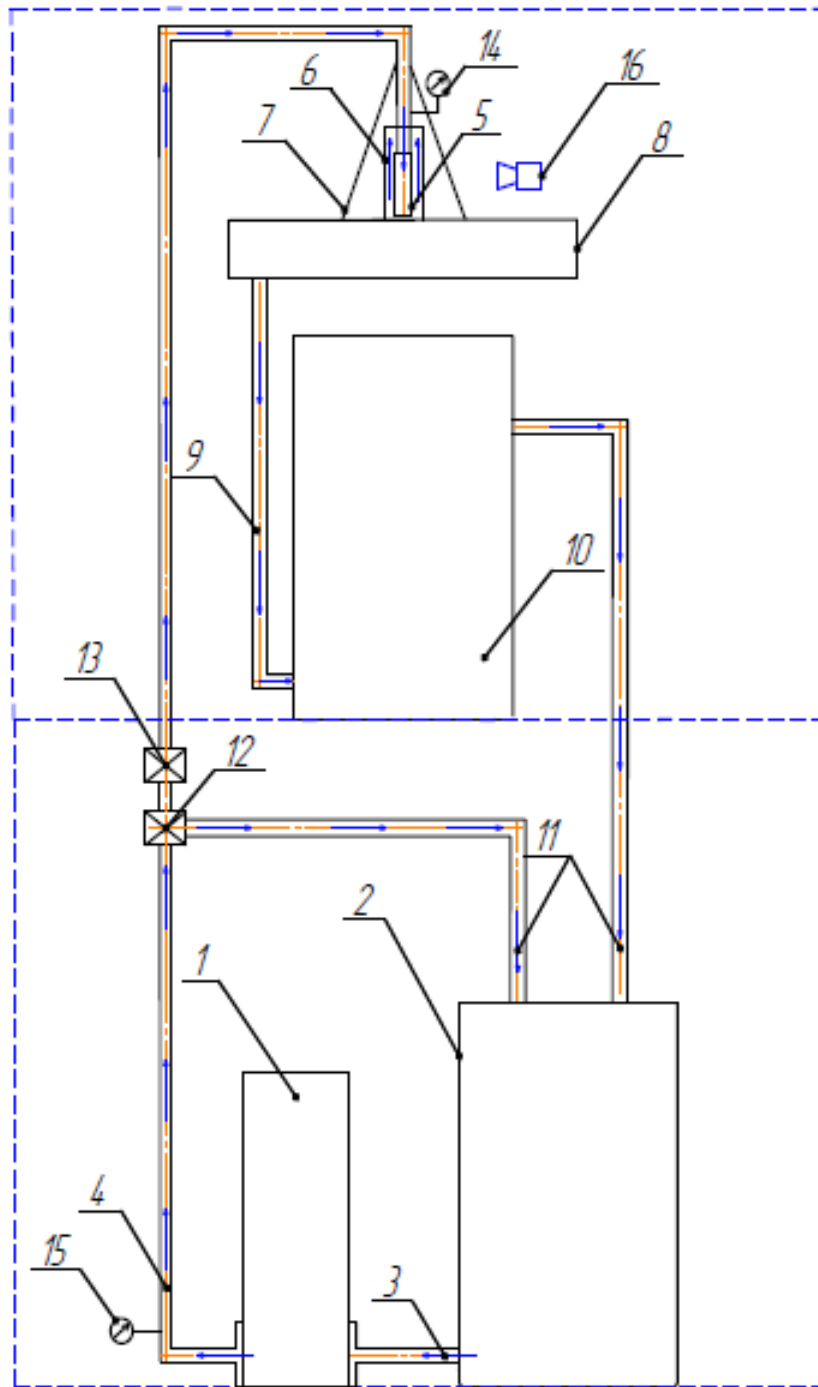


Figure 2.2 – Scheme of bench for researching of technological processes of pellet

drilling:

1 – pump; 2 – draining tank; 3 – suction line; 4 – pumping line; 5 – jet-ejection bit; 6 – glass; 7 – bit delivering mechanism; 8 – pan; 9 – draining line; 10 – sedimentation tank; 11 – draining line; 12 – three-way tap; 13 – flow meter; 14, 15 – manometer; 16 – camera.

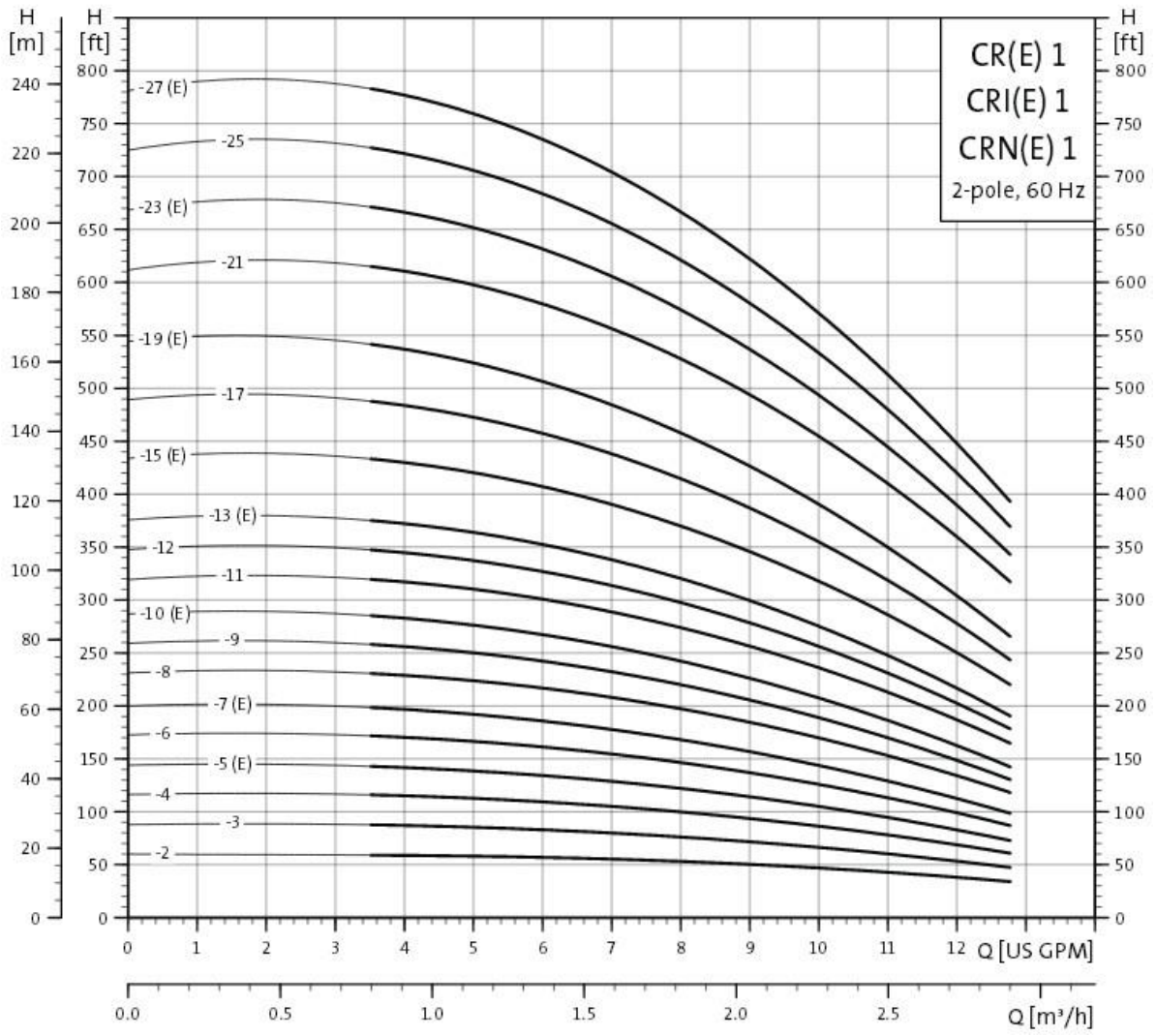


Figure 2.3 – curves of pump CR 1 characteristics.

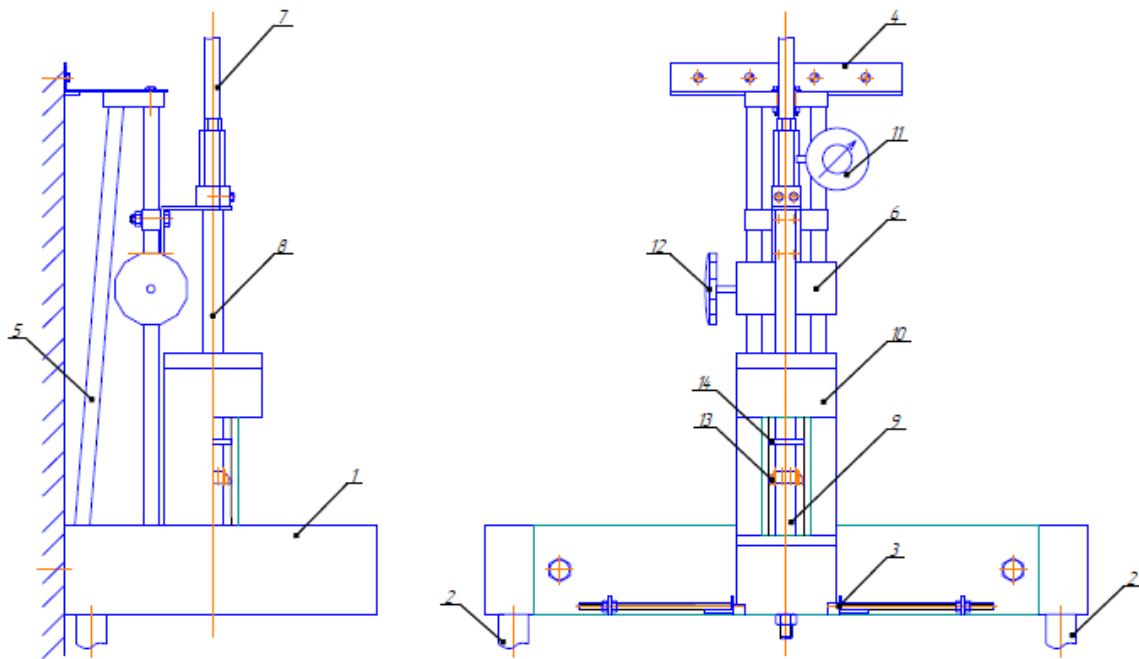


Figure 2.4 – Laboratory model layout:

- 1- tray; 2- drain line; 3- cup clinch; 4 – bar; 5- support; 6- bit feed mechanism; 7- pumping main; 8- adapter sub; 9 – ejector pallet impact drill string; 10 – cup; 11 – pressure meter; 12 – flywheel for feed process control; 13 - arrester; 14 – centralizer.

To study the technological processes of pellet impact drilling, a laboratory scale model was designed, its general layout is shown in figure 1. A cup 10 is placed on a tray 1 and fixed with a special clinch 3. The cup is used to set a rock sample and observe the process of pellet aspiration and journey. A support 5 is placed on the tray and fixed with a bar 4 in the upper part. To provide the desired distance between the sample and the drill bit and to ensure a smooth descent of the latter into the well model, there is a bit feed mechanism 6 based on friction and rack gear with a flywheel 12. Fluid supply is provided by means of a pumping main 7 and an adapter sub 8 to the drilling string 9. After exerting a drilling action the fluid with cuttings flows from the cup into the tray and then into a drain line 2. A pressure meter 11 is installed above the pellet-impact drill bit for measuring pressure in the pumping main. A cone-shaped arrester 13 ensures forced pellets supply to the ejector pellet impact drill string. Together with a centralizer 14 it lines up the bit in the cup.

Order of preparing and conducting the experiments on laboratory bench:

- Core samples are prepared (ceramic tile). For this purpose tile is marked into squares 50*50 mm and after it is cut using rock-cutting machine. With help of abrasive paper the ribbed surface is polished until it becomes smooth. After it marked with circles of 45 mm in diameter and cut circular blanks. Next, polished surface of circular blanks are painted in blue paint.
- Pumping line is connected by the mandrels with bit. For leaktightness of threaded connections is used strip of fluoroplastic sealing material.
- Leakage test is performed.
- Glass assembly is performed. For this in lower cylinder of glass on backing plates is installed a sample of destroying material. Sample is pressed by the middle cylinder during its screwing with lower one.
- Entering parameters of experiment are noted into “experiment conducting diary”.
- With the help of electronic balance the required mass portion and diameter of balls are weighted. After the portion of balls is placed into glass on the sample.
- With rotation of handwheel the bit lowers into glass. With the help of lockers the glass is fastened to the casing.
- Handwheel establishes the required distance between bit and bottom hole.
- Pushing the button “Start” turns on the pump, after fluid exits the bit the stopwatch turns on.
- During planned time the drilling process is conducted. Pushing the button “Stop” turns the pump off.
- Rotating the handwheel lifts the bit up, glass lockers are unscrewed.
- Balls are retrieved from the glass to the special box with rag. They are thoroughly cleaned and after places to the storage container.

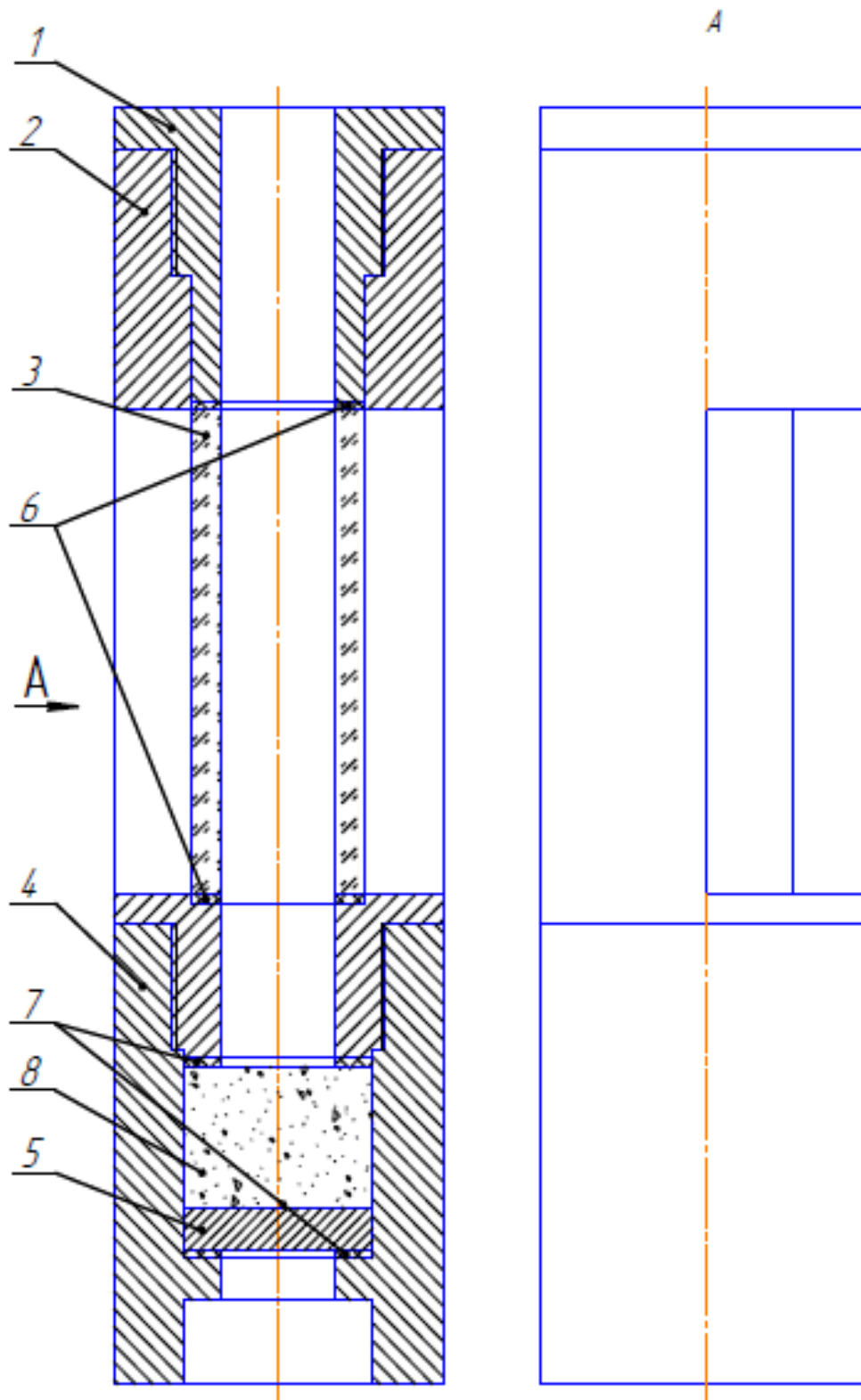


Figure 2.5 – Glass for core sample placing:

1 – upper pressure cylinder; 2 – middle cylinder; 3 – transparent tube; 4 – lower cylinder; 5 – backing plate; 6, 7 – packing rubber; 8 – sample of destroying material.

- Middle cylinder is unscrewed from the lower, the sample is retrieved. Sample is marked with the number according to the “experiment conducting diary”.
- Geometrical parameters of borehole are measured (figure 2.6).

For this purpose to the crater of destruction is indented a plasticine, which takes its shape. Next, plasticine is extracted, the maximum height of a cast is measured, which equals to the depth of a borehole. Also the diameter of a cast is measured – it equals to the diameter of a borehole. Linear and volume destruction speed is calculated. If necessary the shape of a cast is studied, which reflects the shape of a curvilinear bottom hole. All data is noted to the “experiment conducting diary”.

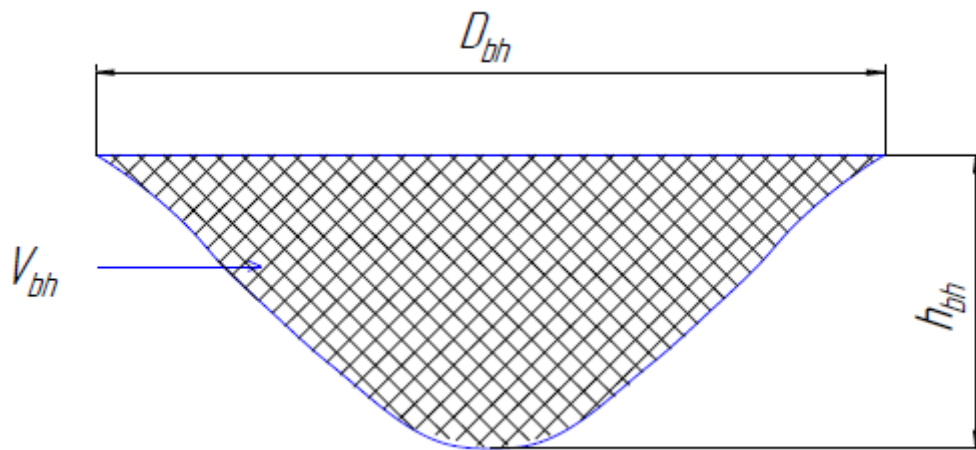


Fig. 2.6 – Measured geometrical parameters of curvilinear bottom hole.

If necessary the linear speed of lower point of bottom hole movement and volume destroying speed is calculated with formulas:

$$l_{in} = h/t, \quad (7)$$

$$v = V/t. \quad (8)$$

Minimal number of repeated experiments is three. After the arithmetic mean, dispersion, rms deviation and variation coefficient of measured parameter is calculated. It has to be mentioned, that variation coefficient did not overcome the 10%, which can

be understood as a meaning of good repeatability of retrieved results. Formulas for design parameters for statistic handling of experimental data are shown in the table 2.1.

Table 2.1 – Formulas for design parameters for statistic handling of experimental data.

Design parameter	Formula
Arithmetic mean	$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$
Dispersion	$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [A_i - \bar{A}]^2$
rms deviation	$\sigma = \sqrt{D}$
Variation coefficient	$v = \frac{\sigma}{\bar{A}} \cdot 100\%$

2.2. Technique of experimental investigation and result handling of pellet drilling processes with using a high-speed filming

For video registration of balls' circulation the glass for placing a rock sample was upgraded (figure 2.7). Into the middle cylinder 4 of glass it is placed an rock sample 7, which is pressed with bottom cylinder 6. There is a special window in the middle cylinder for watching for the circulation process of pellets. Inside there is a transparent tube 5, which is pressed with upper cylinder 2 of the glass. Branch pipe 3 for drainage is made in upper cylinder, and also there is a matching site for cup 8, which is held with packing nut 1. For better observation of pellet circulation under the drilling bit rock sample 7 is completed in special way to make his upper part to be inside the inner part of transparent tube 5. Besides, drilling bit and holdback was made with organic glass.

After pump turns on and all transitions are end lamps with power of 1000 W brightens the glass and then starts brief record (1-2 sec) with high-speed video camera 2 (figure 2.8). After the camera made a video with using a special computer program it is transmitted to the computer 3 for next processing.

Miro M310 camera was used to make high-speed video. This camera is able to make video with 3600 frames per second with 1024x760 resolution and contains a data storage unit with capacity of 64 Gb. Research of pellets' movement in two axis of Cartesian coordinate system was made using Measure Dynamics program.

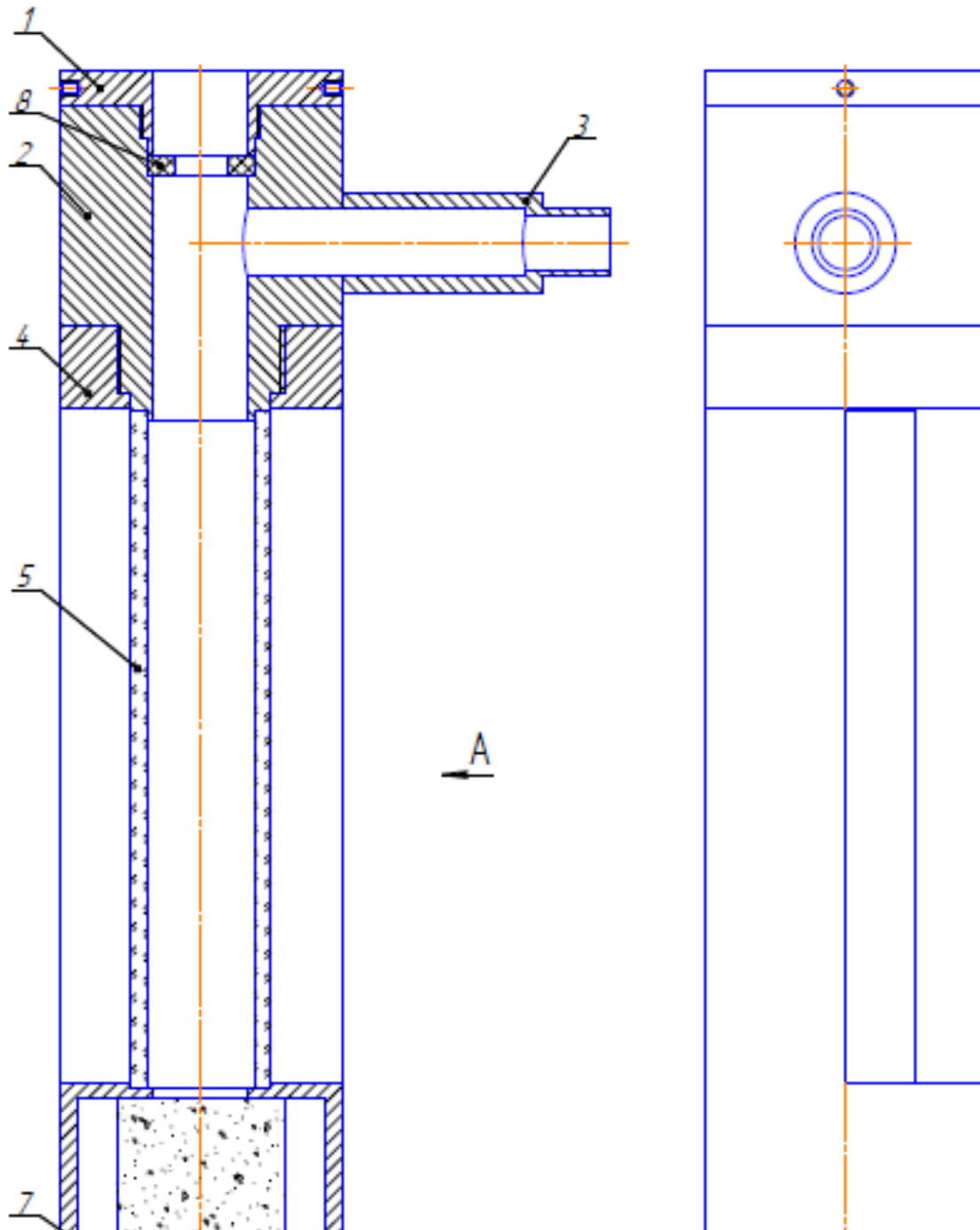


Figure 2.7 – Glass for placing a rock sample:

- 1 – packing nut; 2 – upper cylinder of glass; 3 – branch pipe; 4 – middle cylinder of glass; 5 – transparent tube; 6 – lower cylinder of glass;
- 7 – rock sample; 8 – cup.

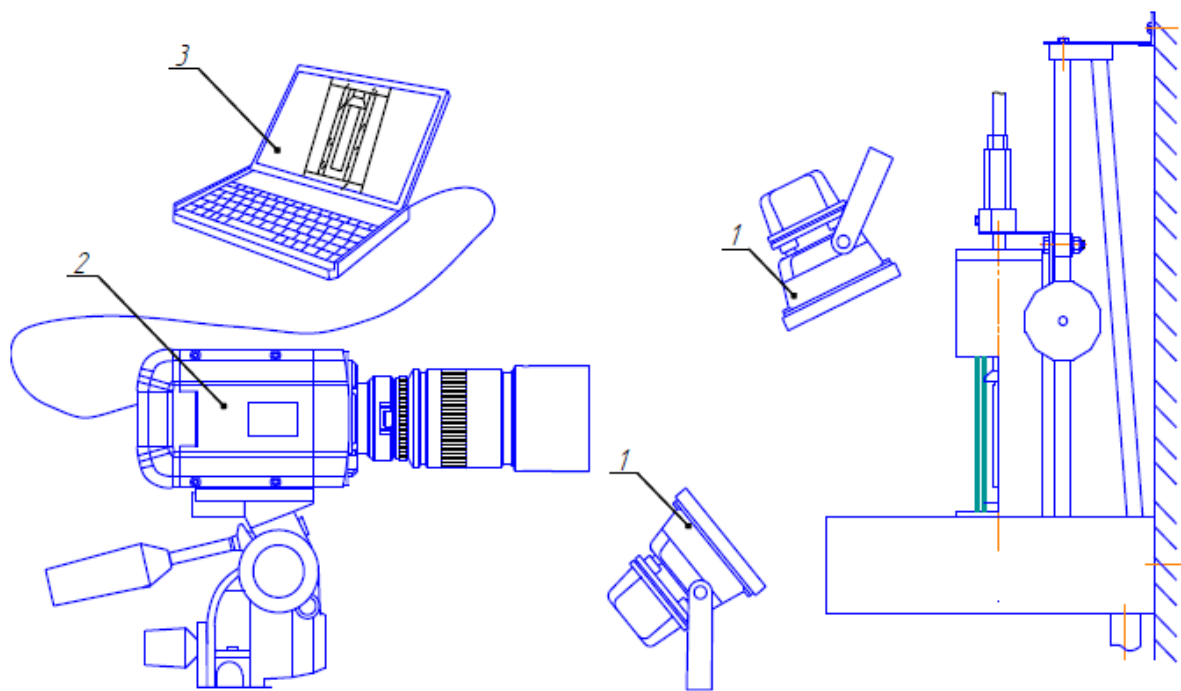


Figure 2.8 - Scheme of experimental installation for filming:

1 – lighting projector; 2 – high-speed camera; 3 – personal computer.

2.3. Technique of experimental investigation and result handling with drilling using reciprocation of a drill bit

Drilling process was conducted with supporting the required distance between a bit and bottom hole (figure 2.9, a) with help of reciprocation of a drill bit. After the deepening of a specific interval (figure 2.9, b) a drill bit is lowered for a short period to the bottom hole (figure 2.9, c) and lifted up to the required distance between drill bit and bottom hole (figure 2.9, d). Reciprocation is performed periodically with period of t . After drill bit is lifted up with help of special indicators on a frame the deepening is measured.

After the drilling time T is expired geometrical parameters of a borehole are measured. For this purpose the water from the graduated cylinder is drained to the bore hole. Water volume, which fills the borehole, equals to the borehole volume. After that using the rock-cutting machine sample is divided longitudinally into two samples. Next

the borehole diameter, borehole depth, depth of a cylindrical part and depth in point where bit contacts the bottom hole (fig. 2.10). Also the shape of a borehole is scanned.

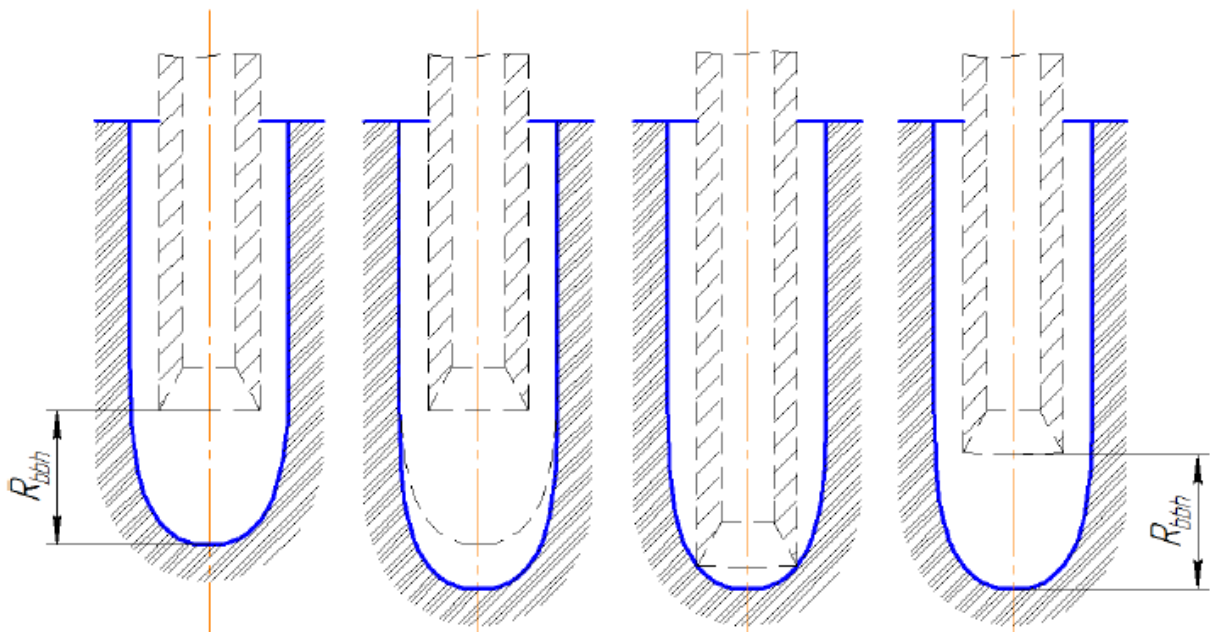


Figure 2.9 – Scheme of supporting the required distance between a bit and bottom hole with help of reciprocation of a drill bit.

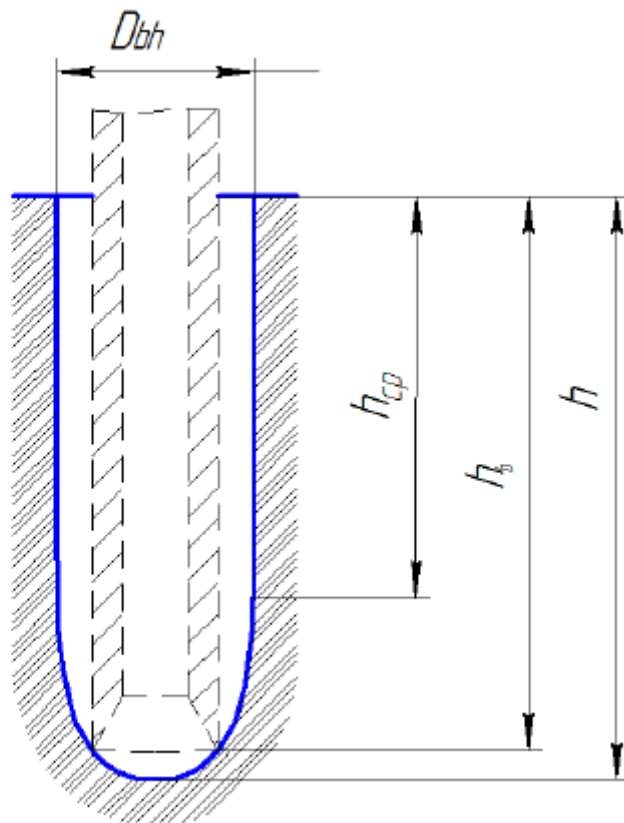


Figure 2.10 – Geometrical parameters of borehole.