

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы (НОЦ) нефтегазового дела

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Исследование и совершенствование техники горизонтально-направленного бурения пилотных скважин</b>

УДК 622.243.24-048.32

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Кучкоров Хушбахт Бахтиерович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Л.А.	д.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк В.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Манабаев К.К.	к.ф.-м.н.		

Томск – 2019 г.

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критерии и/или заинтересованных сторон</i>
<b><i>В соответствии с универсальными, общепрофессиональными и профессиональными компетенциями</i></b>		
<b>Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»</b>		
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики) , самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	<i>УК-1, УК-2, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, (ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i).</i>
P2	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>	<i>УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, , ОПК-2, ОПК-6,</i>
<i>в области производственно-технологической деятельности</i>		
P3	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.	<i>УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11</i>
P4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать</i> современные машины и механизмы 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>	<i>ОПК-6, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15</i>
<i>в области экспериментально-исследовательской деятельности</i>		
P5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов	<i>УК-3, УК-8, ОПК-3, ОПК-7, ПК-16, ПК-17, ПК-18), (ЕАС-4.2-h), (АВЕТ-3d).</i>
<i>в области проектной деятельности</i>		
P6	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>	<i>УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, , ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22</i>
<i>в области организационно-управленческой деятельности</i>		
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести	<i>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-23, ПК-24, ПК-25, ПК-</i>

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>	<i>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</i>
	ответственность за результаты работы	26).
<i>в области проектной деятельности</i>		
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-27, ПК-28, ПК-29, ПК-30, (АВЕТ-3с), (ЕАС-4.2-е).
<b>Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»</b>		
P9	Планировать и организовывать работу по проведению планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания технологического оборудования	ОПК-5, ОПК-6, ПК-3, ПК-7, ПК-9, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-21, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.029 «Специалист по эксплуатации газораспределительных станций», 19.0015 «Специалист по эксплуатации оборудования подземных хранилищ газа»
P10	Планировать внедрение новой техники и передовых технологий, разрабатывать и реализовывать программы модернизации и технического перевооружения предприятия с целью повышения надежности, долговечности и эффективности работы технологического оборудования	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-10, ПК-12, ПК-17, ПК-21, ПК-23, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.029 «Специалист по эксплуатации газораспределительных станций», 19.0015 «Специалист по эксплуатации оборудования подземных хранилищ газа»
P11	Организовывать проведение проверок технического состояния и экспертизы промышленной безопасности, проводить оценку эксплуатационной надежности технологического оборудования.	ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-9, ПК-10, ПК-17, ПК-30, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.029 «Специалист по эксплуатации газораспределительных станций», 19.0015 «Специалист по эксплуатации оборудования подземных хранилищ газа»

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа природных ресурсов

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело

Отделение школы (НОЦ) нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b>
---------------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ74	Кучкорову Хушбахту Бахтиеровичу

Тема работы:

<b>Исследование и совершенствование техники горизонтально-направленного бурения пилотных скважин</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	04.02.2019 г. № 852/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	07.06.2019
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b></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>	<p>Для проведения исследований в области горизонтально-направленного бурения необходимо использовать материал представленный в виде статей как отечественных, так и зарубежных авторов, проанализировать существующие патенты в данной тематике, пользоваться ранее проведенными работами и монографиями.</p>
---	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <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>	Задачи исследования заключается в разработке и обосновании эффективности и целесообразности применения ударного механизма при проведении горизонтально-направленного бурения в крепких горных породах. Необходимо создать и провести исследование математической модели ударного механизма, представить полученные зависимости.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Таблицы – Рисунки –

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Романюк Вера Борисовна, доцент
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна, ассистент
Иностранный язык	Бекишева Татьяна Геннадьевна, ст. преподаватель

### Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

#### Обзор литературы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	18.09.2017
--	------------

### Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Л.А.	д.т.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Кучков Хушбахт Бахтиерович		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ74	Кучкорову Хушбахту Бахтиеровичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело» профиль <u>«Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»</u>

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

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<p>В данном разделе ВКР необходимо представить: график выполнения работ, в соответствии с ВКР; трудоёмкость выполнения операций; нормативно-правовую базу, используемую для расчётов; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценить эффективность нововведений и др.</p> <p>Раздел ВКР должен включать: методику расчёта показателей; исходные данные для расчёта и их источники; результаты расчётов и их анализ.</p>
Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочников Единых норм времени (ЕНВ) и др.
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 20%
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Расчет капитальных и текущих затрат и финансового результата реализации проекта
Планирование и формирование бюджета научных исследований	График выполнения работ
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
Организационная структура управления Линейный календарный график выполнения работ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.03.2017
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Кучкоров Хушбахт Бахтиерович		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ74	Кучкорову Хушбахту Бахтиеровичу

<b>Школа</b>	<b>ИШПР</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОНД</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются установки горизонтально направленного бурения. Целью магистерской диссертации является совершенствование техники бурения горизонтально направленных скважин для строительства трубопроводов в условиях городской среды.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> 1.1 Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;	1 Описание правовых норм для проведения работ, связанных с эксплуатацией бурового оборудования согласно следующим документам: Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
<b>2 Профессиональная социальная безопасность</b> 2.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки в эксплуатацию 2.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки в эксплуатацию.	Профессиональную безопасность при проведении буровых работ и строительстве трубопровода необходимо обеспечивать для всех работников. Проведя анализ можно выделить ряд факторов. 1.1 К группе вредных производственных процессов отнесены: <ul style="list-style-type: none"> <li>– уровень шума на рабочем месте;</li> <li>– отклонение показателей климата на открытом воздухе;</li> <li>– уровень вибрации;</li> </ul> физические и нервно-физические перегрузки 1.2 К группе опасных производственных отнесены: <ul style="list-style-type: none"> <li>– опасность движущихся и вращающихся частей производственного оборудования;</li> <li>– опасность поражения электрическим током;</li> <li>– опасность возникновения пожара.</li> </ul>
<b>3 Экологическая безопасность:</b> 3.1 Анализ воздействия объекта исследования на окружающую среду;	3.1 Влияние объекта исследования на окружающую среду: <ul style="list-style-type: none"> <li>– использование буровых растворов;</li> </ul>

3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– применение ГСМ;</li> <li>– образование мусора.</li> </ul> 3.2 Мероприятия по защите окружающей среды согласно нормативным документам: <ul style="list-style-type: none"> <li>– СанПиН 2.1.7.1322-03;</li> <li>– Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 N 681 (ред. от 01.10.2013).</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> 4.1 Перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 4.2 Выбор наиболее типичной ЧС; 4.3 Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	4.1 Возможные чрезвычайные ситуации при разработке и эксплуатации проектируемого решения: <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожар.</li> </ul> 4.2 Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий: <ul style="list-style-type: none"> <li>– мероприятия по предотвращению распространения пожара.</li> </ul>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Кучкоров Хушбахт Бахтиерович		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 131 с., 34 рис., 15 табл., 62 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: Горизонтально-направленное бурение, ударный механизм, силовой импульс, бурильная колонна, передача удара

Объектом исследования является техника, применяемая для горизонтально направленного бурения пилотных скважин

Целью работы – является исследование и совершенствование техники для проведения горизонтально-направленного бурения, для повышения эффективности бурения крепких горных пород.

В процессе исследования проводились расчеты основных конструктивных параметров механизма, осуществлялся подбор элементов, моделировалась работа механизма, получены графические зависимости описывающее влияние параметров на общую эффективность устройства.

В результате исследования получены графические зависимости влияния конструктивных параметров на эффективность работы механизма, проведено математическое моделирование.

Областью применения результатов данного исследования является отрасль горизонтально направленного бурения, а именно механизмов и способов прохождения твердых включений в горных породах.

Экономическая эффективность/значимость работы описана в разделе финансовый менеджмент, проведено сравнение общей стоимости бурения скважин стандартными механизмами и применением ударного механизма.

В будущем планируется проведение натурного эксперимента при бурении горизонтально направленной скважины с применением ударного механизма.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	12
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	
1.1 Назначение наклонно направленных и горизонтальных скважин	16
1.2 Области применения наклонно направленных и горизонтальных скважин	20
1.3 Обзор техники для горизонтально направленного бурения	26
2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	39
2.1 Анализ оборудования для разрушения крепких горных пород	39
2.1.1 Гидравлические забойные двигатели	43
2.1.2 Модифицированные скошенные буровые коронки	45
2.1.3 Пневмомолоты для бурения	46
2.1.4 Механические системы с двойными штангами	48
2.2 Конструкция ударного механизма	50
3. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	55
3.1 Проведение имитационного моделирования	55
3.2 Построение математической модели	59
3.2.1 Выбор и обоснование параметров насоса	59
3.2.2 Выбор рукава РВД	61
3.2.3 Выбор пружины сжатия	62
3.2.4 Выбор активной массы	63
3.3 Создание расчетной модели ударного механизма	63
3.4 Результаты математического моделирования	68
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	72
4.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании	72
4.2 Графическая часть	73
4.2.1 Формирование организационной структуры управления инженерным проектом	73

4.2.2 Линейный календарный график проведения работ	74
4.3 Сметная стоимость выполнения работ	79
4.3.1 Расчет стоимости проведения работ методом ГНБ	79
4.3.2 Расчет стоимости материалов методом ГНБ	80
4.3.3 Расчет заработной платы исполнителей	81
4.3.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды	83
4.3.5 Расчет амортизационных отчислений	84
4.3.6 Затраты на проведение мероприятия	85
4.4 Оценка экономического эффекта	85
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	88
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	88
5.2 Профессиональная социальная безопасность	90
5.2.1 Анализ вредных факторов	92
5.2.2 Анализ опасных факторов	93
5.3 Экологическая безопасность	99
5.3.1 Влияние объекта исследования на окружающую среду	100
5.3.2 Мероприятия по защите окружающей среды	100
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	102
5.4.1 Анализ вероятных ЧС	103
5.4.2 Разработка действий при ЧС	104
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	105
Список используемых источников	106
Приложение А	113

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проанализировав сферы применения горизонтально-направленного бурения было выявлено, что существует необходимость проведения оперативных и качественных ремонтно-восстановительных работ на поврежденных участках трубопроводов водопроводной и водоотводящей сетей в современном городе обусловлена не только техническими но и экономическими, а также социальными факторами.

Одним из наиболее эффективных отраслей, где горизонтально направленное бурение нашло широкое применение, является строительство и эксплуатация подводных переходов. Традиционно метод строительства основан на процессах механизированной разработки береговых и русловых траншей. Но существует ряд негативных явлений препятствующих данному методу. К одному из них можно отнести время строительства, при помощи горизонтально направленного бурения оно значительно сокращается в сравнении с традиционными способами. Также не менее актуальной остается сфера по бестраншейной замене старых трубопроводов.

В качестве примера применения ГНБ стоит привести строительство Крымского «энергомоста», посредством кабельного перехода через Керченский пролив. В качестве необходимости применения этого метода приводятся доводы о наличии оползневых участков и значительным перепадом высот.

Важно отметить, что никто до настоящего момента не учитывал в расчетах косвенные финансовые потери, к ним можно отнести убытки граждан, предприятий и организаций, вызванные ведением работ по прокладке коммуникаций или замене трубопроводов открытым способом, например изменение маршрута, отсутствие возможности подъезда транспортных средств.

На основании выше сказанного, технологии бестраншейной прокладки, получившие широкое распространение в зарубежной и отечественной практике, гораздо эффективнее, чем традиционные методы.

Несмотря на все преимущества применения данного способа бурения, существуют также недостатки, которые обусловлены проведением буровых работ в твердых горных породах. Их наличие ставит под угрозу возможность проведения работ по спланированной заранее траектории. В связи с этим актуальным становится вопрос о применении эффективных механизмов, способных вести бурение в крепких горных породах.

### **Актуальность**

Актуальность работы обусловлена расширением области применения горизонтально направленного бурения, как для прокладки коммуникаций в условиях городской среды, так и бурения скважин для добычи нефти и газа. Бурение всегда сопровождается наличием ряда сложностей, одной из которых является бурение крепких горных пород. В связи с этим применение экономически выгодных и эффективных способов разрушения горных пород находит широкое применение в современной отрасли горизонтально направленного бурения.

### **Цель работы**

Целью работы является исследование и совершенствование техники применяемой для горизонтально направленного бурения. В частности в качестве объекта исследования выступает безбойковый ударный механизм, предназначенный для разрушения крепких горных пород.

## **Задачи**

1. Провести литературный и патентный анализ техники применяемой для бурения горизонтально направленных скважин в настоящее время;
2. Предложить принципиальную схему и 3D модель конструкции безбойкового ударного механизма, для формирования силовых импульсов;
3. Составить и провести исследование математической модели ударного механизма;
4. Разработать рекомендации по выбору и применению оптимальных параметров ударного механизма.

## **Научная новизна**

Проведены исследования математической модели ударного механизма с целью определения эффективных параметров для разрушения горных пород. Предложены конструктивные параметры механизма, обеспечивающие эффективную работу.

## **Практическая значимость работы**

Практическая значимость научного исследования заключается в предложенном механизме позволяющим проходить участки, на которых встречаются включения твердых горных пород. Работа выполнена по согласованию с компанией ООО «Восток-бурнефть».

## **Апробация работы**

Результаты исследования представлены на международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр».

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1. Назначение наклонно направленных и горизонтальных скважин

Развитие трубопроводных систем и коммуникационных сетей создает потребности в компактных установках горизонтально направленного бурения (далее ГНБ) для городской среды. С увеличением объема работ сумма инвестиций в данную технику также возрастает. Подрядчики хотят работать на небольших, маневренных и в то же время достаточно мощных установках. Важным фактором по поддержанию и расширению трубопроводной инфраструктуры по всему миру является сложная задача. Традиционные методы замены и ремонта коммуникаций осуществляются открытым траншейным способом. Данный метод часто оказывается дорогостоящим и трудозатратным, особенно в условиях современной перегруженной городской инфраструктуры. Плотная застройка городов и развитие их инфраструктуры делает прокладку коммуникаций методом ГНБ все более актуальной, потому что открытый способ прокладки не всегда доступен. Высокая стоимость строительства траншей часто обусловлена необходимостью восстановления дорог, проездов и благоустройства прилегающей территории. Другие проблемы часто связаны с нарушением движения и повышенной опасностью для работников в зонах интенсивного движения. Чтобы преодолеть недостатки строительства траншей, государственная, коммунальная и строительная отрасли начали искать альтернативные методы замены и ремонта подземной инфраструктуры.

Одним из альтернативных методов строительства, и, возможно, самой быстрорастущей технологией в бестраншейной промышленности, является горизонтально-направленное бурение [1]. За последние несколько десятилетий объемы ГНБ значительно возросли в строительной отрасли. Горизонтально-направленное бурение представляет явное экономическое



преимущество по сравнению с традиционными методами прокладки трубопроводов под препятствиями, такими как дороги, проезды, исторические районы, ландшафтные зоны, реки и береговые линии, которые требуют специализированного строительства. Чтобы эффективно и правильно использовать многие преимущества, предлагаемые конструкцией ГНБ, инженеры-проектировщики должны иметь практические знания о процессе работы с ГНБ. Эти знания помогут им в разработке конструктивных решений, которые могут быть выполнены в плановом режиме при соблюдении требований коммунальной компании [3].

Инструменты и методы, используемые в процессе ГНБ, применяются также при бурении нефтяных и газовых скважин. Первое использование наклонно-направленных скважин на нефтяных месторождениях было мотивировано экономикой. Нефтяные месторождения были основой для практического применения оборудования для бурения направленных скважин. Горизонтальные буровые установки, используемые для коммунального строительства и строительства трубопроводов, аналогичны буровым установкам для нефтяных скважин, за исключением того, что горизонтальная буровая установка оборудована наклонным лафетом [2], а не вертикальной мачтой.

Если говорить об использовании технологии ГНБ в нефтегазовом секторе, то данный вид бурения применяется для вскрытия нефтяных и газовых пластов, уменьшения поля разработки месторождения, увеличения площади «зоны добычи» в скважине, пересечения трещин, строительства разгрузочных скважин и установки инженерных коммуникаций под землями, где раскопки невозможны или экономически нецелесообразны [8].

Применение технологии ГНБ для бурения нефтяных и газовых скважин может быть рационально в следующих случаях:

1. при бурении скважин, расположенных под ландшафтом со сложным рельефом горы, овраги, холмы;

2. при бурении второй скважины с целью получения данных о геологическом строении продуктивного горизонта;
3. при увеличении площади дренажа под определенным углом, для вскрытия пласта с большей отдачей;
4. для повышения продуктивности скважин в трещиноватых породах;
5. для бурения серии скважин на продуктивные пласты с одной буровой площадки или эстакады, расположенных в море или озере;
6. при обходе катастрофических поглощений промывочной жидкости и зон обвалов;
7. при бурении куста скважин на ровных площадках для снижения затрат на обустройство лагеря и снижения сроков разбуривания месторождения;

Методы ГНБ применяется для бурения скважин на нефть и газ, в России используется в Западной Сибири, в Татарстане, Башкортостане, Оренбургской области и других районах [3].

Горизонтальное бурение применяется для увеличения нефте- и газоотдачи продуктивных горизонтов при первичном освоении месторождений с плохими коллекторами и при восстановлении малодебитного и бездействующего фонда скважин. В Российской Федерации отклонение скважин в основном осуществляют забойными двигателями (турбобуром, винтовым двигателем и реже электробуром).

Также, не секрет, что в настоящее время большинство подземных трубопроводов водоснабжения, магистральных нефте- и газопроводов находится в ветхом состоянии, характеризуются различными видами повреждений для их замены целесообразно применять технологию ГНБ.

Для качественного и производительного проведения работ, находящихся в различных грунтовых условиях, имеется несколько теоретически обоснованных и проверенных в той или иной степени на

практике способов. Несомненный интерес на сегодня могут представлять закрытые способы реконструкции, особенно технология ГНБ.

Горизонтально направленное бурение - это многомиллиардная отрасль с сотнями подрядчиков и тысячами буровых установок, работающих на пяти континентах. Способ ГНБ в Северной Америке вырос с 12 технологических установок в 1984 году до тысяч единиц техники сегодня. Также заметна динамика увеличения присутствия горизонтально направленного бурения наблюдается в России и странах СНГ. Значительный интерес и быстрый рост объясняется, по крайней мере, частично, следующим.

1. Растущие расходы на управление движением и восстановление, связанные с установкой инженерных сетей и трубопроводов в перегруженных городских районах, и необходимостью работы в существующих коммунальных услугах.

2. Повышение осведомленности о социальных затратах, таких как задержки движения транспорта, нарушение деловой активности в жилых кварталах.

3. Усиление экологических норм для прокладки трубопроводов через реки, водно-болотные угодья и другие экологически чувствительные районы. Нарушение грунта при ГНБ минимальны. В результате в густонаселенных городских районах ГНБ все чаще рассматривается как предпочтительная технология. Это сводит к минимуму негативное влияние на жителей и предприятия, устраняет необходимость в демонтаже и перемещении, дорогостоящей реставрации и благоустройства территории. На открытых площадках ГНБ обеспечивает эффективный способ пересечения препятствий, таких как реки, автомагистрали, железнодорожные пути или взлетно-посадочные полосы аэродрома [41]. Метод ГНБ также исключает затраты и время, связанные с установкой оборудования для осушения, если необходимо выполнить работы ниже уровня грунтовых вод.

## 1.2 Область применения наклонно направленных и горизонтальных скважин

Потребность рынка в горизонтально направленном бурении постоянно растет во всем мире. Монтаж трубопроводов и инженерных сетей в городских районах, а также через реки и автомагистрали является основным потребителем отрасли. Обычно ГНБ используются для прокладки новых электросетей, природного газа и телекоммуникаций. Последние достижения в области оборудования и систем слежения делают использование ГНБ экономически эффективным. В основном это проекты, в которых используются проколы большего диаметра и установлены жесткие позиционные допуски на размещение. Диаграмма, приведенная на рисунке 1.1, показывает распределение по отраслям потребителям ГНБ.

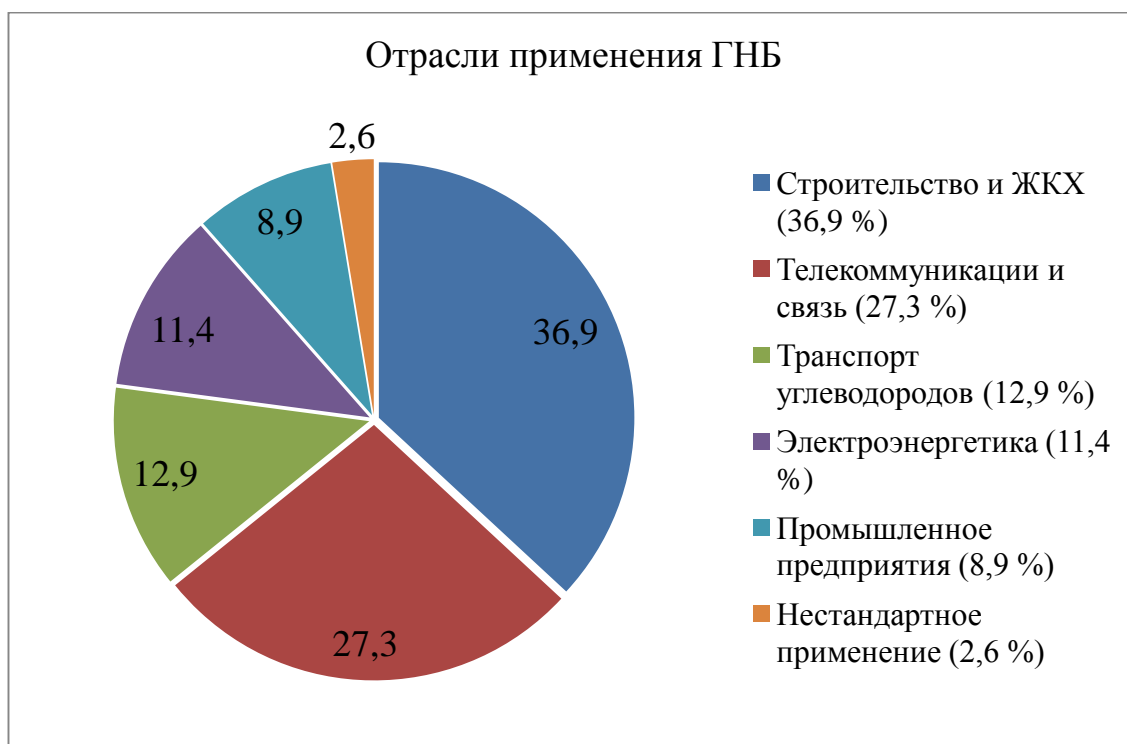


Рисунок 1.1 Распределение потребления ГНБ по областям применения

Приведенные в данной диаграмме отрасли отражают состояние на текущий момент [2]. Идет непрерывный процесс изобретений и усовершенствования новых возможностей применения данной технологии.

Наибольшее распространение технологии ГНБ получила при прокладке труб водоснабжения, канализации и газификации населенных пунктов. С 2005 года ведется работа над созданием Единой системы газоснабжения, развивается такое важное направление деятельности ПАО «Газпром» как газоснабжение и газификация субъектов Российской Федерации. В результате реализации Программы газификации регионов РФ с 2005 по 2016 гг. средний уровень газификации в России вырос с 53,3% до 67,2% в том числе в городах – с 60% до 70,9%, в сельской местности – с 34,8% до 57,1%. Основным приоритетным направлением деятельности ПАО «Газпром» в области газификации регионов остается дальнейшее развитие газификации регионов РФ [11]. Также направлено на достижение максимального, экономически оправданного уровня газификации территорий, удовлетворение платежеспособного спроса на газ, улучшение бытовых условий жизни населения, преимущественно в сельской местности, и рост экономического потенциала субъектов РФ. Первоначальный способ ГНБ разрабатывался для прокладки слаботочных электрических кабелей, тонких и коротких подключений к газопроводам, а также местных подключений трубопроводов. Таким образом, службы занимающиеся газификацией и водоснабжением а также телекоммуникации стали крупными потребителями бестраншейных технологий. В некоторых регионах более половины всех газо- и водопроводов прокладываются при помощи способа ГНБ, при этом существенными преимуществами данного способа являются сокращение сроков работ, сохранение окружающей среды и поверхности почвы, прежде всего долговечность проложенных трубопроводов. Для таких трубопроводов были разработаны технические требования к процессу, гарантии качества и технические условия прокладки трубопроводов способом ГНБ.

Существует высокая потребность в прокладке кабелей для передачи данных между предприятиями, портами, офисными комплексами, торговыми центрами под поверхностью земли, которые находятся во владении частных

лиц либо компаний. Дополнительные подводы к существующей подземной инфраструктуре должны подводиться быстро и с минимальными затратами. В связи с этим способ ГНБ получил широкое распространение, например для частных и общественных линий оптоволоконного кабеля. Все аспекты применения кабелей для передачи данных могут быть реализованы при помощи широкого диапазона возможностей способов ГНБ.

Технология ГНБ позволяет, при некотором уменьшении диаметра, протянуть в существующую трубу новую. Если речь идет о напорном трубопроводе, то между старой и новой трубой необходима изоляция. Для данного способа подходят те трубопроводы, которые еще сохранили герметичность и могут выдержать повышенное давление из-за уменьшения диаметра [9]. Прокладка внутри труб методом ГНБ происходит очень быстро и экономически превосходит другие способы.

Особые преимущества способа ГНБ очевидны при бурении под ценными охраняемыми территориями (береговые склоны, природоохранные зоны, парки и спортивные площадки) то есть в тех местах, где исключено нарушение биосистемы.

При помощи ГНБ под асфальтированной либо бетонной поверхностью может быть проложен обогревающий трубопровод, позволяющий постоянно поддерживать поле свободным от снега и льда. Данное требование существует в аэропортах на взлетно-посадочной полосе. Используемые участки аэродромного поля требуют постоянной очистки от наледи, что требует много времени и зачастую служит причиной простоя, поэтому целесообразно проложить отопление под летным полем.

В результате ведения горных разработок, а также консервации угольных шахт происходит повышение грунтовых вод в застроенных областях, охраняемых зонах. Подобные мероприятия по понижению, а в некоторых областях по повышению грунтовых вод до недавнего времени заключались в бурении большого количества вертикальных скважин. Для

снижения количества скважин и повышения гидравлического эффекта, все чаще применяется способ горизонтального бурения в фильтрационных отрезках [7]. Выбор и установка подобного фильтрационного отрезка требует существенного гидрологического новшества. Подобные технические меры применяются при осушении плотин, склонов, дренаже зданий, установке систем подачи питьевой воды.

Способ управляемого горизонтального бурения позволяет проводить геологическую разведку для будущих туннельных магистралей, в качестве примера можно привести железнодорожный тоннель Мон Блан[2]. При этом специальным оборудованием берутся пробы воды и горной породы. Для этого применяются специальные геотехнические инструменты. Буровые скважины ГНБ также используют для геофизической разведки. Соответствующее геофизическое оборудование позволяет при помощи нескольких параллельных но разных по длине каналов проводить трехмерную геофизическую томографию всего отрезка возвышенности, то есть позволяет провести детальную разведку. Подобная разведка особенно нужна, если туннель проходит через почвы склонные к водопоглощению через тектонитовые ослабления или прослойки мягкой горной породы.

Еще одна геотехническая возможность применения горизонтально направленного бурения состоит в геометрической осуществимости так называемого бурения для распределения нагрузки, что особенно актуально для высотных сооружений. Подобное бурение представляет собой горизонтальное бурение без прокладки труб, при этом проколы осуществляются параллельно вышестоящей части здания. Также имеется возможность изменять геометрию таких скважин. Каналы большего сечения прокладываются ближе к наружному краю высотного здания, в то время как скважины меньшего сечения ближе к середине здания. Цель данного бурения односторонняя осадка здания в сторону вынутых из буровой скважины

объемов грунта, таким образом, результатом данной процедуры является устранение наклона здания.

Решающим моментом для установки здания в прямое положение при данном способе бурения является точное определение объема извлеченного грунта. Горизонтальная буровая техника имеет решающее преимущество при техническом возможном проколе под зданием.

Применение способа ГНБ для уплотнения почвы. Котлован в грунтовых водах требует действующего метода уплотнения почвы, что как правило, осуществляется при помощи вертикально установленных инъекционных элементов. В результате этого элементы на основе вяжущих веществ образуют замкнутый горизонтальный гидроизоляционный слой [1]. Подобный гидроизоляционный слой с тем же принципом действия может быть проложен при помощи параллельных горизонтальных геометрически пересекающихся инъекционных элементов. Этот метод не только более продуктивен с технической точки зрения, а при длинных проколах и более экономичен. Данные преимущества реализуются благодаря возможности беспрепятственного проведения строительных работ в верхней части котлована.

При помощи установок ГНБ можно вводить закрепляющие материалы в мягкие, чувствительные к нагрузкам, сложно проходимые грунты (например ил, болотистая почва). Данные материалы могут вводиться в грунт большими смешивающими инструментами, вращающимися форсунками, при этом достигается эффект смешивания почвы. Таким же способом возможно введение в почву минеральных удобрений. В грунт подверженный малой эрозии устанавливают поперечные балки, способные снизить объем вынимаемой почвы. Методы улучшения почвенных условий при помощи горизонтального бурения практически не ограничены.

Таким образом, после анализа сфер применения, горизонтальная буровая техника открыта для многих других возможностей применения,



находящихся сейчас на начальном этапе развития. Существует немного строительно-технических областей, где применение горизонтально направленного способа бурения было бы ограничено. Например, ГНБ позволяет обезвреживать отходы в грунте при помощи капсуляции, устанавливать подводные барьеры, изменять направление движения грунтовых вод в сыпучих грунтах. При помощи бестраншейного бурения возможно устанавливать ребра жесткости, возводить подземные фундаменты, извлекать из почвы жидкие либо растворенные материалы, проводить бестраншейную замену старых трубопроводов. Что касается строительства, то можно без помех переоборудовать тоннели, пересекать пространство под зданиями и поверхностями без дополнительного вмешательства, прокладывать подземные сети для проведения измерений. Также возможно устанавливать местонахождение очагов вредных материалов в грунте под реками и озерами, брать пробу грунта инвазивным методом и даже обнаруживать и извлекать твердые тела и материалы на небольшом расстоянии. Области применения технологии бестраншейного бурения неограничены.

В результате роста количества ГНБ на рынке представлен широкий ассортимент буровых установок и вспомогательного оборудования. Современное оборудование для горизонтально направленного бурения может работать в широком диапазоне почвенных залежей, от чрезвычайно мягких почв до твердых скальных образований.

### 1.3 Обзор техники для горизонтально направленного бурения

По статистике на альтернативные методы ведения работ, такие как строительство переходов с помощью установок ГНБ, приходится всего 10%. Чтобы проложить новый трубопровод или получить доступ к существующему, используя традиционный траншейный способ, необходимо извлечь, свалить в кучу и засыпать обратно тонны материала, что требует большого количества энергии. При этом происходит долговременное нарушение ландшафта, приводящее к замедлению трафика и пробкам. Бестраншейный способ требует меньше оборудования, людей и времени, чем открытый способ, поэтому он намного дешевле для города, который оплачивает эти работы. И это даже без учета долгосрочных факторов, таких как ремонт поврежденных дорог. Кроме того, с бестраншейными технологиями вредные выбросы в атмосферу снижаются на 90% по сравнению с традиционными способами ведения работ [7].

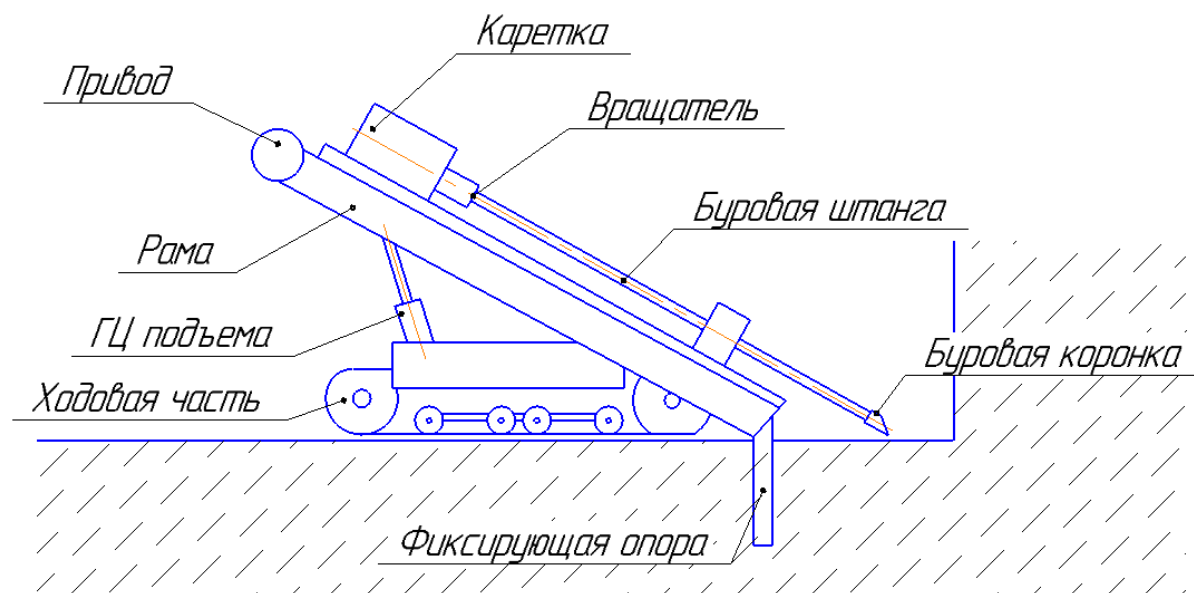


Рисунок 1.2 Структура схема установки ГНБ

Несмотря на все преимущества и тот факт, что данный прогрессивный метод существует уже несколько десятилетий, бестраншейные технологии по-прежнему остаются в некотором смысле новаторскими. Тем не менее, интенсивность использования горизонтально-направленного бурения набирает силу, и репутация этого направления растет. Учитывая высокую стоимость земляных работ, включая социальные издержки, связанные с нарушением бизнеса и повседневной деятельности, ГНБ – это предпочтительный метод решения коммунальных проблем в городских районах. Производители буровых установок, а также поставщики инструмента, систем локации и бурового раствора значительно усовершенствовали технологии горизонтально-направленного бурения, которые позволяют сейчас делать более длинные, глубокие и точные проходы самых сложных грунтов с большей степенью безопасности для существующей инфраструктуры.

Направленные буровые установки, используемые в настоящее время в ГНБ, обычно состоят из каретки, которая скользит по раме и удерживает буровые штанги под углом от 0 до 25 градусов. В большинстве случаев гидравлическая мощность используется для подачи питания на каретку, которая вращает буровые штанги. Цепной или реечный привод используется для толкания или вытягивания каретки для продвижения или втягивания бурильной колонны (рисунок 1.2).

Буровые установки широко представлены на рынке и отличаются главным образом такими показателями как крутящий момент, тяговое усилие и нагрузка на долото, которую они обеспечивают. Несмотря на разнообразие размеров и видов, предлагаемых отдельными производителями, буровые установки имеют некоторые общие черты. Буровая установка обеспечивает подачу бурового инструмента и вращение бурильной колонны. При бурении вертикального ствола, основное усилие на буровое долото обеспечивается весом бурового забойного двигателя и бурильной колонны. При бурении

направленного ствола бурильная колонна редко находится в вертикальном положении, и поэтому буровая установка должна обеспечивать нагрузку на долото. На буровых установках ГНБ усилие подачи на буровой инструмент обеспечивается (через бурильную трубу) при помощи цепной передачи либо при помощи зубчатого зацепления (реечной передачи).

Что касается классификации установок ГНБ то в 2000 г. в Европе разработана единая классификация, позволяющая объединить и многие другие существовавшие классификации буровой техники, но мы коснемся лишь буровых установок горизонтально направленного бурения. Установки классифицируют по максимальной тяговой силе и максимальной глубине бурения [8].

*Категория мини-буровых установок* обычно включает в себя буровые установки, рассчитанные на тягу менее 180 кН, крутящий момент от 5 до 15 кН·м и подачу бурового раствора менее 280 л/мин [2]. Мини-буровые установки обычно устанавливаются на прицепе, грузовике или самоходном гусеничном ходу. Самоходные версии – это автономные агрегаты с силовым агрегатом, гидравлическим приводом и насосом для подачи бурового раствора на транспортном средстве. Для данного вида буровых установок характерны вспомогательные устройства, имеющие автономную систему питания и насосную станцию для буровых растворов. Буровые установки, номинальная нагрузка которых составляет менее 90 кН, используются в основном для скважин малого диаметра, например для прокладки вспомогательных кабелей и труб малого диаметра в перегруженных районах. Но некоторые, из моделей данного класса в этой категории годны к применению для бурения в гравии, булыжнике и других формациях, где трудно поддерживать стабильность буровой скважины. Для небольших буровых установок теперь доступны специальные системы бурения и скважинные инструменты для бурения через породы средней твердости, а также булыжники.

*Категория миди-буровых установок* обычно включает в себя буровые установки, рассчитанные на тягу от 100 до 400 кН, крутящий момент от 15 до 35 кН·м, а также насосную систему бурового раствора от 250 до 800 литров в минуту [2]. Большинство буровых установок в этой категории являются автономными. Установки *Midi* обычно используются для установки изделий диаметром до 400 мм на расстояние до 600 метров. Данная категория буровых установок является основным типом, применяемым для монтажа муниципальных трубопроводных продуктов. Эти устройства компактны и могут быть легко использованы в городских районах, обеспечивая при этом возможность установки напорных и канализационных трубопроводов. Эти агрегаты могут работать с мягкими или твердыми грунтами и различных мягких пород. При использовании забойных грязевых двигателей и специальных расширителей эти агрегаты могут выполнять сверления в скальных породах.

*Большие (maxi) буровые установки* обычно используются в крупных операциях с несколькими смонтированными на трейлере вспомогательными устройствами, отличаются значительными периодами мобилизации. Эти устройства имеют более высокие эксплуатационные расходы и требуют больших рабочих площадей. Это обычно ограничивает их использование на рынке ГНБ для городских нужд. Буровые установки *Maxi* зачастую используются для трубопроводов большого диаметра (от 400 до 1200 мм) или исключительно длинных буровых установок длиной до 2000 метров. Эта категория буровых установок рассчитана на тяговое усилие более 2000 кН, более 60 кН·м крутящего момента и с насосной системой бурового раствора, превышающей подачу 900 литров в минуту [2].

Выше приведена именно европейская классификация установок ГНБ, так как согласно диаграмме представленной на рисунке 1.3 большая часть оборудования поставляется из заграницы.

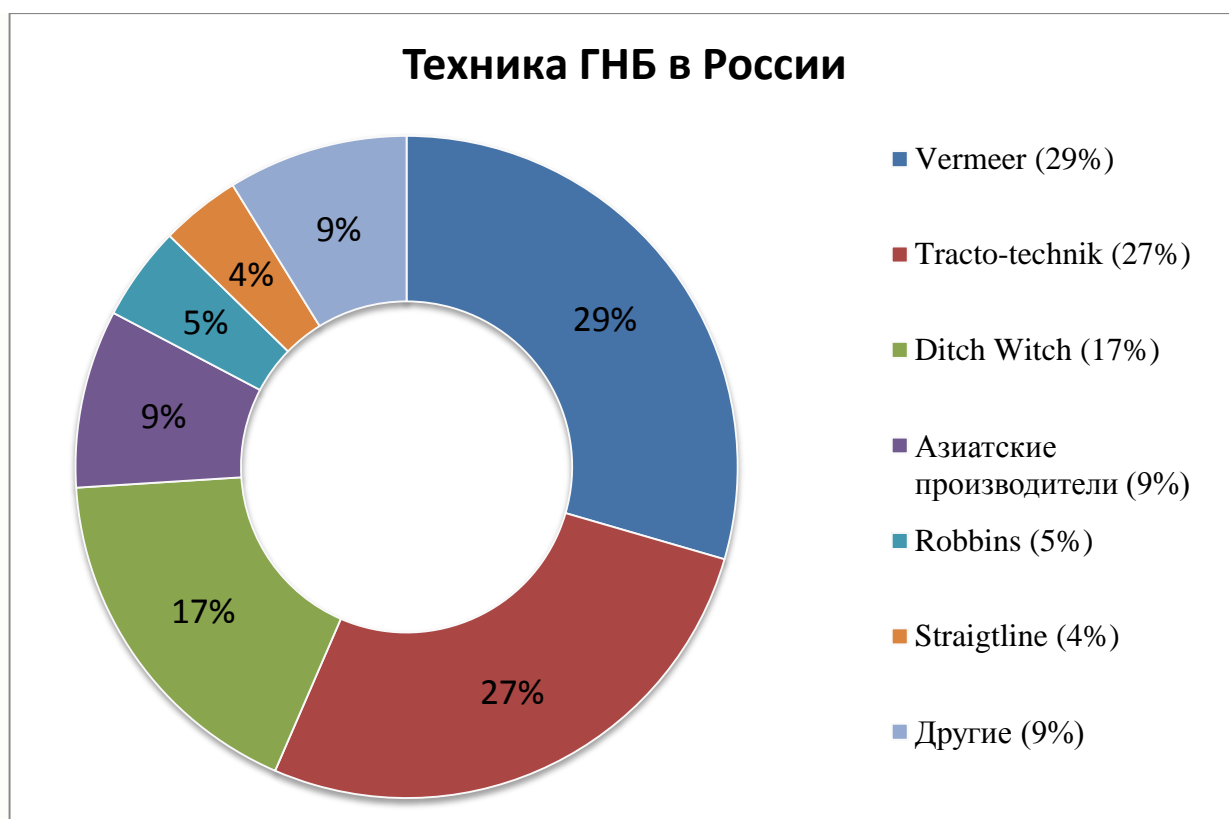


Рисунок 1.3 Диаграмма техники ГНБ применяемой в России

Установки ГНБ предлагаются с широким спектром возможностей. Нижнюю часть модельного ряда занимают компактные мини-установки с усилием прямой/обратной тяги менее 9 т с размерами, которые обеспечивают незаметную работу в жилых кварталах. Это, например, такие буровые комплексы, как *DitchWitch JT5* и *Toro DD2024*. С другой стороны спектра находятся установки макси с усилием прямой/обратной тяги более 500 тонн, способные бурить скважины диаметром, превышающим 1500 мм, такие как *AmericanAugers DD-1100RS*, *VermeerD1320x900*, старшие модели *PrimeDirect* и *Herrenknecht* (устанавливаются на специальных рамах или на гусеничном шасси). По спецификациям изготовителей, некоторые из этих крупных буровых установок могут сформировать скважину длиной более 3 км, но на практике мало кто может похвастаться переходом длиннее 1800 м [7]. В случае, когда требуется сверхдлинная скважина, могут использоваться две

установки во встречных направлениях. Таким образом, снижается вероятность неудачного бурения.



Рисунок 1.4 Установка ГНБ Vermeer D33x44

В повседневной работе большинство подрядчиков использует миди-комплексы. От 70 до 80% существующих скважин сделаны именно с помощью установок среднего класса, которые используются практически во всех отраслях, будь то строительство инженерных сетей, электроэнергетика, телекоммуникации или транспорт нефти и газа. В то время как продажи компактных и тяжелых буровых установок сильно зависят от циклических колебаний телекоммуникационных и нефтегазовых рынков, спрос на миди-установки демонстрирует больше стабильности. Большинство производителей имеют в своем ассортименте установки этого сегмента. Vermeer предлагает такие модели, как D20x22 S3, D23x30 S3, D24x40 S3, D40x55 S3, D40x55DRS3, D60x90 S3, D100x140 S3, D220x300 S3, D330x500. В линейке Ditch Witch шесть средних моделей: JT20, JT20 XP, T25, JT30 AllTerrain, JT40 AllTerrain, JT 60 AllTerrain, JT 100 AllTerrain. American Augers предлагает три модели миди: DD110, DD240, DD440 [5].



Одна из последних разработок компании Vermeer в этом классе – установка горизонтального направленного бурения D40x55DR S3 Navigator, которую можно использовать для различных типов грунтов: от твердых, средних и мягких скальных пород до глинистых почв. Для бурения скальных пород используется технология сдвоенной буровой штанги, при которой внутренняя штанга передает вращательное движение буровой головке, а внешняя штанга задает направление и обеспечивает крутящий момент для расширителя. Такая конструкция предоставляет возможность выполнять прокладку коммуникаций в различных условиях с использованием одной и той же техники. По заявлению производителя, буровые установки со сдвоенной штангой намного проще в использовании, чем другие решения, и обеспечивают большую гибкость, когда в одной скважине залегают грунты различной плотности.



Рисунок 1.5 Установка ГНБ Tracto-Technik Grundodrill 15XP



С применением новой сдвоенной конструкции бурильной колонны, за счет простого и быстрого внутреннего и внешнего соединения время и объем работ, необходимые для монтажа или демонтажа штанг на D40x55DR S3, сократились на 30% по сравнению с предыдущими моделями Vermeer [1]. Полая внутренняя штанга увеличивает поток воздуха и бурового раствора к буровой коронке на пилотных скважинах и к расширителю при обратном протягивании. Это означает, что подрядчикам становится доступен более широкий набор оборудования, начиная от шарошечного конического долота до пневмомолота, а также появляется возможность использовать расширители большего диаметра. Vermeer D40x55DR S3 с силой прямой/обратной тяги 18 тонн приводится в действие дизельным двигателем JohnDeere мощностью 140 л.с. Установка может нести на борту до 1500 м буровых штанг. Скорость каретки на максимальных оборотах двигателя достигает 35 м/мин.



Рисунок 1.6 Установка DitchWitch JT10

Аналогичный принцип бурения с механической передачей энергии на буровое долото используется в установках DitchWitchAllTerrain. Установки этой серии используют сдвоенные штанги, при этом наружная штанга направляет буровую колонну при бурении пилотной скважины, а внутренняя постоянно вращает долото. Наружная штанга или медленно вращается для

поддержания прямолинейного движения, или остается неподвижной во время подачи для корректировки направления бурения. Внешние штанги имеют коническую резьбу для соединения, а внутренние соединяются с помощью шестигранных муфт. Расход бентонитового раствора не превышает необходимого для обычного бурения объема. Одна из новинок этой серии – это установка DitchWitch's JT40 AllTerrainco 160-сильным двигателем Cummins, которая обеспечивает крутящий момент 8184 Н.м, что на 33% выше, чем у конкурентов в аналогичном классе. Конструкция с внутренней штангой улучшает управление инструментом в условиях твердой породы.



Рисунок 1.7 Установка ГНБ компании Herrenknecht

Компания Herrenknecht поставляет установки ГНБ с усилием тяги от 60 до 600 тонн, в четырех стандартных конфигурациях (на раме, на трейлере, на гусеницах и в модульном исполнении) с отдельной кабиной управления оператора. Автономная насосная станция установки работает от дизельного двигателя, расположенного в отдельном контейнере, мощность которого

может варьироваться в диапазоне от 330 до 1440 кВт в зависимости от требований заказчика. Для ввода в эксплуатацию установки, смонтированной на трейлере, не требуется кран [3]. Версия на гусеничном ходу обладает значительными преимуществами в условиях бездорожья. Модульные установки могут быть разделены на две или три части для перевозки в стандартных контейнерах. В качестве опции предлагается гусеничное шасси с дистанционным управлением.

Важную роль при выполнении работ по технологии ГНБ играет высококачественный буровой инструмент. Ведущим поставщиком инструментов для горизонтально-направленного бурения является компания Inrock, но данная компания была приобретена компанией Sandvik. Эта сделка будет способствовать дальнейшему расширению портфеля продуктов для ГНБ, которые предлагаются клиентам Sandvik. Особое внимание при этом компания будет уделять сегменту установок среднего класса и ускорению глобального развития своего бизнеса.

Китайские бренды не остаются в стороне и уверенно догоняют лидеров. Китайские установки горизонтально-направленного бурения под маркой XCMG хорошо знакомы российским специалистам. Показатели новой серии E были значительно улучшены в отношении эргономики рабочего места, безопасности, защиты окружающей среды, информационного обеспечения, оптимизации системы управления и дизайна. Инженеры XCMG смотрят вперед и стараются уловить тенденции, которые будут на рынке через 3–5 лет. Значительные инвестиции в исследования и разработки позволяют получить качественный портфель продуктов в широком диапазоне. Комплексы серии E работают эффективнее предшественников на 20% и при этом потребляют на 10% меньше топлива [18]. Благодаря применению автоматической системы замены буровых штанг появилась возможность сократить количество обслуживающего персонала. Отвечая на растущие требования пользователей по всему миру, компания не только постоянно



расширяет модельный ряд установок ГНБ, но и добавляет специальные опции, рассчитанные на конкретных заказчиков. Например, буровые установки могут снабжаться сдвоенными буровыми штангами для твердых пород, которые подойдут для работы в ограниченном пространстве. С разбросом усилия тяги от 16 до 660 тонн, продукты XCMG способны удовлетворить требования практически всех потенциальных заказчиков в любых отраслях. Кроме того, в качестве основного гидронасоса может быть установлен аксиально-поршневой насос для повышения скорости вращения ведущего вала с сохранением тягового усилия. Одна из самых популярных в серии, установка XZ360E, обеспечивает крутящий момент 13200 Н·м и максимальное тяговое усилие 37 тонн [12]. Насос бурового раствора с расходом 400 л/мин создает максимальное давление 8 МПа.



Рисунок 1.8 Установка ГНБ модель XZ320A

Парк буровых комплексов в России на 99% состоит из импортной техники. Доля ведущих производителей Vermeer, DitchWitch и Universe составляет более 50% рынка [4]. Китайские бренды не остаются в стороне и уверенно догоняют лидеров. Доля импортных расходных материалов и инструмента достигает 80%. Таким образом, импортозамещение на данной отрасли пока не отразилось. Надо отметить, что объем ввоза оборудования для ГНБ с 2013 г. сократился не в разы, а в десятки раз [39]. Но несмотря на экономические трудности, можно уверенно говорить о том, что направление ГНБ в России состоялось как самостоятельная отрасль строительного комплекса.

С формированием цивилизованного рынка ГНБ закончилась эпоха увлечения «новой темой», когда многие пробовали свои силы в этом нелегком ремесле, прикупив установку ГНБ и осваивая ее на ходу. Те, кто остался на плаву, пусть и немногочисленные, но профессионалы своего дела [29]. Результатом деятельности ведущих игроков этого рынка за последние годы стало формирование законодательной базы, регламентирующей ценообразование и правила игры, а также подготовка высококвалифицированного кадрового потенциала. Окончательная редакция свода правил 341.1325800.2017 «Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением» была утверждена Минстроем России и введена в действие в мае 2018 г.[37]. Этот документ востребован у проектировщиков, заказчиков и подрядчиков. Он распространяется на проектирование, производство, контроль качества и приемку работ по прокладке закрытых переходов при строительстве и реконструкции сетей водоснабжения, тепловых сетей, кабельных линий электроснабжения, связи и телекоммуникаций, сетей газораспределения, а также пересечениях коммуникациями искусственных и естественных преград.

По оценкам специалистов, наиболее перспективны в России проекты со средней и большой длиной скважин и с диаметрами выше среднего. При

этом география подобных заказов смещается на север и восток страны. Кроме того, в последнее время растет интерес к добыче сверхвязкой нефти, которую нефтяные компании намерены добывать по максимуму. Один из возможных методов ее извлечения – парогравитационный дренаж (SAGD), который требует применения горизонтально-направленного бурения.

В заключении можно отметить рынок ГНБ не стоит на месте. Дальнейшее его развитие связано с внедрением технологий ГНБ в новые виды работ, что предполагает масштабную модернизацию парка буровых комплексов, инструмента и вспомогательного оборудования.

## **2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1 Анализ оборудования для разрушения крепких горных пород**

В сфере бурения горизонтально направленных скважин широко распространено оборудование иностранного производства, охватывающее широкий диапазон технических характеристик. В России, согласно диаграмме 1.3, представлены различные производители установок ГНБ, для анализа технических возможностей и характеристик составим сводную таблицу.

В процессе эксплуатации данного оборудования возникают условия, при которых применение оборудования ГНБ имеет недостатки свойственные каждому типу. Однако основной недостаток такого оборудования заключается в трудоемкости бурения в твердых горных породах. Это требование возникло в связи с различными территориальными условиями бурения [4].

Таблица 2.1 Технические характеристики буровых станков

Параметры	Установки горизонтально направленного бурения					
	Vermeer D7×11	TERRA-JET 5415S	Ditch Witch JT2020	JVD-280	TractotechnikG rundodrill 15XP	XCMG XZ320A
Страна, фирма	США, Vermeer	Швейцария, TERRA AG	США, Ditch Witch	Китай, JOVE	Германия, Tracto-Technik	Китай, XCMG
Способ бурения	Вращательный	Ударно-вращательный				
Диаметр штанг, мм	45	55	63	60	100	73
Длина бурения max, м	110	200	250	400	320	500
Максимальный диаметр скважины, мм	300	600	600	600	650	800
Крутящий момент, Н·м	2000	3400	3000	9000	7500	12000
Подача насоса, л/мин	50	100	120	240	220	320
Угол бурения, °	10-20	10-20	12-20	10-20	10-18	10-24



Одной из причин отсутствия установок ГНБ способных вести бурение в скальных породах является недостаточная степень изученности вопросов, связанных с механикой разрушения, исследование которой непременно находит применение в процессе бурения [42].

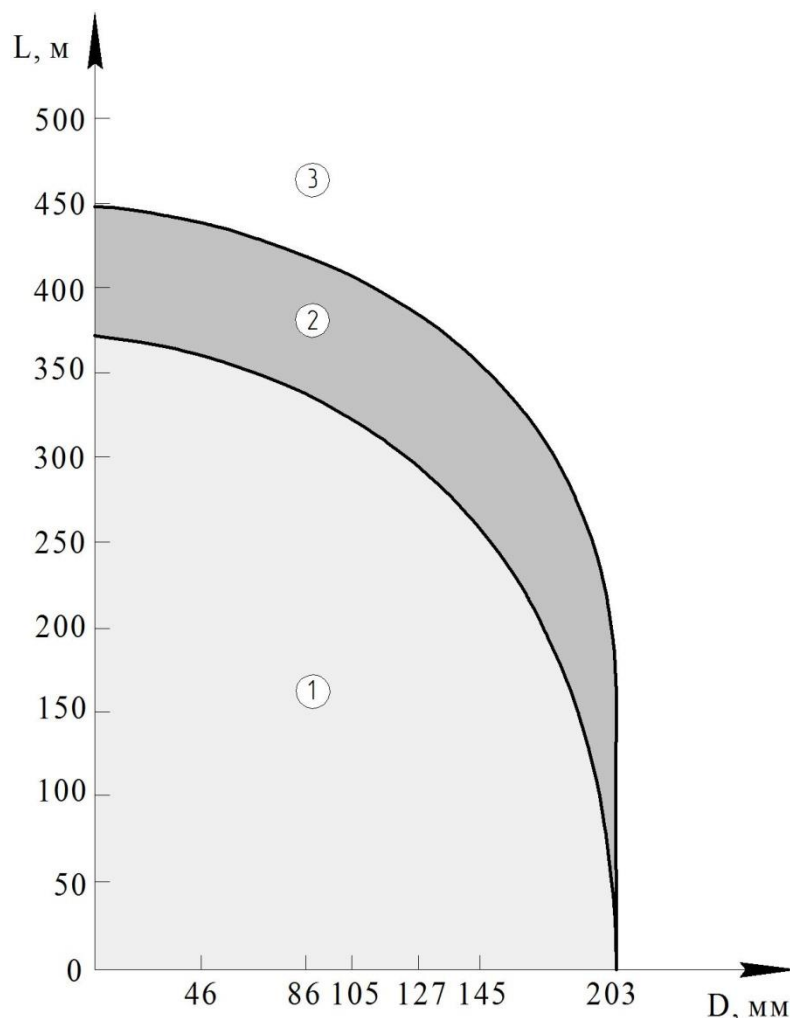


Рисунок 2.1 График применения ГНБ в соотношении длины на диаметр  
 1 – Осуществимо, экономические затраты рассчитываются из требований;  
 2 – Возможно с имеющимися данными о грунтах, затраты увеличиваются от характеристики грунта; 3 – Маловероятно, требуются большие экономические вложения.

Но стоит отметить что, при наличии включений твердых пород в грунте механическая скорость бурения резко снижается, происходит ускоренный износ инструмента. Для предотвращения данных ситуаций необходимо устройство способное вести бурение в породах различной структуры и

твердости, что подтверждает актуальность применения ударного механизма способного разрушать крепкие горные породы [15].

Вначале 2000-х, когда горизонтально направленное бурение (ГНБ) только набирало популярность в качестве метода прокладки коммуникаций, основным препятствием для его использования являлись пласты горных пород. Данная проблема до сих пор является актуальной в настоящее время.

Компактные буровые установки для прокладки трубопроводов и кабелей имели достаточную прочность и мощность для работы в этих пластах, но операторы не имели возможности изменять курс бурения с помощью скошенной лопатки, используемой на большинстве буровых установок для управления буровой головкой. Проталкивание буровой головки в скальных грунтах для управления колонной часто件возможно: если буровой инструмент попадает в скальную породу, то такой прием не приносит желаемого результата [29].

Технология ГНБ для небольших установок, прокладывающих именно коммуникации, получила свое развитие в середине 90-х. Тогда же производители инструментов и оснастки занялись разработкой различных буровых коронок для бурения в скальном грунте. Некоторые подрядчики занимались разработкой такого оборудования под свои нужды самостоятельно. Особенно это касалось тех подрядчиков, которые были заняты бурением на нефтепромысле.

Модернизация бурового инструмента для ГНБ проходила с переменным успехом, но спустя почти десятилетие в промышленности укрепилось мнение, что единственным методом бурения скальных пород является бурение с применением гидравлического забойного двигателя [17]. Тем не менее, у небольших моделей для ГНБ отсутствовали необходимая мощность и производительность бурового насоса, необходимые для такого двигателя. Крупногабаритные буровые установки, используемые для прокладки труб большого размера на длинные расстояния, имели слишком большие размеры для применения в условиях городской среды, а их

использование приводило к значительному увеличению стоимости проведения буровых работ.

В 1995 году была представлена система с механическим приводом через двойные бурильные трубы с усилием обратной тяги чуть более десяти тонн. В дальнейшем она была усовершенствована и стала наиболее эффективным инструментом для бурения скальных пород с помощью среднегабаритных установок ГНБ. В настоящее время система с постоянно модифицируемыми шарошками и пневмомолотами для ГНБ предлагает различные решения для направленного бурения скального грунта. Данный инструмент предназначен для буровых установок с усилием обратной тяги до 45 тонн [28]. Гидравлические забойные двигатели используются на больших моделях (более 45 тонн) для прокладки трубопровода в крепких горных породах, на длинных переходах под водными преградами и в работах с трубами большого диаметра. Рассмотрим основную технику, применяемую для бурения горизонтально направленным способом скважин с преодолением горных пород высокой твердости.

### *2.1.1 Гидравлические забойные двигатели*

Гидравлические забойные двигатели приводятся в действие с помощью бурового раствора, подаваемого через бурильные трубы на мотор, который превращает силу потока жидкости в силу вращения и крутящего момента. Забойные двигатели используются для бурения на нефтепромыслах с 1920-х годов. Обычно забойные двигатели для ГНБ вместе с большими буровыми установками используют подрядчики, работающие с длинными и сложными скважинами в твердых породах. Не так давно для направленного бурения были разработаны двигатели для установок с меньшей производительностью бурового насоса [18].

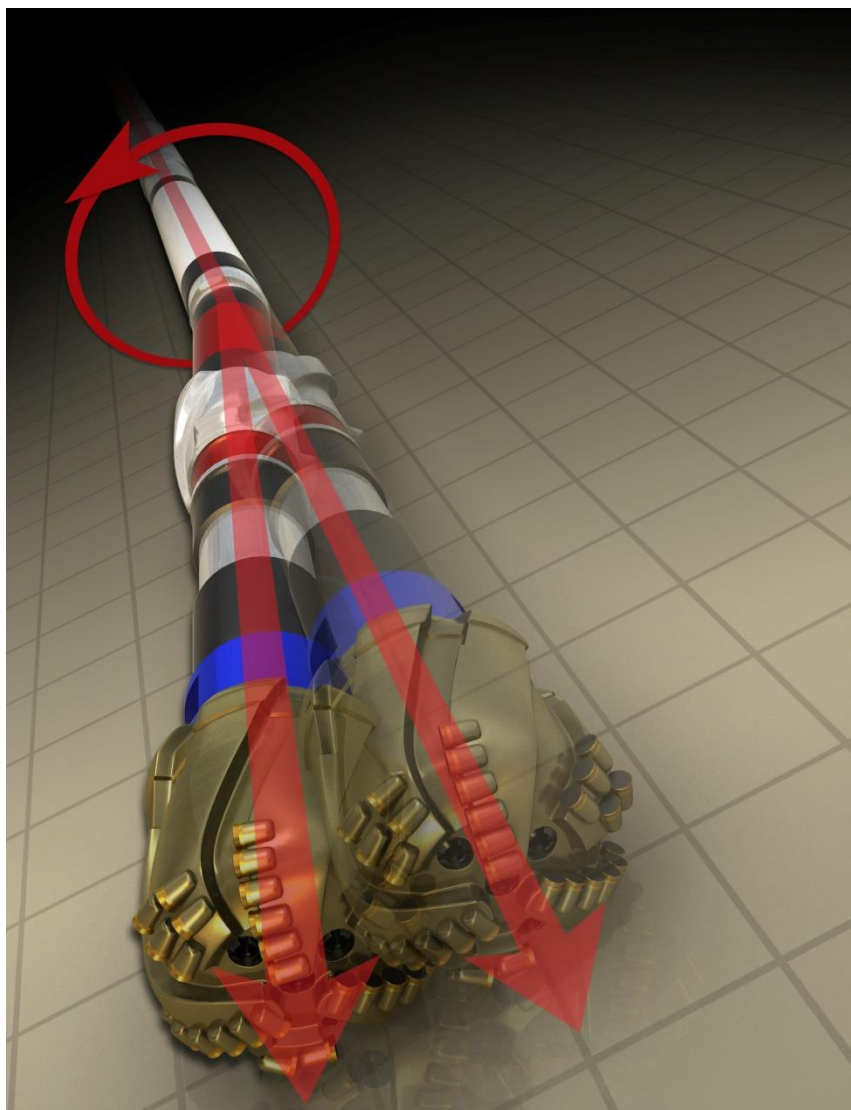


Рисунок 2.2 Гидравлический забойный двигатель

Забойный двигатель представляет собой гидравлический мотор, соединенный с буровой штангой. Буровая жидкость приводит в действие мотор и, соответственно, буровую шарошку. Буровая штанга в свою очередь обеспечивает управление, направленность и вращение всей колонны. Инструмент из-за большой длины и малой жесткости управляется в скважине с некоторой погрешностью, что ограничивает применение данного способа при высоких требованиях к заданной проектной траектории.

Невысокая эффективность забойных двигателей ограничивает мощность скважинного инструмента и требует нагнетания большого количества бурового раствора, что может обеспечить не каждая малогабаритная установка ГНБ. Высокое давление бурового раствора,

необходимое для эффективной работы, может привести к разрушению скважины и выбросу буровой жидкости в окружающую среду через поверхность грунта или же в воду при бурении через водную преграду.

### *2.1.2 Модифицированные скошенные буровые коронки*

Скошенные лопатки с модифицированными резцами зачастую являются самым приемлемым вариантом для работ в плотном, твердом грунте и скальных породах. Существует масса конструкций со съёмными твердосплавными резцами для ударного и вращательного способов разрушения грунта [38]. Однако работа с ними кардинально отличается от работы в мягких грунтах. Буровой инструмент управляется с помощью «резания» отверстия, то есть методом поступательных полукруговых движений бура туда-обратно, стачивающих породу для отклонения в сторону необходимого направления. В зависимости от структуры грунта работы могут сильно замедлиться. Для выполнения таких работ следует назначить квалифицированного и опытного оператора. Облегчить его труд могут функции автоматического управления «резанием», которыми снабжены некоторые современные буровые установки.



Рисунок 2.3 Бурильный инструмент для ГНБ

Модифицированные скошенные буровые коронки наиболее эффективны при работах в твердом грунте, грунте со скальными включениями и в рыхлых горных породах. Существует огромное множество головок для бурения твердых пород в различных конфигурациях для малых и больших буровых установок. Они есть в арсенале многих производителей бурового инструмента для ГНБ.

### *2.1.3 Пневмомолоты для бурения (airhammers)*

Не так давно широкое применение для бурения твердых скальных пород получили пневмомолоты с прочностью на сжатие до 170 МПа. Ударное бурение обычно эффективнее, чем вращательное бурение, если говорить о твердых горных породах [32]. Молоток работает от подачи больших объемов сжатого воздуха. И еще большие объемы воздуха требуются для прочистки скважины. Сложности при извлечении грунта зачастую критически снижают производительность. Пневмомолоты используются как с обычным буровым

оборудованием ГНБ с одинарными штангами, так и в моделях, оборудованных двойными штангами.

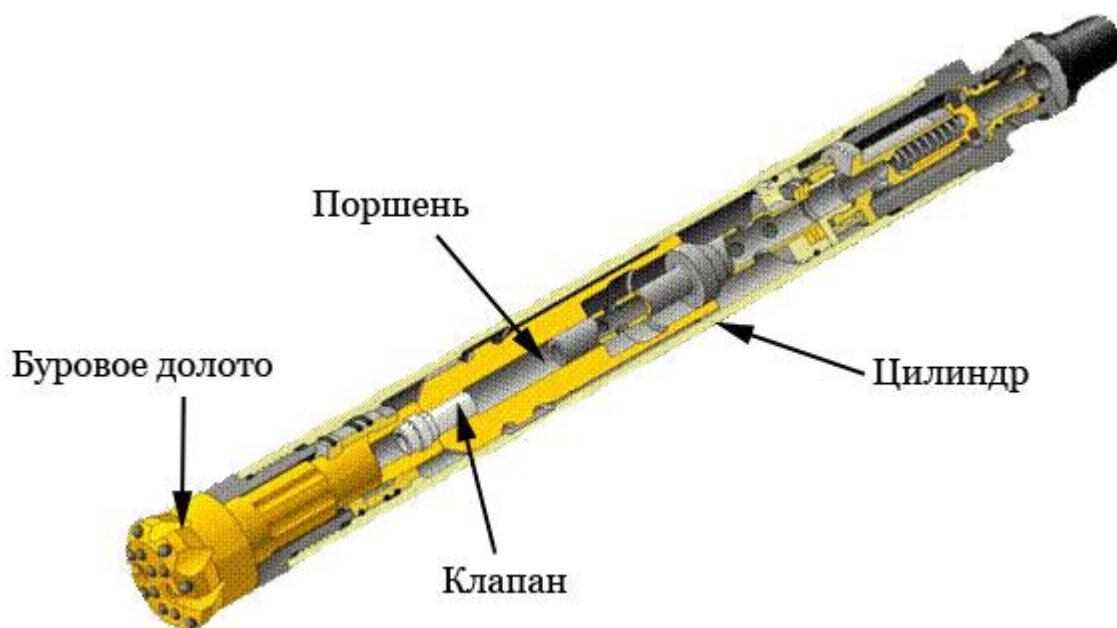


Рисунок 2.4 Пневмомолот COP 32 компании AtlasCopco

Ударно-вращагельное бурение пневмоударниками рекомендуется при проходке скважин глубиной до 100-250 м с целью разведки коренных и россыпных месторождений благородных металлов и алмазов, месторождений полиметаллов, источников водоснабжения, в районах распространения многолетнемерзлых горных пород, а также при поглощении промывочной жидкости и при пересечении.

Управление может показаться сложным, если используются одинарные штанги и пневмомолот со скошенной коронкой. Не так давно функцией пневмомолота были оснащены системы ГНБ с двойными штангами. Такие системы показали хорошую производительность с изгибом первой штанги для обеспечения управления и внутренней штангой для обеспечения вращения пневмомолота.

Компания AtlasCopco выпускает очень эффективные бесклапанные пневмоударники высокого давления типа COP 32, COP 42, COP 52, COP 62 для бурения скважин диаметром от 85 до 165 мм. Компания Sandvik предлагает

пневмоударники Mission и Silverdrill для бурения скважин диаметром от 90 до 508 мм.

Пневмомолот не подходит для проходки в мягких грунтах и не используется на длинных переходах. Пневмомолоты подходят для бурения пилотной скважины диаметром около 150 мм в скальных породах (более 100 МПа) и в определенных сверхтвердых породах (свыше 170 МПа). Минусы пневмомолота заключаются в сложности контроля направления в рыхлых средах, а также в трудноосуществимой очистке буровой скважины от шлама. Также стоит заметить минимальное ограничение диаметра скважин, так как предложенных на рынке конструкций пневмомолотов малого диаметра крайне мало.

#### *2.1.4 Механические системы с двойными штангами*

Механические буровые системы с двойными штангами обеспечивают средние модели для ГНБ с обратной тягой от 13 до 45 тонн. Они обладают производительностью, достаточной для бурения в каменистых породах, что недоступно обычным установкам со схожими характеристиками. Системы с механическим мотором имеют внутреннюю штангу, которая приводит в движение породоразрушающий инструмент, а внешняя штанга обеспечивает управление. В отличие от гидравлического забойного двигателя зонд локализации механической системы располагается в буровой головке (первой штанге), а не на расстоянии 4-5 метров от нее, что является стандартным расположением для забойного двигателя. Механическая система обеспечивает максимальную мощность вращения бурового инструмента, одновременное бурение и управление направлением в скальных и каменистых породах, расходуя буровой жидкости не больше, чем обычное оборудование ГНБ такого размера с одинарными штангами [39].

Кроме скального грунта, механические системы эффективны при работах в глине и в других типах почвы. Ход бурения не изменится, если



каменистый грунт сменится на мягкий грунт. Грунт вперемешку щебнем является одним из самых неудобных сред для направленного бурения, так как изменить направление бурения в такой почве крайне сложно. Также не является исключением и система бурения с двойными штангами при прокладке коммуникаций в подобных условиях возможно отклонение от заданной траектории.

Если машина ГНБ оснащена механической системой, это значит, что каменистая почва не станет преградой для проведения направленного бурения, как это было ранее. В настоящее время механические системы бурения скальных пород предлагаются двумя производителями, и их продукция имеет существенные различия. К недостатком данной системы можно отнести высокую стоимость оборудования, так как производстве данных систем практически отсутствует конкуренция. Производителя данного оборудования является компании Ditch Witch и TractoTechnik. Также нигде нет информации и упоминаний о эксплуатационных характеристиках данных систем.

В заключении хотелось бы отметить, что современные технологии значительно расширяют возможности горизонтально направленного бурения. В связи с этим растет и область применения метода горизонтально направленного бурения, следствие чего становится актуальным вопрос о применении эффективных и экономически выгодных устройств, предназначенных для разрушения крепких горных пород.

## 2.2 Конструкция ударного механизма

При бурении пилотной скважины методом горизонтально направленного бурения возникают ситуации, когда на заранее запланированной траектории бурения возникают трудности связанные с прохождением горных пород высокой твердости. В связи с этим, на основе анализа существующих механизмов разрушения горных пород, предлагается гидравлическое устройство позволяющее формировать в бурильной колонне силовые импульсы. Данный способ разрушения заключается в прохождении силового импульса по бурильной колонне с высокой скоростью и передачи энергии к буровому инструменту находящегося в зоне разрушения горных пород [4,11,31]. Конструкция и принцип работы гидроимпульсного механизма для горизонтально направленного бурения приведены на рисунке 2.3

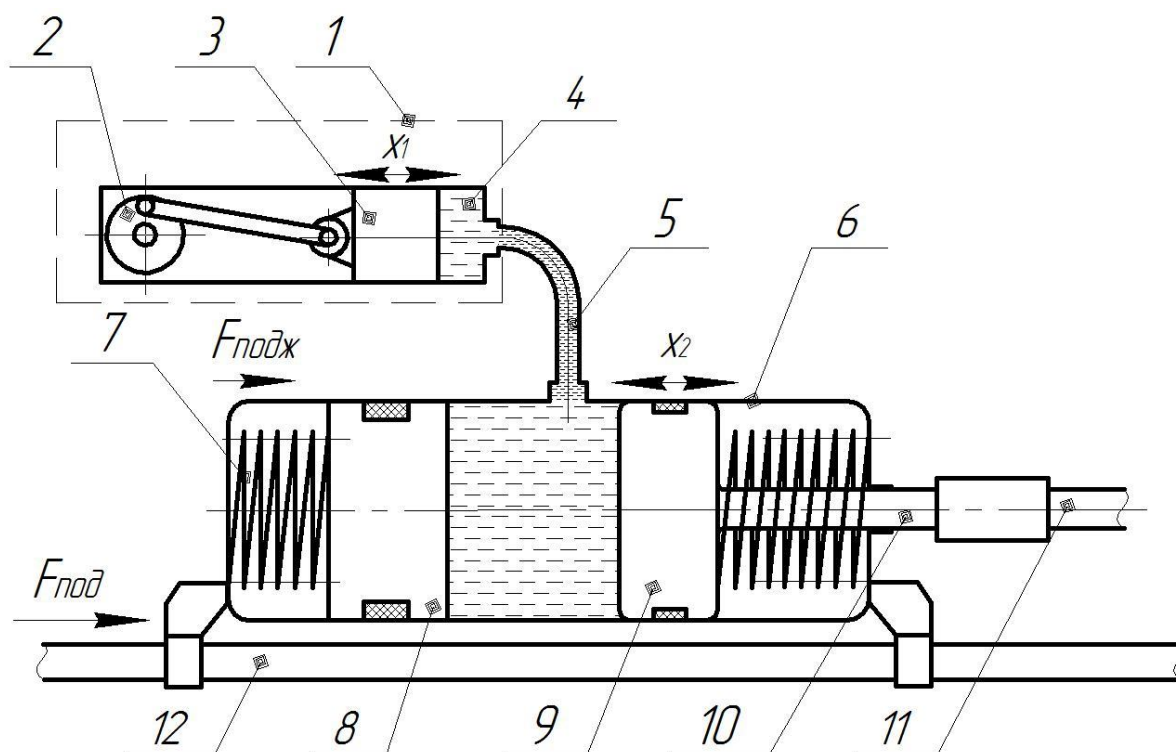


Рисунок 2.3 Ударный механизм для установки ГНБ:

- |   |    |
|---|----|
| 1 – плунжерный насос; 2 – механический привод; 3 – плунжер;         | 4  |
| – гидроцилиндр; 5 – рукав РВД; 6 – корпус; 7 – пружина сжатия;      | 8  |
| – инерционная масса; 9 – поршень; 10 – хвостовик бурильной колонны; | 11 |
| – бурильная колонна; 12 – направляющая рама станка.                 |    |

Далее рассмотрим принцип действия механизма, при работе плунжерного насоса 1, при помощи кривошипно-шатунного механизма 2 происходит возвратно-поступательное движение плунжера 3, тем самым повышая импульсное давление в гидроцилиндре 4. Сформированный силовой импульс через упругий элемент, в данном случае упругим элементом выступает рукав РВД 5, передается в рабочую камеру, воздействуя на инерционную массу 8. Так как на инерционную массу 8 действует упругая сила пружины 7, начинается преобразование кинетической энергии в энергию жидкости потенциальную. Данные преобразования приводят к переменному понижению и снижению рабочего давления системы. Сформированная энергия действует на поршень 9, который жестко соединен с хвостовиком бурильной колонны 10. Направляющая балка 12 представляет собой раму установки ГНБ, данное расположение ударного механизма позволяет перемещать его в пределах рабочей зоны рамы станка, например при помощи цепной передачи. То есть на установке имеется некоторый механизм подачи для осуществления осевого усилия на забой.

Для проведения дальнейшего исследования эффективности применения ударного механизма была разработана 3Dмодель механизма, на основе принципиальной схемы. Данная модель разработана в программе SolidWorks. В работах [10, 16, 24, 25] представлено похожее устройство для проведения буровых работ скважин малого диаметра из подземных горных выработок. Так как при проведении данных мероприятий возникают трудности с прохождением пропластков горных пород высокой твердости.

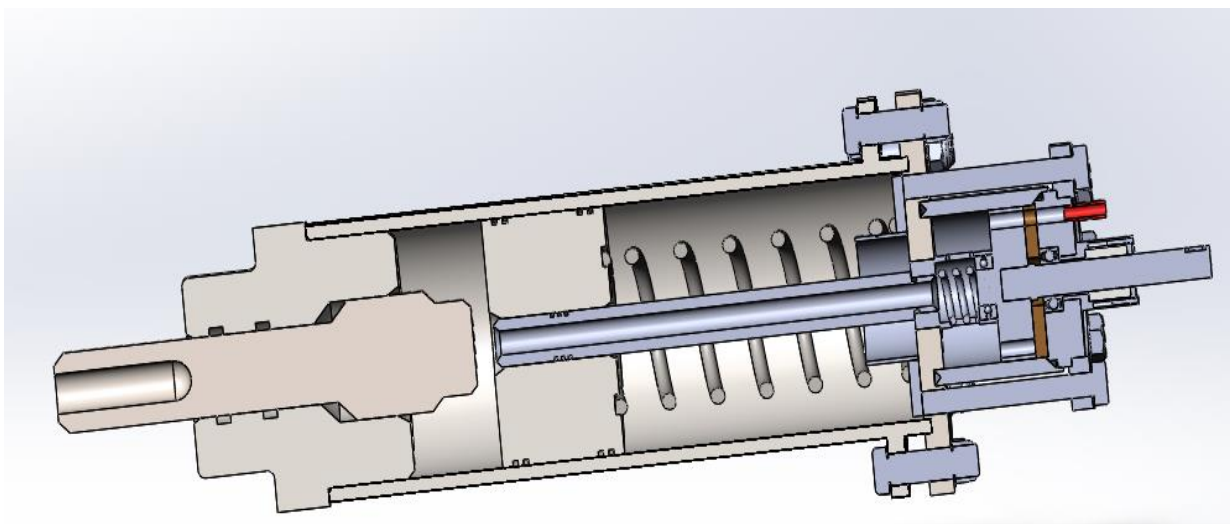


Рисунок 2.4 3Dмодель ударного механизма

К преимуществам данного ударного механизма можно отнести ряд факторов:

1. Отсутствие соударяющихся частей;
2. Возможность самонастройки системы по величине амплитуды
3. Низкий уровень шума при работе;
4. Высокая теплостойкость;
5. Возможность применения минеральных масел и эмульсий.

Для подтверждения эффективности работы ударного механизма авторами [11, 25, 30] была проведена серия экспериментов, подтверждающая работоспособность конструкции данного механизма, на рисунке 2.5 приведен график формирования силового импульса, подтверждающий работоспособность данной компоновки.

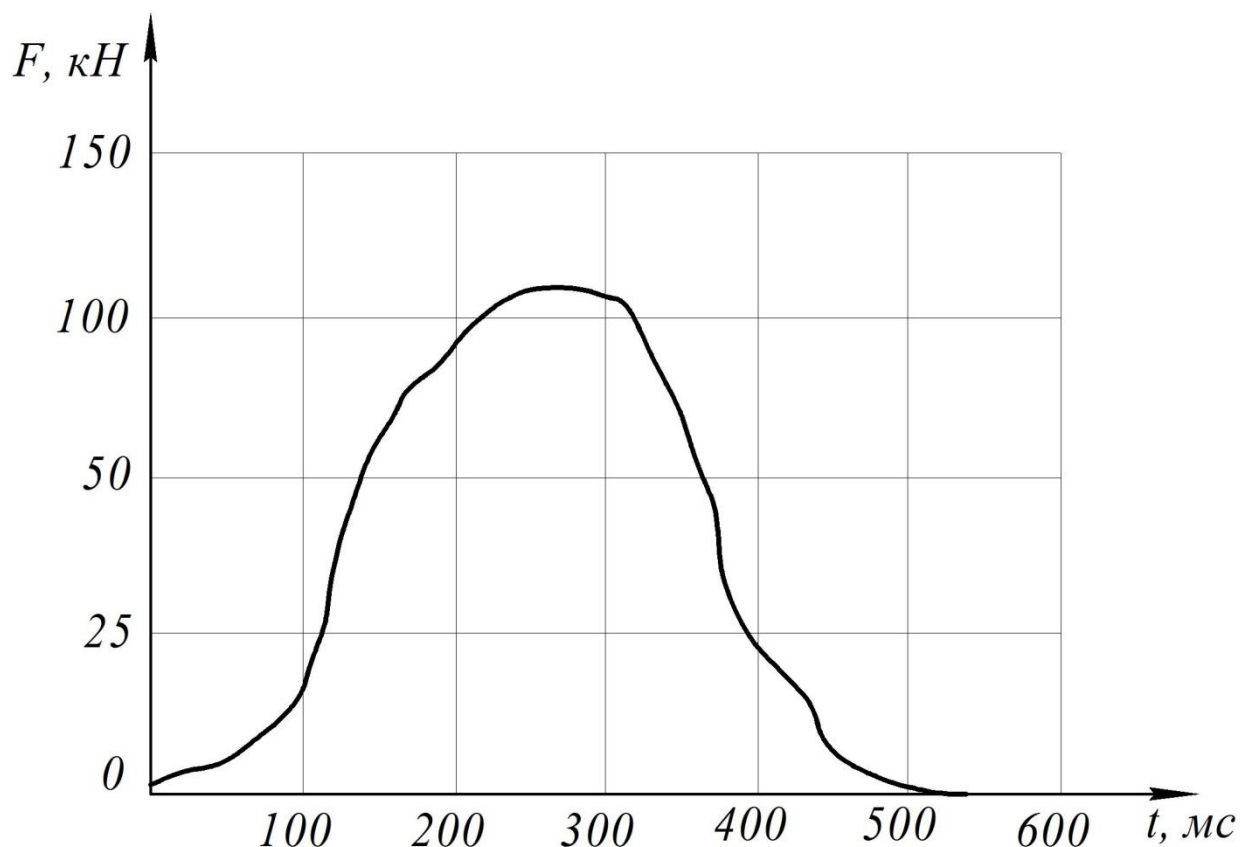


Рисунок 2.5 График формирования импульса

Стоит отметить, что при ударно-вращательном бурении разрушение горной породы происходит под действием ударной нагрузки и крутящего момента одновременно, а между ударами только под действием крутящего момента и осевого усилия.

Разрушение горной породы ударной нагрузкой мало зависит от усилия подачи, а в большей степени определяется формой и амплитудой ударного импульса в штанге, которые в свою очередь зависят от оптимального положения хвостовика в бурильной машине и постоянства передачи энергии по бурильной колонне.

Немаловажным обстоятельством, определяющим повышение эффективности бурения при наложении высокочастотной вибрации на буровую компоновку, является снижение коэффициента трения между колонной и стенкой скважины, что приводит к значительному улучшению условий работы деформированной бурильной колонны [21].

Создание в штанге продольного ударного импульса и импульсного момента отдельными ударными механизмами нерационально из-за сложности устройств, для обеспечения синхронной работы механизмов и самого генератора импульсных моментов. Механизмы, создающие в каких-либо устройствах одновременно импульсный крутящий момент и продольный ударный импульс, подвергаются интенсивному износу в зоне контакта из-за наличия значительных сдвиговых напряжений.

### 3 РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

#### 3.1 Проведение имитационного моделирования

Анализируя работу ударного механизма, было выявлено, что самым нагруженным элементом, подвергающимся постоянным знакопеременным нагрузкам является упругий элемент, в качестве которого выступает рукав высокого давления. Однако исследования по его долговечности были проведены в работах [24, 30]. Следующим элементом является цилиндрическая пружина сжатия, которая участвует в создании колебаний давления для формирования силовых импульсов. Сила, действующая на активную массу, отклоняет ее, тем самым вызывая упругую деформацию пружины. Таким образом, проанализировав ранее проведенные исследования по испытанию ударного механизма, не было выявлено результатов исследования показывающих долговечность данной детали. В связи с этим была построена 3D модель ударного механизма в программе SolidWorks и проведено имитационное моделирование долговечности пружины при воздействии на нее импульсов давления.

Имитационное моделирование проводилось в программной среде Solid Works в расширении Simulation. Для начала необходимо рассчитать предельную нагрузку, которая может воздействовать на активную массу, по формуле 3.1 проведем расчеты:

$$F = P \cdot S = 117750 \text{ Н} \quad (3.1)$$

где  $P$  – давление в системе;

$S$  – площадь активной массы.

Давление необходимое для формирования необходимого импульсного давления должно составлять от 15 до 20 МПа. Площадь активной массы составляет  $0,00785 \text{ м}^2$ . Так как работа ведется в масляной среде, коэффициент

трения крайне мал, в связи с этим не будем принимать его в расчет. Таким образом, составим решающую программу и проведем нагружение пружины.

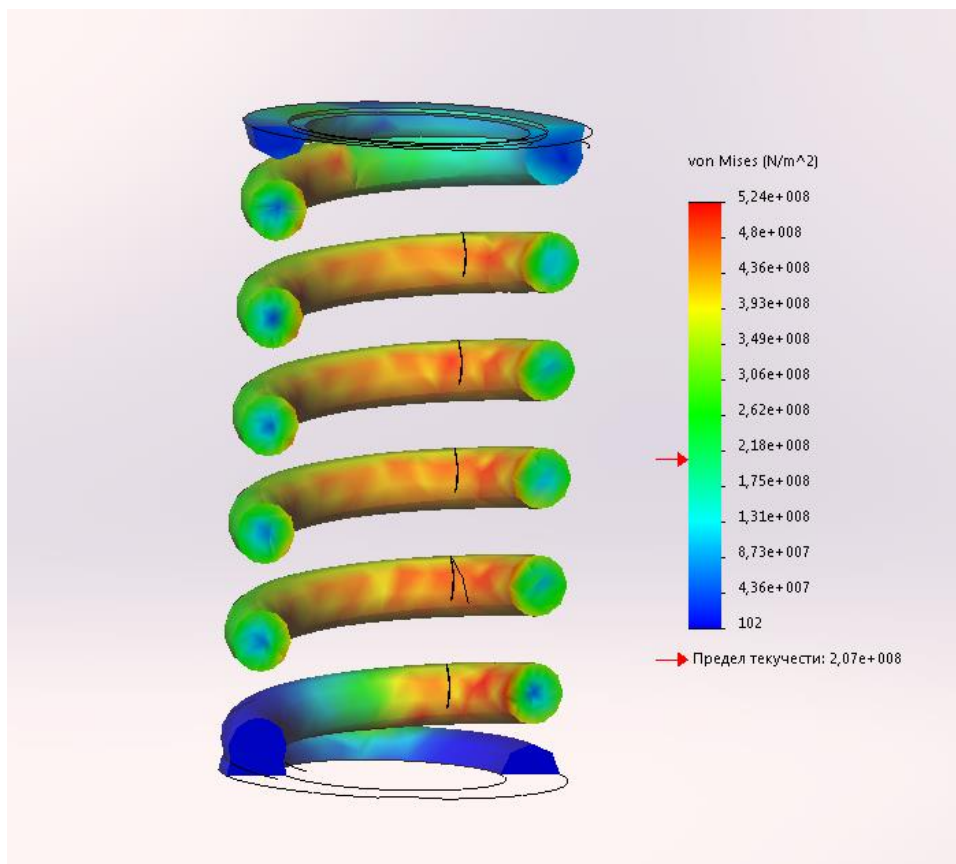


Рисунок 3.1 Диаграмма напряжения пружины

Анализируя полученные результаты можно увидеть, что пружина имеет достаточный запас прочности. Следующим шагом для проведения исследований является проверка на усталостное разрушение. Выберем знакопеременную нагрузку, так как и проведем серию исследований с равным шагом нагружения. Полученные результаты приведены на рисунке 3.2



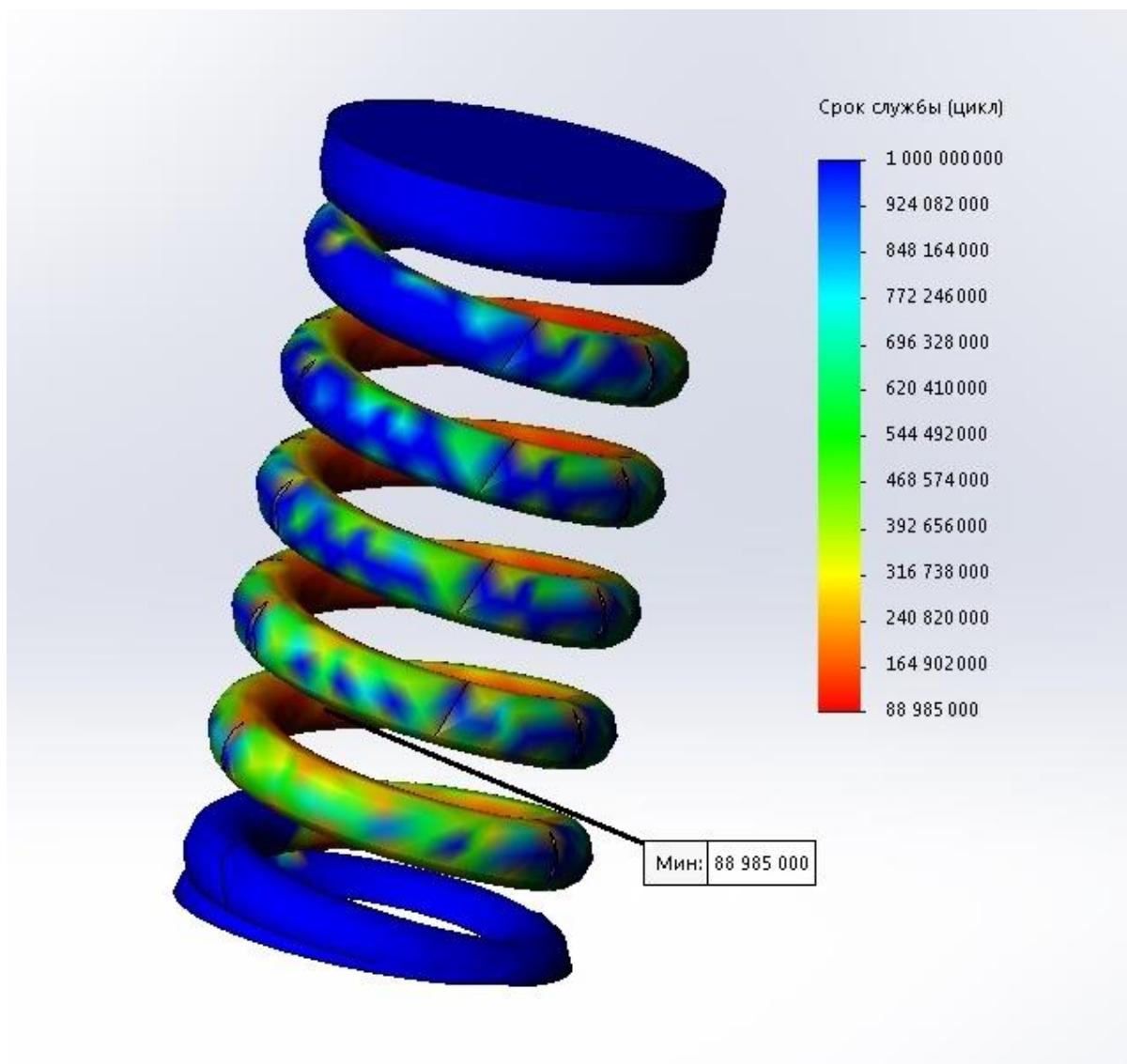


Рисунок 3.2 Срок службы пружины при расчетной нагрузке

Таким образом, полученные результаты занесем в таблицу результатов, после чего составим графическую зависимость для наглядного отображения результатов.

Таблица 3.1 Результаты исследования

Нагрузка, Н	% от нагрузки	Срок службы, циклов
47100	40	342400000
71450	60	230545000
94 200	80	115372000

117 750	100	81337000
141300	120	65651000
164050	140	54535000
187200	160	50532000
210350	180	452000000
235500	200	38523000

По полученным в результате исследования данным, построим графическую зависимость, которая изображена на рисунке 3.3.

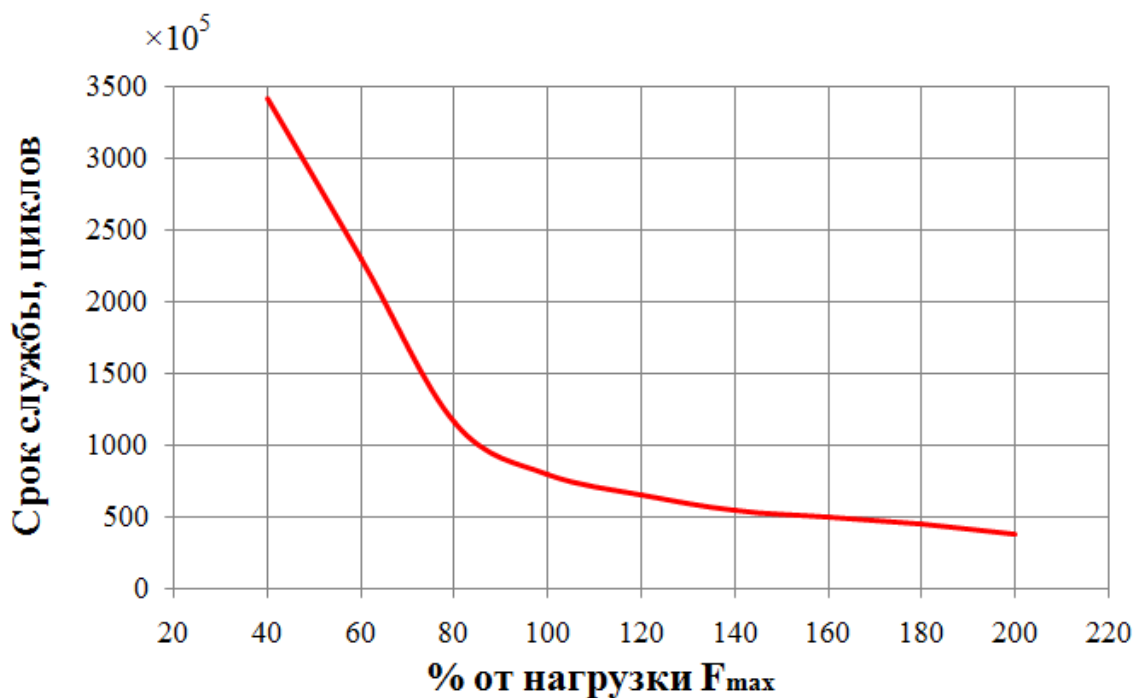


Рисунок 3.3 График срока службы пружины в циклах

Анализируя полученную зависимость, можно сказать, полученное значение в  $8 \cdot 10^7$  циклов является достаточно хорошим результатом, это говорит о правильном выборе параметров механизма. Но зачастую в работе механизма наблюдается значительные нагрузки, которые могут возникнуть из-за пульсации давления, заметно уменьшают срок службы важного узла ударного механизма. Но в свою очередь даже небольшое уменьшение

рабочего давления, но достаточного для разрушения горных пород, заметно увеличивает срок службы пружины. К преимуществам также можно отнести возможность механизма осуществлять авторегулирование амплитуды формируемых импульсов.

### **3.2 Построение математической модели**

Разделим механизм, приведенный на рисунке 2.4, на основные узлы и подробнее рассмотрим влияние каждого узла на механизм отдельно. Ударный механизм для установки горизонтально направленного бурения можно условно разделить на 4 узла [11]:

- a. Плунжерный насос;
- b. Упругий элемент, выступает рукав высокого давления;
- c. Гидроцилиндр;
- d. Колебательный контур с инерционной массой.

Далее для построения математической модели необходимо рассчитать параметры, оказывающие значительное влияние на работу механизма в целом. Также хотелось бы отметить еще одно преимущество данного устройства, она заключается в использовании стандартных узлов и материалов, соответственно значительно снижает его конечную стоимость. Конечно, некоторую механическую обработку деталей необходимо провести, но это значительно снижает временные и экономические затраты.

#### *3.2.1 Выбор и обоснование параметров насоса*

Начальным и самым важным элементом ударного механизма является плунжерный насос, так как именно он повышает в давление системе за счет сжатия рабочей жидкости. Так как для эффективной работы механизма требуется значительное давление и высокая герметичность. Таким требованиям соответствуют плунжерные насосы, они способны создавать

давление в системе от 10 до 100 МПа, при этом практически предотвращаются утечки рабочей жидкости из-за маленького диаметрального зазора в плунжерной паре, составляет от 3 до 10 мкм. Данный вид насоса подходит для применения в системе ударного механизма в качестве пульсатора [34]. Основными параметрами, при выборе насоса для ударного механизма на которые стоит обратить внимание является диаметр плунжера, ход плунжера и рабочий объем камеры. Данные по длине хода плунжера приняты из работы.

Технические характеристики насосов с подходящими параметрами приведены в таблице. Для расчета математической модели примем граничные условия диаметра плунжера от 25 до 45 мм с ходом равным от 20 до 70 мм.

Таблица 3.2 Основные характеристики насоса

Марка насоса	P52/54-270	ТП40-МЗ
Страна производитель	Speck, Германия	УКЕМ, Россия
Рабочая жидкость	Масло, эмульсии	Масло, эмульсии
Мощность, кВт	28	75
Рабочее давление, МПа	27	27
Подача, л/мин	53,6	150
Диаметр плунжера, мм	28	40
Ход плунжера, мм	50	100
Габаритные размеры (Д*Ш*В), мм	501×385×208	650×392×400
Масса, кг	95	200

### 3.2.2 Выбор рукава РВД

При выборе нелинейного упругого элемента стоит ориентироваться на строение и назначение. Определенный вид рукавов способен выдерживать давление до 70 МПа. Для проведения математического моделирования необходимо выбрать длину рукава, его диаметр, выбрать нужно по построенной упругой характеристике в работе [27], график приведен на рисунке 3.4.

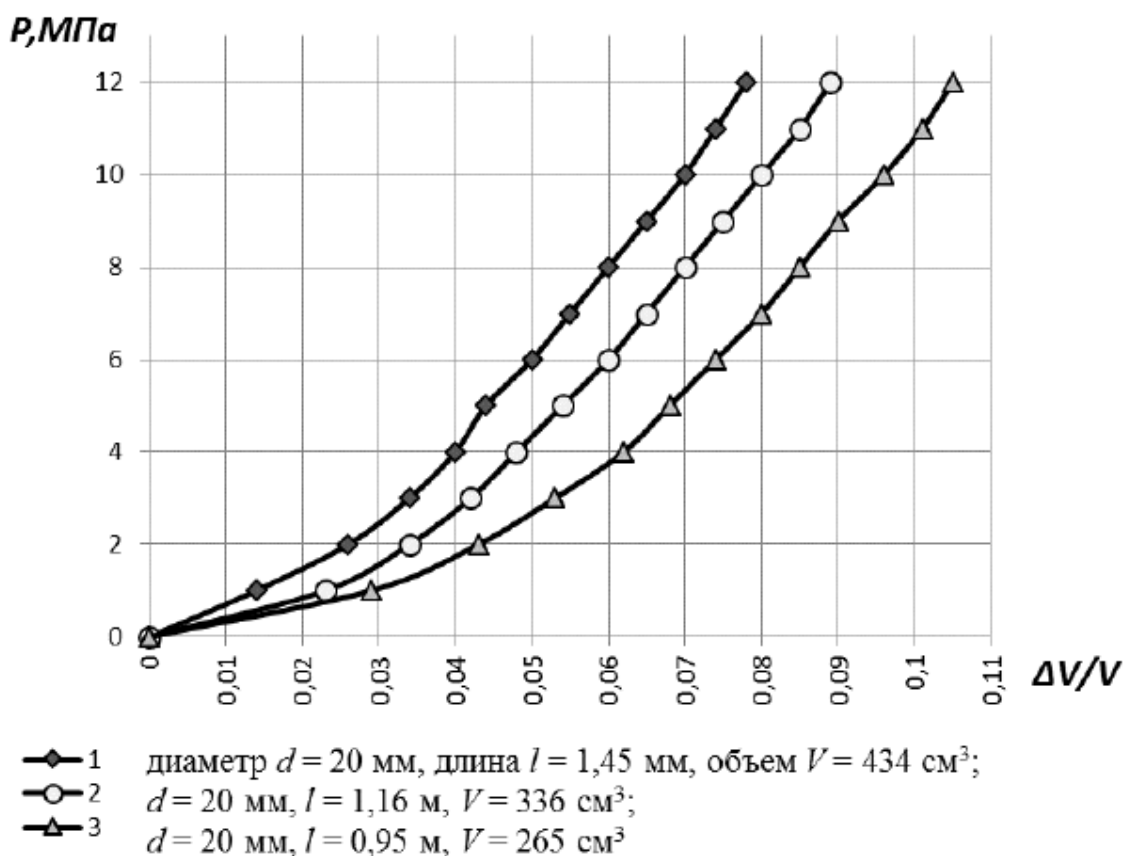


Рисунок 3.4 График зависимости объемного расширения РВД от давления

По результатам эксперимента, представленного в работе [27], длина рукава РВД составляет 0,95 м, диаметр 20 мм, соответственно объем составляет 265 см<sup>3</sup>, эти данные потребуются для расчета коэффициента упругости рукава. Расчет будем производить по формуле:

$$C_{\text{РВД}} = \frac{V_p}{\varepsilon_p} = \frac{265}{0,105} = 2523,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па/м}^3 \quad (3.2)$$

где  $V_p$  – объем рукава;

$\varepsilon_p$  – модуль упругости приведенный.

### 3.2.3 Выбор пружины сжатия

Для работы ударного механизма, а точнее формирования силовых импульсов для последующей передачи к породоразрушающему инструменту, необходим колебательный контур состоящий из инерционной массы и пружины сжатия. При импульсном поступлении давления масса отклоняется, тем самым сжимая пружину, после чего пружина возвращается в исходное положение. Для обеспечения эффективной работы необходимо применять пружину достаточной жесткости, для этого рассчитаем требуемую жесткость пружины по формуле 3.3:

$$k = \frac{\sigma \cdot d_{\text{п}}^4}{8 \cdot d_{\text{н}}^3 \cdot n} = 46536 \text{ Н/м} \quad (3.3)$$

где  $\sigma$  – модуль сдвига;

$d_{\text{п}}$  – диаметр проволоки;

$d_{\text{н}}$  – диаметр пружины;

$n$  – число витков.

Полученное расчетное значение жесткости будет применено при математическом моделировании. Также в процессе моделирования будет применяться пружины большей и меньшей жесткости для оценки влияния параметра на общую работу системы.

### 3.2.4 Выбор активной массы

В исследуемом ударном механизме, предназначенном для разрушения крепких горных пород, в совокупности с пружиной используется активная масса, предназначенная для формирования импульсов давления. Данный параметр имеет большой диапазон регулирования, от 20 до 200 кг [5]. В связи с этим будет использован большой диапазон массы, так как данный параметр оказывает значительное влияние на работу всего механизма.

При пульсации давления происходят возвратно-поступательные движение массы относительно стенок гидроцилиндра, тем самым возникает коэффициент трения. При составлении математической модели данный параметр необходимо указать. Для расчетов сил трения в гидравлических устройствах, принимают значение от 0,05 до 0,2, это *коэффициент трения* для резиновых уплотнительных колец [10].

Еще одним фактором, влияющим на работоспособность всего механизма, является *сила предварительного поджатия* пружины. Величина нагрузки данного параметра лежит в диапазоне от 300 до 4000 Н.

### **3.3 Создание расчетной модели ударного механизма**

Согласно структурной схеме ударного механизма для установки ГНБ, приведенной на рисунке 3.5, составим принципиальную схему для проведения математического моделирования[19, 22].

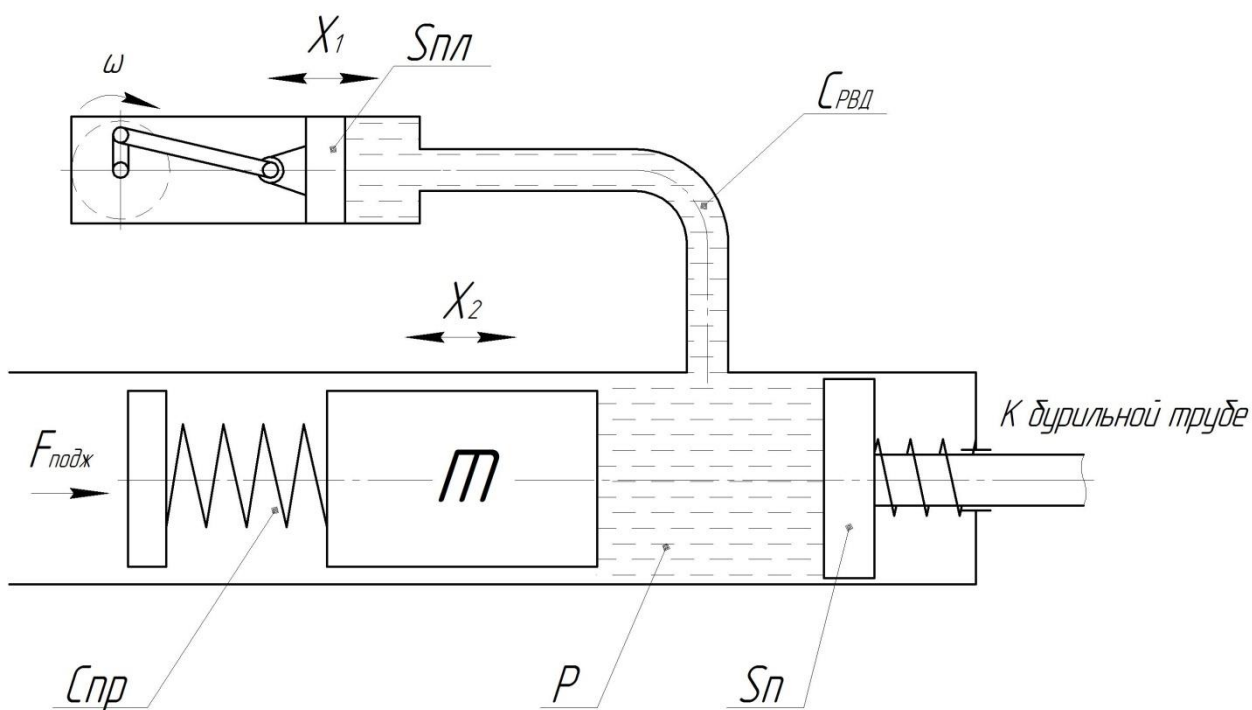


Рисунок 3.5 Принципиальная схема работы механизма

Обозначим коэффициенты, принятые для решения математической модели:

где  $\omega$  – угловая скорость;

$X_1, X_2$  – перемещение;

$S_{пл}$  – площадь плунжера;

$C_{РВД}$  – упругость рукава РВД;

$F_{подж}$  – сила поджатия;

$P$  – давление в системе;

$C_{пр}$  – жесткость пружины;

$F_{тр}$  – сила трения о стенки;

$F_m$  – сила инерции;

$F_c$  – сила упругости пружины;

$F_{вяз. жид.}$  – вязкое сопротивление жидкости;

$e$  – эксцентриситет;

$\varphi$  – угол поворота;

$M$  – крутящий момент.



На рисунке 3.6 приведена расчетная схема ударного механизма, на основании которой будет проводиться математическое моделирование работы ударного механизма для горизонтально направленного бурения.

Подробнее рассмотрим действия сил, перед нагружением масса  $m$  поджата, через пружину сжатия, силой предварительного поджатия  $F_{\text{подж}}$ , после чего в систему поступают импульсы давления  $P$ , воздействуя на инерционную массу  $m$  совершается вынужденное поступательное движение  $X_2$ , тем самым на массу  $m$  действует сила трения о стенки корпуса гидроцилиндра и сопротивлением вязкости жидкости.

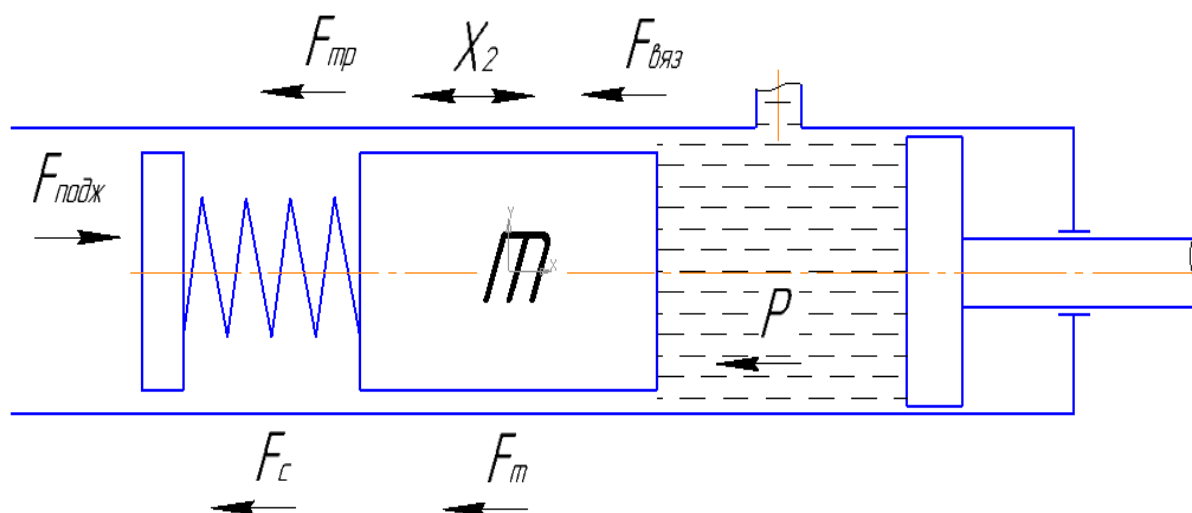


Рисунок 3.6 Расчетная схема ударного механизма

Следующей расчетной частью математической модели является гидропульсатор или плунжерный насос, при вращении привода возникает крутящий момент  $M$ , который поворачивает шатун на угол  $\varphi$  по траектории описывающей окружность. Шатун равноудален от центра на расстояние  $e$ , далее это расстояние будет принято за эксцентриситет. Тем самым происходит перемещение  $X_1$  плунжера равное величине хода плунжера, так как плунжерная пара является прецизионной, условно не будем учитывать наличие трения в данном механизме, так как оно пренебрежимо мало. При

возвратно-поступательном движении плунжера жидкость поступает в рукав РВД, тем самым деформируя его, что приводит к увеличению рабочего объема. Сила  $F_p$  препятствующая деформации рукава действует на плунжер насоса, создавая препятствующую нагрузку.

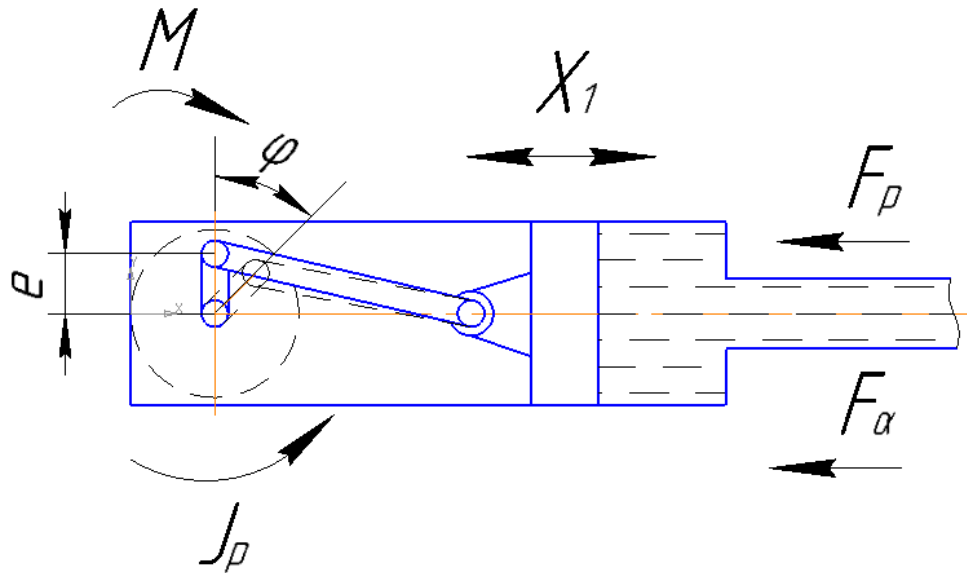


Рисунок 3.7 Расчетная схема гидропульсатора

Из составленных расчетных схем составим уравнения для построения и исследования математической модели ударного механизма. Первым шагом определим нагрузки действующие в начальный момент [20]. Первой нагрузкой является сила поджатия:

$$F_{\text{подж}} = \text{const} \quad (3.4)$$

Сила равна постоянному значению. Величина данного параметра будет определена в ходе проведения исследования.

Для движения плунжера необходим крутящий момент  $M$ , за счет которого будет преобразовано вращательное движение маховика в поступательное движение плунжера. Для отслеживания положения плунжера

будем использовать угол поворота шатуна  $\varphi$ , таким образом, получим уравнение:

$$J_p \varepsilon = M - F_\alpha - F_p \cdot \sin \varphi \cdot e \quad (3.5)$$

Разложим действующие силы на составляющие:

$$(m \cdot e^2) \varepsilon = M - \alpha \cdot \omega - P \cdot S_{\text{пл}} \cdot \sin \varphi \cdot e \quad (3.6)$$

Выразим угол поворота момента инерции для проведения интегрирования:

$$\varepsilon = \frac{M - \alpha \cdot \omega - P \cdot S_{\text{пл}} \cdot \sin \varphi \cdot e}{m \cdot e^2} \quad (3.7)$$

Следующим шагом определим:

$$F_{\text{подж}} = F_{\text{вяз}} + F_{\text{тр}} + F_c + F_p + P + F_m \quad (3.8)$$

Разложим на составляющие параметры каждой силы:

$$F_{\text{подж}} = \alpha \cdot \vartheta + F_{\text{тр}} + C \cdot x_2 + p \cdot S + m \cdot a \quad (3.9)$$

Выразим ускорение активной массы  $m$ , для интегрирования:

$$a = \frac{F_{\text{подж}} - \alpha \cdot \vartheta - F_{\text{тр}} - C \cdot x_2 - p \cdot S}{m} \quad (3.10)$$

Рассчитаем собственную частоту системы, на основании экспериментальных данных проведенных в работе [27]. Расчет будем производить по формуле 3.11:

$$\omega = \sqrt{\frac{C}{m}} = 24 \text{ Гц} \quad (3.11)$$

где  $C$  – жесткость пружины;

$m$  – активная масса.

### 3.4 Результаты математического моделирования

На рисунках 3.8 – 3.10 приведены графики, полученные в результате математического моделирования ударного механизма в программной среде Matlab.

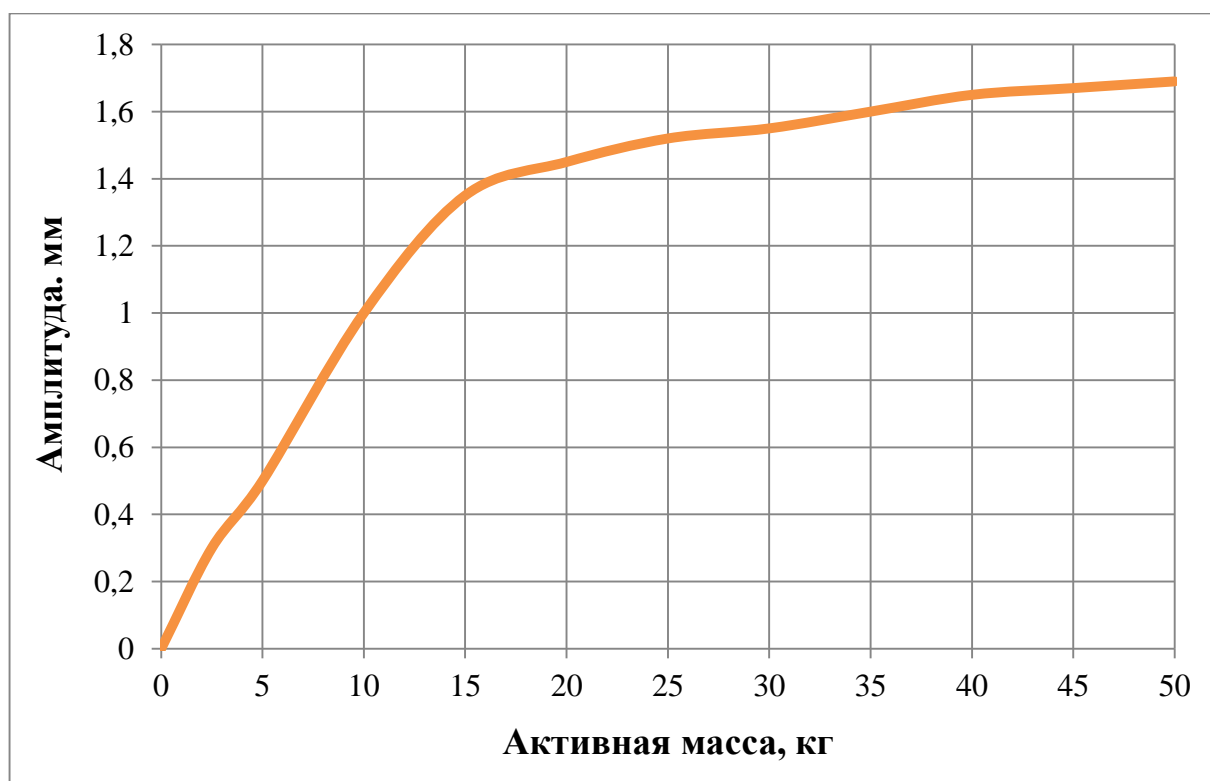


Рисунок 3.8 График зависимости величины амплитуды импульса от массы

На рисунке 3.8 приведен график зависимости влияния величины активной массы на величину амплитуды силового импульса, формируемого ударным механизмом, для последующей передачи по бурильной колонне к породоразрушающему инструменту. Таким образом, можно сказать, что

график имеет нелинейную зависимость, значительные изменения в величине амплитуды происходят в диапазоне от 7 до 20 кг, с увеличением, так как последующее увеличение, активной массы свыше 25 кг, наблюдается незначительное влияние на величину амплитуды. Данным параметром можно регулировать режим работы механизма, тем самым смещая его работу в резонансную область, где наблюдается наибольшая эффективность работы ударного механизма.

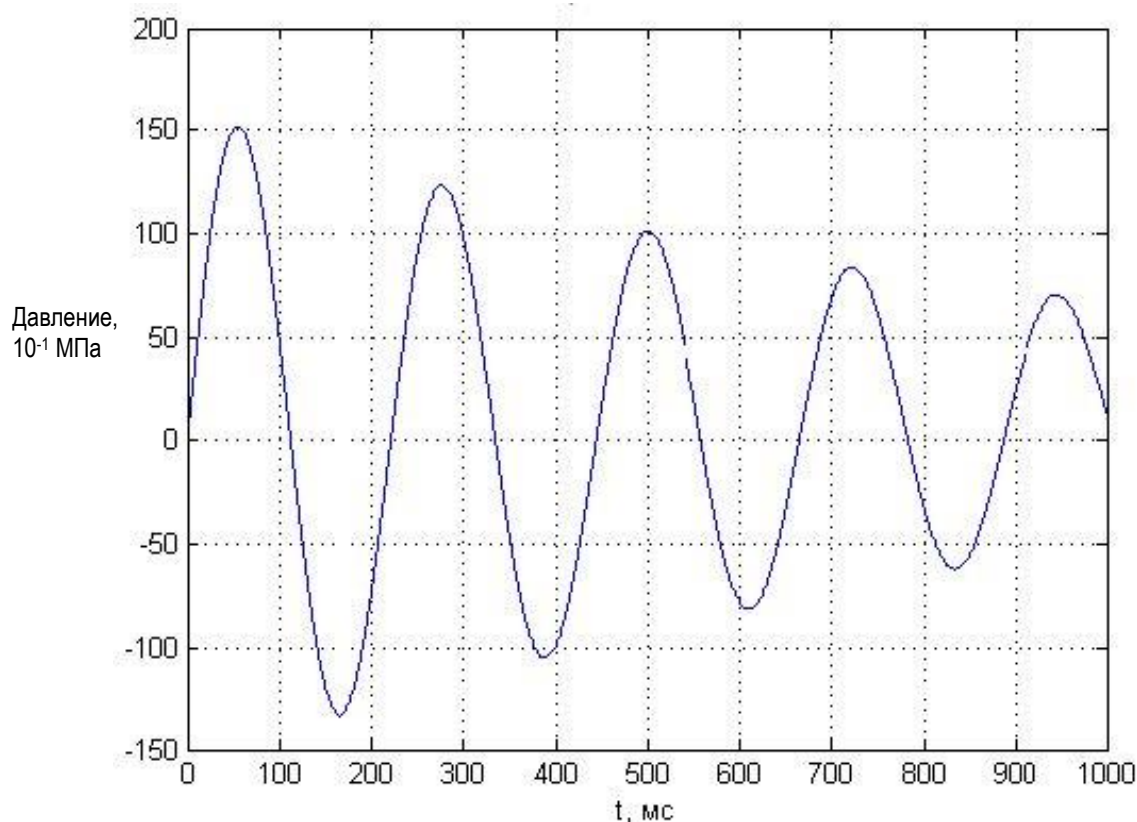


Рисунок 3.9 Формирование импульса

На рисунке 3.9 представлен временной график формирования импульса, с коэффициентом жесткости пружины равным 38253 Н/м. Анализируя полученный временной сигнал формирования импульса можно сказать, что основная часть импульса, передний фронт формируется спустя 0,2 с, после чего наблюдается снижение эффективности формируемых импульсов.

Далее чтобы определить влияние жесткости пружины на амплитуду формируемого импульса

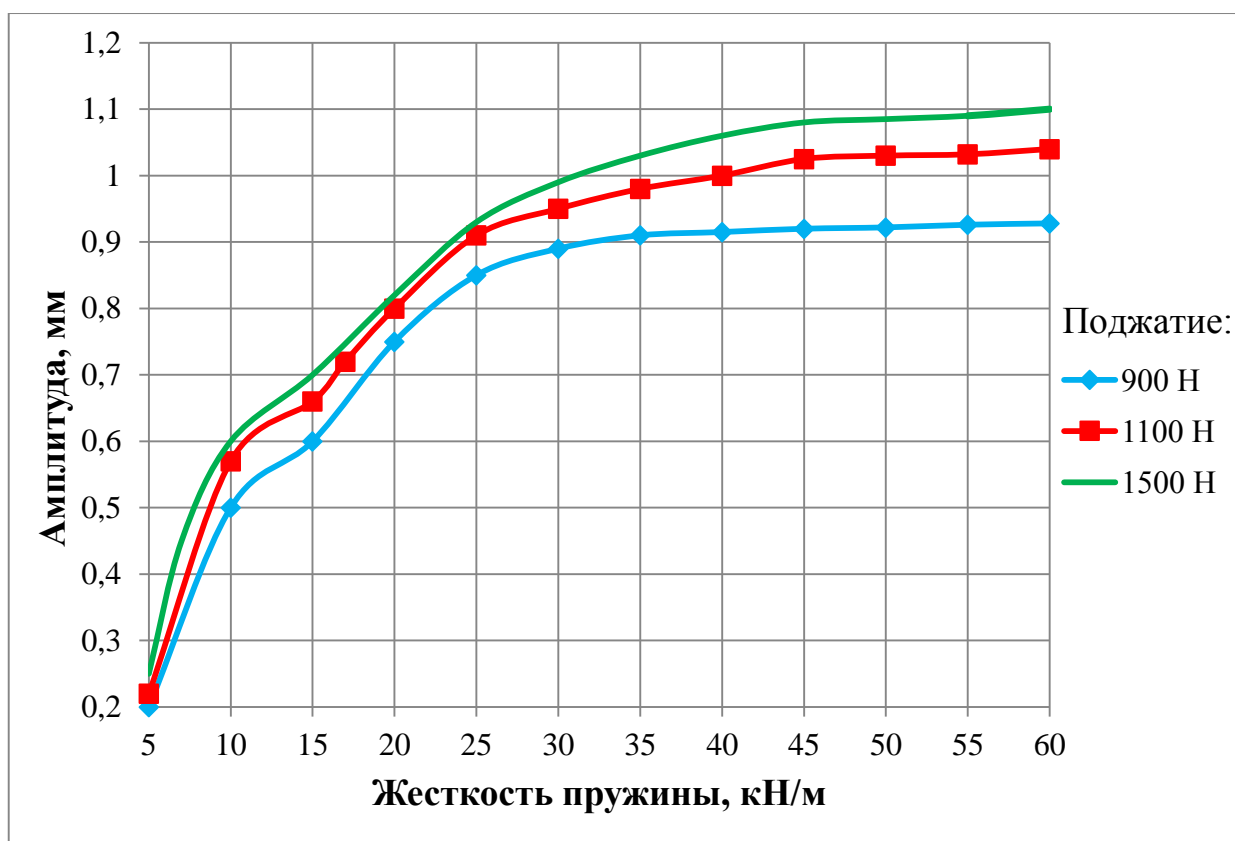


Рисунок 3.10 Влияние жесткости пружины и величины поджатия на амплитуду импульса

График, приведенный на рисунке 3.10 отображает зависимость амплитуды формируемого импульса от жесткости пружины сжатия и величину предварительного поджатия. Так по полученным данным можно сделать вывод, что при величине предварительного поджатия равном 1100 Н и жесткости пружины 50 кН/м величина амплитуды максимальна, вследствие чего данные параметры являются приоритетными.

По результатам проведенного математического моделирования ударного механизма, применяемого в качестве источника силовых импульсов при разрушении породы методом горизонтально направленного бурения, можно сделать вывод, что основными параметрами, оказывающими существенное влияние на работу механизма, являются активная масса, жесткость пружины и предварительное поджатие пружины. Изменение данных параметров позволяет добиться желаемого результата в формировании силовых импульсов.

**4.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании**

В современных экономических условиях ещё более актуальными стали вопросы, связанные с сокращением затрат на строительство скважин. Целью данной работы является совершенствование техники горизонтально направленного бурения, при помощи гидроимпульсного механизма, предназначенного для строительства трубопроводов в условиях городской среды.

Традиционные методы замены и ремонта коммуникаций главным образом основываются на строительстве траншей. Эти традиционные методы часто оказываются дорогостоящими и трудозатратными, особенно в условиях современной перегруженной городской инфраструктуры. Высокая стоимость строительства траншей часто обусловлена необходимостью восстановления дорог, тротуаров, проездов и благоустройства территории. Одним из альтернативных методов строительства, и, возможно, самой быстрорастущей технологией в бестраншейной промышленности, является горизонтально направленное бурение.

Что касается актуальности работы, то хотелось бы отметить, что нарушение грунта при горизонтально направленном бурении минимальны. В связи с этим в густонаселенных городских районах ГНБ все чаще рассматривается как предпочтительная технология.

В качестве проблемы можно обозначить наличие твердых пород при бурении скважин, данный фактор оказывает отрицательное влияние на производительность буровой установки и ставит под вопрос возможность прокладки трубопровода в заданной точке. В связи с этим был проведен ряд исследований направленных на разработку ударного механизма позволяющего повысить эффективность бурения в твердых породах.

Эксплуатационные затраты на проведение строительства трубопровода в условиях городской среды состоят из следующих элементов [44]:

- затраты на материалы;
- амортизационные отчисления;
- затраты на оплату труда;
- отчисления во внешние фонды;
- прочие затраты.

## **4.2 Графическая часть**

### **4.2.1 Формирование организационной структуры управления инженерным проектом**

Формирование структурной схемы имеет принципиальное значение, поскольку при нем определяются главные характеристики организации, а также направления, по которым должно быть осуществлено более детальное проектирование, как организационной структуры, так и других важнейших аспектов системы (внутриорганизационного экономического механизма, способов переработки информации, кадрового обеспечения).

Самым распространённым видом структуры иерархического типа является линейно-функциональная (рисунок 4.1). В основу её построения положены: линейная вертикаль управления и специализация управленческого труда по функциональным подсистемам организации (маркетинг, производство, исследования и разработки, финансы, персонал и др.) [46].



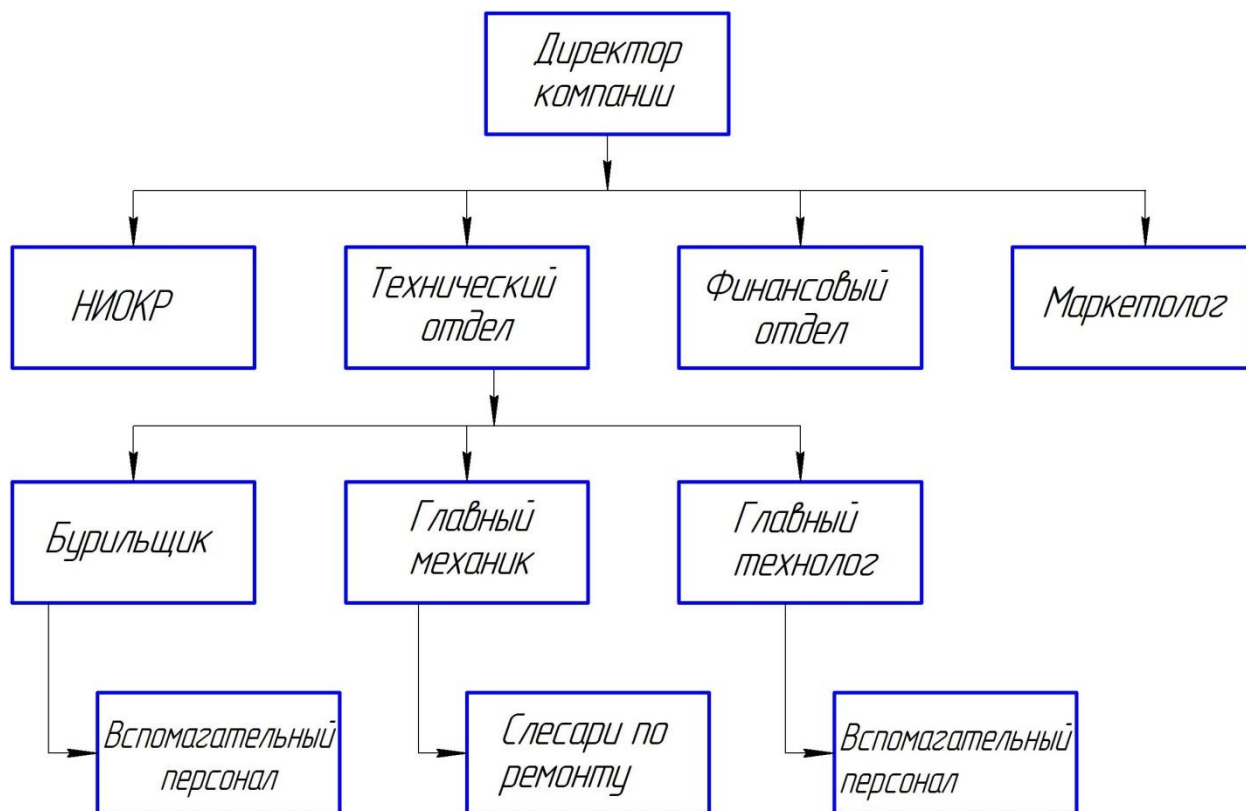


Рисунок 4.1 – Линейно-функциональная структура управления

#### 4.2.2 Линейный календарный график проведения работ

Расчет длительности строительства трубопровода методом ГНБ в условиях городской среды. Стоит отметить, что в условиях городской инфраструктуры применяются установки ГНБ класса мини, то есть максимальная протяженность скважины не превышает 300 метров, примем среднюю протяженность скважины равную 200 м [25].

Срок строительства подводного перехода методом ГНБ

$$T = t_{\text{б}} + t_{\text{рас}} + t_{\text{к}} + t_{\text{п. тр.}} \quad (4.1)$$

где  $t_{\text{б}}$  – время бурения, час;

$t_{\text{рас}}$  – время расширения скважины, час;

$t_{\text{к}}$  – время калибровки скважины, час;

$t_{\text{п.тр.}}$  – время протягивания трубопровода.

Время бурения определяется по формуле 4.2 [5]:

$$t_6 = \frac{L}{V_6 \cdot 8} \quad (4.2)$$

где  $L$  – длина скважины, м;

$V_6$  – коммерческая скорость бурения,  $V_6 = 6$  м/ч.

По формуле 4.2 рассчитаем время бурения скважины:

$$t_6 = \frac{200}{6 \cdot 8} = 4,2 \approx 5 \text{ дней}$$

Длительность расширения скважины:

$$t_{\text{рас}} = \frac{L \cdot n}{V_{\text{рас}} \cdot 8}, \quad (4.3)$$

где  $n$  – количество этапов расширения;

$V_{\text{рас}}$  – средняя скорость расширения скважины,  $V_{\text{рас}} = 15$  м/час.

По формуле 4.3 рассчитаем длительность расширения скважины:

$$t_{\text{рас}} = \frac{200 \cdot 4}{15 \cdot 8} = 6,6 \approx 7 \text{ дней}$$

Время калибровки скважины:

$$t_k = \frac{L}{V_k \cdot 8}, \quad (4.4)$$

где  $V_k$  – коммерческая скорость калибровки скважины,

$V_{\text{рас}} = 20$  м/час.

По формуле 4.4 рассчитаем длительность калибровки скважины:

$$t_k = \frac{200}{25 \cdot 8} = 1,25 \approx 2 \text{ дня}$$

Время протягивания трубопровода:

$$t_{\text{п.тр.}} = \frac{L}{V_{\text{п.тр.}} \cdot 8}, \quad (4.5)$$

где  $V_{\text{п.тр.}}$  – скорость протягивания трубопровода,  $V_{\text{п.тр.}} = 15$  м/час.

По формуле 4.5 рассчитаем количество времени необходимое для протягивания трубопровода [47]:

$$t_{\text{п.тр.}} = \frac{200}{15 \cdot 8} = 1,66 \approx 2 \text{ дня}$$

Тогда, согласно формуле (4.1), срок строительства трубопровода методом ГНБ в условиях городской инфраструктуры составит:

$$T = 5 + 7 + 2 + 2 = 16 \text{ дней}$$

Также помимо самого процесса сооружения скважины производятся подготовительные работы; работы по подготовке трубопровода; завершающие работы.

В состав подготовительных работ входит: установка ограждений, подготовка площадки для бурения, монтаж установки, размещение роликовых опор для протаскивания трубопровода, подготовка резервуара для временного хранения использованного бентонитового раствора, отладка систем подачи и приготовления бентонитового раствора. Для ГНБ продолжительность подготовительных работ составляет, около 2 дней [46].

Работы по подготовке трубопровода включают: предварительный подогрев стыков, сварку трубопровода, проверку качества сварных соединений, изоляцию стыков, очистку трубопровода, испытания на прочность и герметичность. Продолжительность выполнения операций представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Нормы времени выполнения технологических операций

<b>Наименование операций</b>	<b>Продолжительность работ, суток</b>
Сварка трубопровода	5
Проверка качества сварных стыков	3
Очистка трубопровода	1
Испытания на прочность и герметичность	1

Таким образом, согласно нормам по трудозатратам продолжительность работ для выполнения технологических операций составит 10 дней.

Завершающие работы включают: демонтаж ограждений, демонтаж установки и анкерных устройств, откачку и утилизацию отработанного буровой смеси из скважины и промывочной ямы, демонтаж и складирование штанг и бурового инструмента, рекультивацию земель. Для ГНБ продолжительность завершающих работ составляет, примерно, 7 дней [46]. Для удобства отображения времени необходимого для строительства трубопровода методом ГНБ построим график производства работ, представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Линейный календарный график производства работ

Наименование работ	Время, дней	Числа																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Подготовительные работы	2	■	■																											
Пилотное бурение скважины	5			■	■	■	■	■																						
Расширение скважины	7								■	■	■	■	■	■	■															
Калибровка скважины	2															■	■													
Протягивание трубопровода	2																	■	■											
Завершающие работы	2																										■	■		
Работы по сварке трубопровода, контролю качества	8																■	■	■	■	■	■	■							
Испытания на прочность и герметичность	2																							■	■					

### 4.3 Сметная стоимость выполнения работ

#### 4.3.1 Расчёт стоимости проведения строительства трубопровода в условиях городской среды методом горизонтально направленного бурения

Для проведения строительства подводного перехода необходимо следующее оборудование и материалы:

- Трубоукладчик «KOMATSU D155»;
- Бульдозер«Т-170»;
- Буровая установка ГНБ Vermmer D24×40 S3;
- Расширители – 2шт.;
- Трубы с заводской изоляцией 400 мм – 22шт.;
- Трубы с заводской изоляцией 250 мм – 22шт.;
- Бентонитовый раствор
- Масло моторное;
- Дизельное топливо;
- БензинАИ-92.

Весь процесс работ по строительству подводного перехода представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3Оборудование и процесс строительства подводного перехода методом ГНБ

Номер п/п	Используемое оборудование	Краткое описание работ
1	Бульдозер «Т-170»	Подготовка площадки для установки ГНБ и размещения вспомогательного оборудования
2	Буровая установка ГНБ Vermmer D24×40 S3;	Монтаж буровых установок в точке бурения
3	Буровая установка ГНБ Vermmer D24×40 S3;	Бурение пилотной скважины

4	Трубоукладчик «KOMATSU D155»	Сварка плети трубопровода и подготовка к протаскиванию в скважину
5	Буровая установка ГНБ Vermeer D24×40 S3; Расширители.	Расширение пилотной скважины
6	Трубоукладчик «KOMATSU D155»	Протаскивание трубопровода
7	Буровая установка ГНБ Vermeer D24×40 S3; Бульдозер «Т-170»	Демонтаж оборудования, обустройство участка на котором проводились работы

Согласно расчетам, приведенным в линейном графике работ, длительность строительства трубопровода по методу ГНБ составляет 26 дней [48].

#### **4.3.2 Расчет стоимости материалов для строительства трубопровода методом ГНБ**

К материальным расходам относятся затраты на приобретение [50]:

а) сырья, основных и вспомогательных материалов, используемых в производственном процессе;

б) запасных частей, комплектующих изделий, тары и др.;

в) топлива, воды и энергии всех видов, используемых на производственные нужды и отопление;

г) работ и услуг производственного характера, выполняемых сторонними организациями или индивидуальными предпринимателями, а также собственными структурными подразделениями предприятия (организации) (транспортные услуги, контроль за соблюдением технологического процесса, техобслуживание основных фондов, средств связи, компьютерной техники и др.);

д) на содержание и эксплуатацию природоохранных сооружений.

Расчет производится для участка длиной 200 метров. Длина одной

секции трубы диаметром 400мм и 250 мм – 9 метров, следовательно на 200 метра необходимо по 22 секции. Стоимость одной секции диаметром 400 мм составляет 42000 рублей, а диаметром 250мм составляет 21000 рублей.

Расчет стоимости необходимых материалов производится по формуле:

$$S_{\text{мат}} = N_{\text{мат}} \cdot C_{\text{ед}} \quad (4.6)$$

где  $S_{\text{мат}}$  – стоимость материала (руб.);

$N_{\text{мат}}$  – норма расхода материала (нат.ед);

$C_{\text{ед}}$  – цена за единицу материала (руб/нат.ед).

Материалы для строительных работ закупаются по рыночной цене, без каких либо скидок. Расчет стоимости материалов на проведение монтажа теплоизоляционных труб для трубопровода можно свести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 Расчет стоимости материалов на проведение работ

<i>Наименование материала</i>	<i>Норма расхода материала, нат.ед.</i>	<i>Цена за единицу руб/нат.ед.</i>	<i>Стоимость материалов,руб.</i>
Труба $D_n = 400\text{мм}$	22	42000	924 000
Труба $D_n = 250\text{мм}$	22	21000	462 000
Бентонитовый раствор, кг	650	262	170 300
Масло моторное, л	308	48,50	14 938
Дизельное топливо, л	5500	35	192 500
Бензин АИ-92, л	1000	38	38 000
<b>ИТОГО:</b>			<b>1 801 738</b>

#### 4.3.3 Расчет заработной платы при строительстве трубопровода методом ГНБ

К расходам на оплату труда относятся [45]:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции



(работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;

- премии за производственные результаты, надбавки к тарифным ставкам и окладам за профессиональное мастерство и др.;

- начисления стимулирующего или компенсирующего характера – надбавки за работу в ночное время, в многосменном режиме, совмещение профессий, работу в выходные и праздничные дни и др;

- надбавки по районным коэффициентам;

- суммы платежей (взносов) работодателей по договорам обязательного и добровольного страхования.

Расчет заработной платы можно свести в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 Расчет заработной платы сотрудников за выполненную работу по методу ГНБ

№ п/п	Должность	Численность	Продолжительность работ, дн.	Средне дневная ставка,руб./день	Коэффициент	Заработная плата за весь период работы, руб.
1	Начальник	1	20	3300	1,3	85 800
2	Мастер	1	26	2600	1,3	87 880
3	Технолог	1	26	2800	1,3	94 640
4	Машинист трубоукладчик	1	5	2200	1,3	14 300
5	Машинист буровой установки	1	26	2500	1,3	84 500
6	Электрогазосварщик	2	26	1900	1,3	128 440
7	Машинист экскаваторщик	1	10	2000	1,3	26 000

8	Слесарь	2	26	2000	1,3	135200
9	Дизелист	1	26	1800	1,3	60 840
				<b>Итого</b>		<b>717 600</b>

#### 4.3.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды (страховые отчисления) при строительстве трубопровода методом ГНБ

Согласно ФЗ №63 от 15 апреля 2019 года, статье 427 Налогового кодекса Российской Федерации установлены тарифы страховых взносов для 2019 года [48]. Численные данные приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 Тарифы на социальные отчисления

Фонд	Размер взноса от зарплаты, %
Пенсионный фонд	30
Фонд медицинского страхования	5,1
Фонд социального страхования	2,9
Страхование от несчастных случаев и производственных заболеваний (класс 1)	0,2

Расчет отчислений во внебюджетные фонды можно свести в таблицу

Таблица 4.7 Отчисления во внебюджетные фонды

Наименование выплат	Должность	Сумма, руб.
Отчисления во внебюджетные фонды	Начальник	32 604
	Мастер	33 364
	Технолог	35 963
	Машинист трубоукладчик	5434
	Машинист буровой установки	32 110
	Электрогазосварщик	48 807

	Машинист экскаваторщик	9880
	Слесарь	51 376
	Дизелист	23 119
	<b>Итого:</b>	<b>272 657</b>

#### 4.3.5 Расчет амортизационных отчислений по методу ГНБ

Сумма амортизации (амортизационных отчислений) рассчитывается исходя из начальной стоимости оборудования и срока его эксплуатации согласно паспорту. Амортизация для бурового оборудования рассчитывается по линейному способу [49].

Расчет амортизационных отчислений производится по формуле:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

где K-норма амортизации в процентах к первоначальной стоимости объекта;

n – срок полезного использования объекта (в месяцах).

Полученные результаты расчета амортизационных отчислений занесем в таблицу 4.8.

Таблица 4.8 Расчет амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Гарантий ный срок эксплуата ции (лет)	Количе ство, шт.	Балансовая стоимость, руб.	Норма амортиза ционных отчисле ний	Сумма амортизации (26 дней), руб.
Трубоукладчик «KOMATSU D155»	10	1	4500 000	10%	36 000
Буровая установка ГНБ VermmerD24×40 S3;	10	1	5770 000	10%	46 160

Бульдозер «Т-170»	10	1	3 700 000	10%	29 600
<b>ИТОГО:</b>	<b>3</b>				<b>111 760</b>

#### 4.3.6 Затраты на проведение организационно-технического мероприятия по методу ГНБ

На основании вышеперечисленных расчетов затрат определяется общая сумма затрат на проведение организационно-технического мероприятия по форме таблицы 4.9.

Таблица 4.9 Затраты на проведения организационно-технического мероприятия

Номер	Составзатрат	Суммазатрат, руб.	Примечание
1	Затратыназаработнуюплату	717 600	Таблица 4.5
2	Отчислениявовнебюджетныефонды	272 657	Таблица 4.7
3	Затратынаматериалы	1 801 738	Таблица 4.4
4	Амортизационныеотчисления	111 760	Таблица 4.8
5	<b>Итогоосновныерасходы</b>	<b>2 903 755</b>	
6	Накладныерасходы (10 % отосновных)	290 375	
7	<b>Всегозатратынамероприятие</b>	<b>3 194 130</b>	

#### 4.4 Оценка экономического эффекта

Для оценки экономического эффекта необходимо сравнить время бурения пилотной скважины погружным пневмоударником и гидроимпульсным механизмом.

Для наглядного сравнения стоимости горизонтально направленного

бурения скважины с использованием приведенного выше оборудования можно время необходимое для бурения пилотной скважины. Для погружного пневмоударника длительность бурения пилотной скважины составляет 5 дней, рассчитаем длительность бурения скважины с применением гидроимпульсного механизма по формуле:

$$t_6 = \frac{L}{V_6 \cdot 8} = \frac{200}{10 \cdot 8} = 2,5 \text{ дня}$$

где  $L$  – длина скважины, м;

$V_6$  – коммерческая скорость бурения,  $V_6 = 10$  м/ч.

Получается, что при использовании предлагаемого устройства время бурения сокращается на 2,5 дня, посчитаем достигнутый экономический эффект.

Рассчитаем стоимость одного дня бурения:

$$C_1 = \frac{Z_{\text{общ}}}{n} = \frac{3194130}{26} = 122\,851 \text{ рублей} \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{общ}}$  – общие затраты на проведение мероприятия;

$n$  – длительность строительства, дней.

Таким образом посчитаем общие затраты на мероприятие после применения разрабатываемого устройства:

$$Z_{\text{эф}} = C_1 \cdot n = 122851 \cdot 23.5 = 2\,886\,998 \text{ рублей}$$

Рассчитаем экономический эффект от применения гидроимпульсного механизма при бурении горизонтально направленных скважин:

$$\Xi = \left(1 - \frac{Z_{\text{эф}}}{Z_{\text{общ}}}\right) \cdot 100\% = 9,7\% \quad (4.9)$$

Экономический расчет показал, что применение гидроимпульсного механизма для бурения пилотных скважин при строительстве трубопроводов методом горизонтально направленного бурения позволит снизить затраты на проведение работ по креплению скважин хвостовиком на 10%. Следовательно, применение предлагаемого устройства является экономически эффективным и целесообразным.

### **Заключение**

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был описана структура управления предприятием занимающимся строительством трубопроводов методом ГНБ. Рассчитаны материальные затраты на материалы и оборудование, затраты фонда основной и дополнительной зарплаты, отчисления во внебюджетные фонды, транспортные расходы, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат. Раздел, финансовый менеджмент позволяет определить эффективность разрабатываемого либо исследуемого устройства, что в современном мире играет важную роль. Так как экономически выгодная разработка будет всегда актуальна и воспримется с большим энтузиазмом.

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Социальная ответственность - это ответственность предприятия за воздействие ее решений и деятельности на людей и окружающую среду.

Цель раздела «Социальная ответственность» - характеристика вредных и опасных факторов, воздействующих на работников в процессе бурения горизонтально направленных скважин и прокладке трубопровода. Объемы бурения горизонтально направленных скважин растут с каждым годом, это связано с ускоренным развитием инфраструктуры городов. Замена трубопроводов открытым способом, не всегда возможна и создает ряд трудностей для жителей города. В связи с этим бурение скважин методом горизонтального прокола является технологией будущего, которая впоследствии заменит и полностью вытеснит открытый способ строительства и монтажа трубопроводов.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

При осуществлении трудовой деятельности между работником и работодателем заключается трудовой договор, в котором прописываются обязанности сторон, ответственность, а также права работника. Документом, определяющим трудовые отношения между работником и работодателем, является трудовой кодекс.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации, N 197 -ФЗ каждый работник имеет право на [55]:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

К работе в качестве обслуживающего персонала буровой установки допускаются:

- мужчины не моложе 18 лет;
- прошедшие соответствующую подготовку по специальности либо имеющие удостоверение требуемого разряда;
- прошедшие медицинские осмотры: предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности: 1) 1 раз в 2 года (по факторам: производственный шум, общая вибрации, геологические работы, пониженная температура и физические перегрузки);
- прошедшие инструктажи (вводный, первичный, целевой);
- прошедшие стажировку на рабочем месте (от 2 до 14 смен);
- обслуживающий персонал буровой установки обязаны соблюдать требования безопасности труда для обеспечения защиты от воздействия опасных и вредных производственных факторов, связанных с характером работы: движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования; острые кромки, заусенцы, повышенный уровень шума на рабочем месте; общая вибрация; повышенная физическая нагрузка; недостаточная или повышенная освещенность рабочей зоны; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; сменный режим работы (ночные смены); эмоциональные перегрузки.
- подъем и перемещение тяжестей вручную для мужчин должен осуществляться с соблюдением следующих допустимых нагрузок и правил: 15 кг - постоянно в течение рабочей смены; до 30 кг - подъем и перемещение тяжестей по горизонтальной поверхности. Переносить материалы на носилках по горизонтальному пути допускается только в исключительных случаях и на расстояние не более 50 м.
- обслуживающий персонал буровой установки должен быть обеспечен и использовать бесплатную спецодежду и средства индивидуальной защиты, согласно условиям и характеру работ.

Организация-работодатель выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы только в случаях установленных ТК РФ



ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней, работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя [56].

## 5.2 Анализ выявленных вредных производственных факторов при бурении пилотных скважин методом ГНБ

Опасные и вредные факторы при выполнении работ при бурении горизонтально направленных скважин и строительстве трубопровода представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы по ГОСТ 12.0.003-74		Нормативные документы
	<i>Вредные</i>	<i>Опасные</i>	
1. Монтаж бурового инструмента; 2. Бурение пилотной скважины; 3. Сварка и протягивание трубопровода; 4. Поэтапное расширение пилотной горизонтально направленной скважины; 5. Протаскивание труб в расширенную скважину.	1. Повышенный уровень шума; 2. Повышенный уровень вибрации; 3. Отклонение показателей микроклимата при работе на открытом воздухе; 4. Физические и нервно-физические перегрузки.	1. Движущиеся машины и механизмы; 2. Подвижные части производственного оборудования 3. Электрический ток; 4. Пожаровзрывобезопасность	1. Уровень шума регламентируется ГОСТ 12.1.029-80 и ГОСТ 12.1.003-83; 2. Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96; 3. Виды физических и нервно-физических перегрузок приводятся в ГОСТ 12.0.003-74; 4. Параметры уровней вибрации устанавливаются в ГОСТ 12.1.012-2004; 5. Параметры движущихся машин и механизмов устанавливаются в ГОСТ 12.2.003-74, ГОСТ 12.3.009-76; 6. Параметры электрического тока устанавливаются ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.1.045-84, ГОСТ 12.1.030-81; 7. Требования по пожарной безопасности представлены в ФЗ №123 от 22.07.2008 г.

При осуществлении данных буровых, строительных и монтажных работ на работников, инженерно-технический комплекс и окружающую среду действуют множество вредных и опасных производственных факторов.

Вредный производственный фактор - это фактор трудового процесса или среды, воздействие которого при определенных условиях на работника может вызвать профессиональное заболевание, снижение работоспособности.

### 5.2.1 Повышенный уровень шума

Шум - это беспорядочное сочетание звуков различной частоты. Источником шума при бурении горизонтально направленных скважин и на месте строительства трубопровода являются машины для производства земляных работ: буровая установка, бульдозер, экскаватор, вспомогательное оборудование.

Продолжительное воздействие шума отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии работников и может привести к ухудшению слуха.

Шум приводит к необратимым изменениям в органах слуха человека, увеличивает утомляемость. Предельные допустимые значения шума регламентируются ГОСТ 12.1.003-83 [52]. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Допустимый уровень звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочие места персонала буровой установки	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Уровень шума при работе буровой установки, а также вспомогательного оборудования обычно колеблется в диапазоне 95 до 114 дБ [52]. В связи с этим для борьбы с шумом включают следующие мероприятия:

- использование средств и методов коллективной защиты;

- использование средств индивидуальной защиты (противошумные наушники, шлемы и каски).

### 5.2.2 Отклонения показателей климата на открытом воздухе

Климат - это комплекс физических параметров воздуха, которые влияют на тепловое состояние организма человека. К параметрам климата относятся: температура, влажность, скорость движения воздуха, интенсивность радиационного излучения солнца и величина атмосферного давления. Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [57].

Температура воздуха оказывает значительное влияние на организм человека. Перегрев организма снижает работоспособность, приводит к учащению пульса и дыхания, нарушает водно-солевой баланс, приводит к замедлению мыслительной деятельности, рассеивает внимание, ухудшает восприятие информации, приводит к опасным сердечно-сосудистым, желудочно-кишечным заболеваниям. Продолжительное воздействие теплового излучения может привести к развитию профессиональных болезней.

Наиболее опасным последствием перегрева организма человека является тепловой удар, а на открытом воздухе вследствие сильного облучения головы является солнечный удар.

Наиболее благоприятная для организма человека относительная влажность воздуха приведена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Благоприятная относительная влажность

Относительная влажность воздуха, %, не более	30 - 50	55	60	65	70	75
Температура окружающей среды,	13 - 22	28	27	26	25	24

Оптимальной для человека является относительная влажность около 40 - 60 %. Если влажность воздуха повышена (более 75 - 85 %), то в сочетании с низкими температурами оказывается значительное охлаждающее воздействие, а в сочетании с высокими приводит к перегреванию организма. Пониженная

влажность (менее 25 %) также оказывает отрицательное воздействие на человека, так как способствует высыханию слизистых оболочек верхних дыхательных путей.

Для снижения неблагоприятного воздействия климата на организм, рабочие на открытой территории в летний период года должны быть снабжены спецодеждой согласно времени года и температуры окружающей среды. Во внутренних помещениях следует поддерживать температуру воздуха от 16 до 20 °С, скорость движения воздуха не должна превышать 0,3 м/с.

Также необходимо соблюдать режим труда и отдыха, так например, в одну рабочую смену работнику выделяется 1 час для приема пищи и обогрева и перерывы для отдыха каждые 2 часа продолжительностью 15 минут, которые включены в рабочее время.

### **5.2.3 Физические и нервно-физические перегрузки**

Так как скважины могут иметь разную протяженность персоналу длительное время необходимо выполнять повседневную работу чему сопутствует тяжелый и напряженный физический труд. Физические и нервно-физические перегрузки влияют на самочувствие работника и могут привести к развитию разнообразных заболеваний.

Физические перегрузки определяются нагрузкой на опорно-двигательный аппарат и различные системы организма. К показателям физической перегрузки относятся:

- динамическая физическая нагрузка;
- вес перемещаемого или поднимаемого груза;
- объем статической нагрузки;
- поза, в которой производится работа.

Нервно-физические перегрузки влияют центральную нервную систему, эмоциональную область и органы чувств.

Нервно-психические перегрузки подразделяются на:

- умственное перенапряжение;
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки.

Для снижения влияния физических и нервно-психических перегрузок на организм человека необходимо: соблюдать режимы труда и отдыха, обеспечить работника санаторно-курортным лечением, увеличить продолжительность ежегодного отпуска, обеспечить доплату за вредность, организовать лечебно-профилактическое питание.

#### **5.2.4 Повышенный уровень вибрации**

Источниками вибрации при горизонтально направленном бурении являются: механизмы, машины, механизированный инструмент. В основе шума и вибрации лежит одно физическое явление - механические колебания, создаваемые при работе машин и механизмов из-за неуравновешенности вращающихся частей, трения и соударения деталей.

Вибрация является раздражителем общебиологического действия, вызывающее общее заболевание организма человека. Длительное воздействие вибрации оказывает влияние на периферическую и центральную нервную систему, сердечно-сосудистую систему и опорно-двигательный аппарат. Их тяжелые и необратимые изменения, вызванные длительным воздействием вибраций, превышающих допустимые уровни, являются признаком вибробользни, запущенные и тяжелые формы которой ведут к частичной или полной потере трудоспособности [53].

Ответственность за соблюдение установленных гигиенических нормативов по вибрации на рабочих местах лежит на работодателе. Для этого он должен оценить риск, связанный с воздействием вибрации на рабочих, и принять меры, необходимые для снижения вибрационной нагрузки. Эти меры включают в себя, в частности:

- проектирование рабочих мест с учетом максимального снижения вибрации;
- использование машин с меньшей виброактивностью;
- использование материалов и конструкций, препятствующих распространению вибрации и воздействию ее на человека;
- обучение рабочих виброопасных профессий правильному применению машин, уменьшающему риск получения вибрационной болезни;
- контроль за правильным использованием средств виброзащиты;
- проведение периодического контроля вибрации на рабочих местах и организация на основе полученных результатов режима труда, способствующего снижению вибрационной нагрузки на человека, а также контроль за его соблюдением;

#### **5.2.5 Анализ выявленных опасных производственных факторов при горизонтально направленном бурении**

Опасный производственный фактор - фактор способный стать причиной острого заболевания, резкого ухудшения здоровья или летального исхода.

При ведении буровых работ горизонтально направленных скважина также прокладке трубопровода имеют место следующие опасные производственные факторы:

- электрический ток;
- движущиеся машины и механизмы (в том числе грузоподъемные).

#### **5.2.6 Электрический ток**

При работе на буровой установке высока вероятность повреждения персонала электрическим током, в частности во время бурения скважин методом горизонтально направленного бурения. Безопасным напряжением для человека считается напряжение равное 12 В [58].

Основными источниками являются силовые шкафы, установленные на буровой установке, цепи управления вспомогательным оборудованием (насосная установка, контролирующая аппаратура). Некоторое вспомогательное оборудование требует высокой мощности, поэтому к нему подведено линейное напряжение 380 Вольт, данное напряжения опасно для жизни обслуживающего персонала [59].

Повреждение работника электрическим током может произойти при различных обстоятельствах:

- при непосредственном касании работником незаизолированных проводов, различного оборудования, которое оказалось под напряжением из-за замыкания;
- при контакте работника с землей и оборудованием под напряжением.

Электрический ток крайне негативно сказывается на здоровье человека:

- поражает кожные покровы, слизистые оболочки тела человека;
- поражает центральную нервную систему;
- поражает внутренние органы, вызывает нарушения в работе сердца, почек, печени.

Требования предъявляемые к электробезопасности к электрическому и электронному оборудованию до 1000 В и номинальными частотами до 200 Гц изложены в ГОСТ 27487–87 «Электрооборудование производственных машин». Защита от электрического тока подразделяется на коллективную и индивидуальную:

*Коллективная защита включает:*

- использование различных плакатов, знаков предупреждения персонала об опасности поражения электрическим током;
- изоляцию открытых зон токоведущих частей устройств и оборудования;
- использование заземления в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 [54].

*Индивидуальная защита включает:*

- использование работниками средств индивидуальной защиты (диэлектрические боты, перчатки);

- применение диэлектрических ковров при работах, которые связаны с монтажом, ремонтом, обслуживанием электроустановок и оборудования.

Меры предупреждения:

- проведение инструктажей работникам;
- проведение обучения по электробезопасности;
- выполнения работниками правил и мер безопасности.

### **5.2.7 Движущиеся машины и механизмы**

Буровая установка и вспомогательное оборудование при бурении и строительстве направленных скважин, могут являться причиной травмирования работников. Причем эти повреждения могут быть довольно серьезными для человека и могут привести к тяжелым телесным повреждениям и даже летальному исходу, а также материальным потерям (выход из строя устройств, механизмов, приборов).

Превентивные меры:

- монтаж ограждений по периметру работающего оборудования;
- применение работниками средств индивидуальной защиты;
- применение оборудования и установок, которые находятся в списке реестра используемых устройств организации. Движущиеся машины и механизмы как опасный фактор представлены в ГОСТ 12.0.003-74\* [51].

Также множество несчастных случаев на производстве случается при производстве погрузочно-разгрузочных работ [51]. Так как на буровой установке имеется кран-манипулятор для установки/снятия буровых труб с направляющей рамы. При выполнении погрузочно-разгрузочных работ запрещается:

- стоять под стрелой во время поднятия и перемещения грузов;
- поправлять стропы с поднятым грузом.

Буровую установку, перед началом проведения буровых работ следует надежно установить согласно уровням, расположенным в кабине управления, после чего зафиксировать при помощи опорных стоек посредством забуривания



в грунт, либо другим способом предусмотренным конструкцией буровой установки.

Во время выполнения работ по подъему, перемещению и укладке грузов следует следовать следующим правилам:

- работникам, не занятым данной работой, запрещено находиться в зоне выполнения такелажных работ;
- до подъема груз необходимо сначала поднять на высоту 20 - 30 см, чтобы убедиться в надежности строповки;
- недопустимо производить расстроповку груза, не удостоверившись в надежности закрепления груза в штабеле или на средстве передвижения.

### **5.2.8 Пожаровзрывобезопасность**

При бурении скважин существуют риск пожаро-взрывообразования. Особенно высока эта вероятность при проведении огневых и газоопасных работ. При сварке, образовании искр, нагреве материалов до высоких температур возможно возгорание горючих материалов, находящихся в зоне проведения работ, или возгорание газовойздушной смеси при проведении газоопасных работ.

Основными факторами, увеличивающими риск пожаро-взрывообразования, являются [57]:

- нарушение технологии производства работ;
- отступление от проектного решения;
- умышленное повреждение оборудования и установок;
- нарушение правил пожарной безопасности и безопасности труда;
- террористический акт.

Допуск персонала к работе возможен только после прохождения инструктажа по пожарной безопасности. Должен быть определен соответствующий противопожарный режим, а именно:

- установлены и обозначены места для курения;

- установлены места и допустимое количество одновременно находящихся в помещении материалов;
- определен порядок уборки горючих отходов или хранения замасленной спецодежды;
- регламентированы: правила проведения огневых и газоопасных работ;
- действия персонала при обнаружении пожара.

Все производственно-бытовые помещения необходимо оборудовать средствами первичного пожаротушения, а также на видном месте необходимо вывесить таблички с номером пожарной охраны.

Производственно-бытовые помещения и строительные площадки необходимо оборудовать средствами первичного пожаротушения:

- огнетушители порошковые и углекислотные;
- ящики с песком;
- кошма или противопожарное полотно;
- ведра, лопаты, топор, лом.

### **5.3 Охрана окружающей среды**

Перед началом производства работ по строительству трубопровода методом горизонтально-направленного бурения следует получить разрешения на выброс загрязняющих веществ в атмосферу.

В период строительства источниками влияния на окружающую природную среду являются:

- буровые и строительные машины и механизмы;
- оборудование для сварки и изоляции;
- временные строительные сооружения.

Природоохранные мероприятия необходимо направить на предупреждение или сокращение:

- загрязнения воздушной среды;

- загрязнения различных водоемов;
- загрязнения грунта;

### **5.3.1 Воздействия на атмосферу**

Загрязнение атмосферного воздуха во время бурения горизонтально направленных скважин и строительных работ носит кратковременный характер.

Загрязняющие вещества при производстве строительных работ: продукты неполного сгорания топлива в двигателях буровой техники; вещества, которые выделяются при заправке машин, при производстве сварочных работ, работе дизельной электростанции.

Для сокращения суммарных выбросов загрязняющих веществ во время производства строительных работ следует предусмотреть:

- запрет на разведение костров, сжигание в кострах строительного мусора и отходов;
- непрерывный контроль за соблюдением технологических процессов, необходимый для сокращения выбросов в атмосферу;
- прекращение применения машин и оборудования, выбросы которых выше допустимых норм;
- производство контроля за содержанием загрязняющих веществ в выхлопных газах машин и оборудования;
- допуск к эксплуатации машины и оборудования в исправном техническом состоянии.

### **5.3.2 Воздействия на гидросферу**

При бурении горизонтально направленной скважины за пределами городской инфраструктуры существует вероятность загрязнения подземных либо естественных водоемов, при работе в их непосредственной близости. Общие требования к охране подземных вод приведены в ГОСТ 17.1.3.06-82 [59].

Для уменьшения воздействия вспомогательное оборудование следует располагать в строго отведенном месте. Емкости с отработанными горюче-смазочными материалами (ГСМ) следует временно хранить на специально выделенной площадке на металлических поддонах, с установленным герметичным бордюром, который позволяет предотвратить разлив хранящихся отходов ГСМ за пределы площадки. При возникновении нештатной ситуации, связанной с разливом ГСМ, места разливов зачищаются немедленно при помощи песка. Образующиеся отходы должны храниться в отдельном контейнере.

Площадки для стоянки, обслуживания и заправки техники необходимо оборудовать и располагать в специально отведенном месте. Не допускается засыпка ложбин и естественных водостоков, дренирующих территорию производства строительных работ.

### **5.3.3 Воздействия на литосферу**

Во время производства буровых работ возможно засорение почвы производственными отходами (буровой раствор, топливо).

Восстановление (рекультивация) нарушенных строительством земель производится в два основных этапа: технический и биологический.

Техническая рекультивация включает в себя уборку строительного мусора, засыпку точки входа буровой для бурения наклонного участка, выравнивание грунтовой поверхности. После этого нарушенные участки засеивают травой быстрой всхожести (биологическая рекультивация).

Для сокращения загрязнения земель на время проведения буровых и строительных работ, необходимо предусмотреть следующие меры:

- оборудовать рабочие и бытовые помещения контейнерами для мусора и бытовых отходов;
- вовремя вывозить промышленные отходы и строительный мусор с места выполнения работ на полигоны утилизации отходов;

- запретить мойку строительных машин и механизмов на строительной площадке;
- использовать строительные материалы и буровые растворы, которые имеют сертификат качества.

## **5.4 Обеспечение безопасности в чрезвычайных ситуациях**

1. Согласно ГОСТ 22.0.02-94 чрезвычайная ситуация (ЧС) - обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, которые могут повлечь человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях - состояние защищенности населения, окружающей природной среды от опасностей в чрезвычайных ситуациях. Различают безопасность по видам (промышленная, радиационная, химическая, пожарная, биологическая, экологическая) [61].

Проанализировав возможные варианты возникновения ЧС при проведении буровых и строительных работ по сооружению трубопровода, можно выделить следующее:

- техногенные, которые вызваны транспортными авариями;
- природные, связанные с опасными метеорологическими явлениями (сильный ветер, дождь, метель, и снегопад), гидрологическими явлениями (наводнения, резкое повышение уровня подземных вод и пр.);
- военно-политического характера (террористические акты, широкомасштабные или локальные внутригосударственные, межгосударственные военные конфликты).

Мероприятия по предупреждению возникновения ЧС и сокращению ущерба от них должны включать [60]:

- контролирование и прогнозирование опасных природных явлений и отрицательных последствий хозяйственной деятельности человека;

- оповещение персонала и органов управления о возможности возникновения ЧС;
- планирование действий по предотвращению ЧС и ликвидации их последствий;
- обучение персонала к действиям при ЧС;
- поддержание в готовности средств индивидуальной и коллективной защиты.

Защита работников в ЧС следует производить тремя методами:

- применением средств индивидуальной защиты;
- укрытием работников в защитных зданиях и сооружениях;
- эвакуацией.

До начала возникновения ЧС следует производить накопление средств индивидуальной и коллективной защиты, составить план эвакуации работников и в ходе ЧС его использовать.

Одним из примеров ЧС на рабочем месте может послужить пожар. Пожар относят к ЧС техногенного характера. Как правило, основным источником возгорания являются устройства, работающие от электричества. Такие устройства при некоторых обстоятельствах (перегрев элементов, неисправность, отсутствие изоляции) могут являться причиной возгорания. Источниками взрыва могут быть трубопроводы и сосуды под давлением, газовые баллоны.

Поражение человека открытым пламенем может служить причиной летального исхода, поражения кожных покровов тела, поражения волосяных покровов.

Ответственным за пожарную безопасность назначается руководитель объекта. Работники должны получать доступ к работе только после прохождения противопожарного инструктажа, а также должны пройти обучение по пожарно-техническому минимуму. Силовые блоки, установка для горизонтально-направленного бурения, электростанции, насосные установки, бытовые и производственные помещения, а также территория расположения указанных помещений обеспечиваются средствами первичного пожаротушения.

В случае возникновения пожара (аварии) следует немедленно вызвать пожарную охрану (аварийную бригаду), при необходимости провести эвакуацию людей в безопасное место одновременно приступив к ликвидации пожара (аварии) имеющимися в наличии силами и противопожарными средствами.

### **Заключение**

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, возникающие и воздействующие на обслуживающий персонал буровой установки, приведены способы и средства защиты от вредного воздействия. Бурение горизонтально направленных скважин, зачастую обусловлено нахождением в условиях городской среды, что создает дополнительные мероприятия, направленные на защиту окружающей среды. Определен порядок действия персонала при возникновении ЧС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой было предложено решение актуальной задачи для создания механического устройства способного разрушать крепкие горные породы при горизонтально направленном бурении. В результате выполнения исследований получены следующие результаты.

1. Представлена принципиальная схема ударного механизма, на основании которого была разработана 3D модель механизма, для проведения имитационного моделирования.
2. При проведении имитационного моделирования было выявлено зависимость срока службы упругого элемента от величины нагрузки, при проведении исследования было установлено, что пружина способна выдержать около  $8 \cdot 10^7$  циклов нагружения.
3. Для проведения математического моделирования составлена математической модели ударного механизма, при проведении исследований получены графические зависимости отображающие основные параметры, оказывающие значительное влияние на величину формируемого силового импульса, к ним относятся упругий элемент, величина активной массы, жесткость пружины.
4. В экономической части проведен сметный расчет затрат на проведение строительства пилотной скважины методом горизонтально направленного бурения, составлен календарный график выполнения работ, проведена оценка экономического эффекта от применения ударного механизма.
5. В разделе социальная ответственность рассмотрены вопросы производственной безопасности и экологической безопасности, проведен анализ вредных и опасных факторов возникающих при горизонтально направленном бурении.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыбаков А.П. Основы бестраншейных технологий (теория и практика): Технический учебник-справочник – М.: ПрессБюро №1, 2005. – 304 с.
2. Willoughby D. Horizontal Directional Drilling (HDD): Utility and Pipeline Applications (Civil Engineering). 1 ed. – New York: McGraw-Hill Professional, 2005. –400 p.
3. Калинин А.Г., Никитин Б.А., Солодский К.М., Султанов Б.З. Бурение наклонных и горизонтальных скважин: Справочник; Под ред. А.Г. Калинина. – М.: Недра, 1997. – 648 с.
4. Саруев Л.А., Шадрина А.В., Саруев А.Л., Васенин С.С., Пахарев А.В. Перспективы развития технологии и техники горизонтально-направленного бурения пилотных скважин для бестраншейной прокладки трубопроводов // Известия Томского политехнического университета. – Томск. №4, 2019. – с. 89-97.
5. Казанцев А.А., Саруев Л.А., Повышение эффективности вращательно-ударного бурения скважин малых диаметров: монография. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 113 с.
6. Шадрина А.В., Саруев Л.А., Саруев А.Л. Разработка новых соединений труб для бурения опережающих скважин при проходке тоннелей и прокладке в них газонефтепроводов // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 2. – с. 35-36.
7. Stangl G.A., Levings R.B. Horizontal Directional Drilling (HDD) systems for pilot bore drilling in mixed soil conditions and rock // Proc. of 30 International No-dig Conference and Exhibition. – No-Dig Sao Paulo, 2012. – p. 205-212.
8. Najafi M. Trenchless Technology Pipeline and Utility Design. Construction and Renewal. – Michigan: McGraw\*Hill, 2005. – 489 p.
9. Данилов Б.Б. Пути совершенствования технологий и технических средств для бестраншейной прокладки коммуникаций // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. № 2. – с. 69-75.

10. Дерюшева В.Н. Модели пневмогидравлического ударного узла с учетом свойств формирователя импульса и нагрузки: автореферат канд. техн. наук. – Томск, 2009. – 19 с.
11. Шадрина А. В. Теоретические и экспериментальные исследования волновых процессов в колонне труб при бурении скважин малого диаметра из подземных горных выработок: Дисс. ... доктора технических наук: спец. 25.00.14/ А. В. Шадрина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. конс. Л. А. Саруев. – Защищена 05.09.2014 г. – Томск: 2014.
12. Александров, Е. В. Исследование взаимодействия инструмента и горной породы при ударном разрушении [Текст] / Е. В. Александров, В. Б. Соколинский. – М.: ИГД им. А.А. Скачинского. – 1965. – 46 с.
13. Алимов, О. Д. Распространение волн деформаций в ударных системах [Текст] / О. Д. Алимов, В. К. Манжосов, В. Э. Еремьянц. – Фрунзе: Илим 1978. – 196 с.
14. Алимов, О. Д. Метод расчета ударных систем с элементами различной конфигурации [Текст] / О. Д. Алимов, В. К. Манжосов, В. Э. Еремьянц. Фрунзе: Илим, 1981. – 72 с.
15. Андреев, В. Д. Расчет передачи энергии ударного импульса через инструмент в породу [Текст] / В. Д. Андреев // Горный породоразрушающий инструмент. – Киев: Техника, 1969. – С. 71 – 79.
16. Авторское свидетельство. 727419. Гидравлический силовой механизм / В.Ф. Горбунов, П.Я. Крауиныш, Л.А. Саруев, В.А. Барашков // Бюл. № 14. – 1980.
17. Батуев Г. С. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г. С. Батуев, Ю. В. Голубков, А. К. Ефремов, А. А. Федосов. – М.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
18. Буровое оборудование // Режим доступа: <http://www.rudgormash.ru>,
19. Гандер В., Гржебичек И. Решение задач в научных вычислениях с применением Maple и MATLAB. – М: Изд-во «Вассамедина», 2005. – 520 с.

- 20.Дворников, Л. Т. Исследование влияния длительности и амплитуды ударного импульса на эффективность процесса бурения [Текст] / Л. Т. Дворников, Б. Т. Тагаев // Тр. ФПИ. Фрунзе. – 1977. – Вып. 104. – С. 62 – 69.
- 21.Жуков И.А. Модернизация конструкций бойков погружных пневмоударников // Journal of Advanced Research In Technical Science. – 2016. –№3. – С. 76-80.
- 22.Коткин, Г. Л., Черкасский В. С. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB: Учебное пособие. –Новокузнецк: Кузбассвуиздат, 2004. – 376 с.
- 23.Импульсные технологии и гидравлические ударные механизмы : учеб. пособие для вузов /Л.С. Ушаков. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 249 с.
- 24.Новосельцева М. В. Исследование системы формирования и передачи импульса для разрушения горной породы / М. В.Новосельцева; науч. рук. Л. А. Саруев, Е. Н. Пашков // Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – С. 405 –409.
- 25.Горбунов, В. Ф. Импульсный гидропривод горных машин / В. Ф.Горбунов, А. Г. Лазуткин, Л. С. Ушаков ; [отв. ред. М. С. Сафохин]. Новосибирск Наука, Сиб. отд-ние, 1986. – 195 с.
- 26.Нескоромных В.В. Теоретические и экспериментальные исследования основ механики разрушения горных пород в процессе формирования стволов скважин заданного направления и кривизны: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Иркутск, 1998. – 38 с.
- 27.Новосельцева М. В. Имитационное моделирование гидроимпульсного механизма в MATLAB / М. В. Новосельцева, И. А. Массон // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – С. 302-305.

- 28.Рындин В.П. Определение энергетических параметров и совершенствование динамики ударных систем бурильных машин: Диссертация докт. техн. наук. – Кемерово, 2005. – 330 с.
- 29.Сулакшин С.С. Разрушение горных пород при проведении геолого-разведочных работ: учебник / С.С. Сулакшин, П.С. Чубик; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 367 с.
- 30.Белов А.И. Исследование динамики бурильных машин ударного действия и разработка гидравлического вибродемпфирующего устройства. Автореф. дис. канд. техн. наук. - Томск., 1982. - 19 с.;
- 31.Саруев А.Л. Результаты экспериментальных исследований передачи силовых импульсов по ставам буровых штанг. Совершенствование методов поиска и разведки, технологии добычи и переработки полезных ископаемых: Тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. КГАЦМиЗ. - Красноярск: Изд-во. КГАЦМиЗ, 1999. - С. 31;
- 32.Шелковников И.Г. Использование энергии удара в процессах бурения. М.: Недра, 1977. - 160 с.;
- 33.Алимов О.Д. Влияние параметров ударного импульса на эффективность разрушения горной породы / О.Д. Алимов, А.Ф. Лисовский // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1973. – №5. – С. 62-64.
- 34.Алимов О.Д. Исследование эффективности формы ударного импульса привращательно-ударном бурении шпуров / О.Д. Алимов, И.Д. Шапошников, Л.Т. Дворников // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1971. – №5.
- 35.Ветюков М.М. Теоретические расчеты параметров ударных систем «поршень-боёк-штанга» / М.М. Ветюков, Д.А. Юнгмейстер, В.А. Пивневи др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №7. – С. 329-330.

36. Гилёв А.В. Моделирование ударных нагрузок при бурении сложноструктурных горных массивов / А.В. Гилёв, А.О. Шигин // Фундаментальные исследования. – 2012. – №11-1. – С. 120-123.
37. СТО НОСТРОЙ 2.27.17-2011 Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения. – М.: Национальное объединение строителей, 2011. – 145 с.
38. Bennett D. Horizontal Directional Drilling Good Practices Guidelines, Liverpool, NY: North American Society for Trenchless Technology, 2008. – 118 p.
39. Подземные горизонты // Режим доступа: <http://www.techinformpress.ru/index.php/arkhiv/podzemnye-gorizonty>.
40. Горизонтально направленное бурение (ГНБ) — технология, методы, оборудование // Режим доступа: <http://tcs-group.ru/tehnologii/gnb>.
41. Еремьянц В.Э. Влияние формы ударного импульса на процесс взаимодействия инструмента с обрабатываемой средой / В.Э. Еремьянц. – Фрунзе: Илим, 1981. – 60 с.
42. Казанцев А.А. Повышение эффективности передачи энергии ударных импульсов по ставу штанг при бурении скважин малых диаметров: автореф. дисс. кан. тех. наук. / Казанцев Антон Александрович. – Кемерово, 2009. – 19 с.
43. Крауиньш П.Я. Формирование ударного импульса в зависимости от исполнения промежуточной полости пневмогидравлического ударного узла / П.Я. Крауиньш, В.Н. Дерюшева // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – №315(2). – 178-182.
44. Злотникова Л.Г. Финансовый менеджмент в нефтегазовых отраслях: учебник. – М.: Нефть и газ, 2005. – 452 с.
45. Менеджмент: учебник / В. Р. Веснин. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Проспект, 2012. – 613 с.
46. Калинин А. Г., Никитин Б. А., Солодской К. М., Бурение наклонных и горизонтальных скважин: Справочник / – Москва: Недра, 1997. – 648 с.

- 47.Рыбаков А.П. Основы бестраншейных технологий (теория и практика): Технический учебник-справочник – Москва: ПрессБюро №1, 2005 – 304 с.
- 48.Джонстон Д. Анализ экономики геологоразведки, рисков и соглашений в международной нефтегазовой отрасли: пер. с англ. – М.: Олимп-Бизнес, 2005. – 464 с.
- 49.ВСН 008-88 «Строительство магистральных и промысловых трубопроводов Миннефтегазстрой, 1989 г.
- 50.Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации МДС 81-35.2004(утв. постановлением Госстроя РФ от 5 марта 2004 г. N 15/1)
- 51.Жуков В. И. Защита и безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебное пособие / В. И. Жуков, Л. Н. Горбунова; Сибирский федеральный университет (СФУ). – Москва; Красноярск: Инфра-М Изд-во СФУ, 2014. — 392 с.: ил. — Высшее образование. Бакалавриат. — Библиогр.: с. 384-387.
- 52.ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- 53.ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 54.ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 55.ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
- 56.ГОСТ 12.3.009-76 ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности.
- 57.ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 58.ГОСТ 21958-76. Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.

- 59.Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда
- 60.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 61.СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
- 62.Novoseltseva, Maria Viktorovna. Prospects for Further Rock Cutting Mechanisms Development / M. V. Novoseltseva, E. N. Pashkov // Applied Mechanics and Materials : Scientific Journal. – 2015. – Vol. 756 : Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2014). – P. 47-52.

## Приложение А

### Раздел 1 Literaturereview

---

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Кучкоров Хушбахт Бахтиерович		

Консультант школы отделения (НОЦ) ИШПР, ОНД:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Л.А.	Д.Т.Н		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ШБИП, ОИЯ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Бекишева Т.Г.			



# **1 LITERATURE REVIEW**

## **1.1 APPOINTMENT OF DIRECTIONAL AND HORIZONTAL WELLS**

The development of pipeline systems and communication networks creates the need for compact installations of horizontal directional drilling (hereinafter referred to as HDD) for the urban environment. The amount of investment in this technique also increases with the rise of the amount of work. Contractors want to work on small, maneuverable and at the same time quite powerful installations. An important factor in maintaining and expanding pipeline infrastructure throughout the world is a complex task. Traditional methods of replacing and repairing communications are carried out using the open trench method. This method often turns out to be expensive and labor-intensive, especially in the conditions of a modern congested urban infrastructure. The dense construction of cities and the development of their infrastructure makes the laying of communications using the HDD method even more urgent since the open method of laying is not always available. The high cost of building trenches is often due to the need to restore roads, passages and improvement of the surrounding area. Other problems are often associated with traffic disruption and increased danger for workers in areas of heavy traffic. State utility and construction industries began to look for alternative methods of replacing and repairing underground infrastructure in order to overcome the disadvantages of trenching. Horizontal directional drilling is the fastest growing technology in the trenchless industry and one of the alternative construction methods.

HDD has experienced rapid growth in the construction industry over the past few decades [28]. The horizontal-directional-drilling process represents a significant improvement pipelines over methods for installing pipelines beneath obstructions, such as roadways, driveways, historical areas, landscaped areas, rivers, streams, and shorelines, which warrant specialized construction attention. To utilize many benefits offered by HDD construction efficiently and properly, design engineers should have a working knowledge of the HDD process. This knowledge will assist them in

developing constructible designs that can be executed in the field while meeting the requirements of the utility company [14].

The tools and methods used in the HDD process are also used in the drilling of oil and gas wells. The first use of directional wells in oil fields was motivated by the economy. Oil fields were the basis for the practical application of equipment for drilling directional wells. Horizontal drilling rigs used for municipal construction and construction of pipelines are similar to drilling rigs for oil wells, but the horizontal drilling rig is equipped with an inclined pad [38] and not a vertical mast.

Speaking about the use of HDD technology in the oil and gas sector, this type of drilling is used to open up oil and gas reservoirs, reduce the area of field development, increase the area of the “production zone” in the well, intersect fractures, build relief wells and install utilities underground, where excavations are impossible or economically inexpedient [43].

The use of HDD technology for drilling oil and gas wells can be rational in the following cases:

1. when drilling wells located under the landscape with a complex relief of mountains, ravines, hills;
2. while drilling the second well in order to obtain data on the geological structure of the productive horizon;
3. with an increase in drainage area at a certain angle, for opening a reservoir with a higher return;
4. to increase the productivity of wells in fractured rocks;
5. for drilling series of wells on productive formations from a single drilling site or overpass located in the sea or a lake;
6. when bypassing large absorption of flushing fluid and areas of landslides;
7. when drilling a cluster of wells on flat areas to reduce the cost of equipping the camp and reduce the time of drilling the field;

Methods HDD is used for drilling wells for oil and gas in Russia is used in Western Siberia, Tatarstan, Bashkortostan, Orenburg region and other areas [34].

Horizontal drilling is used to increase oil and gas production of productive horizons during the primary development of fields with poor reservoirs and in the recovery of low-yield and inactive wells.

Also currently, most of the underground water supply pipelines, main oil and gas pipelines are in a dilapidated state, characterized by various types of damage. It is advisable to use HDD technology to replace them. For high quality and productive work, being in different soil conditions, there are several theoretically reasonable and proven methods. HDD technology is a closed method of reconstruction and today is of particular interest.

Horizontally directed drilling is a multi-billion dollar industry with hundreds of contractors and thousands of drilling rigs operating on five continents. The HDD method in North America has grown from 12 process plants in 1984 to thousands of pieces of equipment today. Also noticeable is the increase in the presence of horizontal directional drilling observed in Russia and the CIS countries. Significant interest and rapid growth are partly explained by the following.

1. the rising costs of traffic management and rehabilitation associated with the installation of engineering networks and pipelines in congested urban areas, as well as the need to work in existing utilities.

2. increased awareness of social costs such as traffic delays and business disruption in residential areas.

3. Strengthening of environmental regulations for laying pipelines across rivers, wetlands and other environmentally sensitive areas. Soil damage in HDD is minimal. As a result, in densely populated urban areas, HDD is increasingly considered as the preferred technology. This minimizes the negative impact on residents and businesses, eliminates the need for dismantling and relocation, costly restoration and landscaping. In open areas, the HDD provides an efficient way to cross obstacles, such as rivers, highways, railways, or airfield runways [41]. The HDD method also eliminates the costs and time associated with the installation of equipment for drainage, if the work must be performed below the groundwater level.

## 1.2 RANGE OF APPLICATION OF DIRECTIONAL AND HORIZONTAL WELLS

The market demand for horizontal directional drilling is constantly growing throughout the world. Installation of pipelines and utilities in urban areas, as well as through rivers and highways, is the main consumer of the industry. Usually HDDs are used for laying new power grids, natural gas and telecommunications. Recent advances in equipment and tracking systems make the use of HDD cost-effective. These are mainly projects that use larger-diameter punctures and set tight positional tolerances for placement. The diagram shown in Figure 1.1 shows the distribution of HDD by industry to consumers.

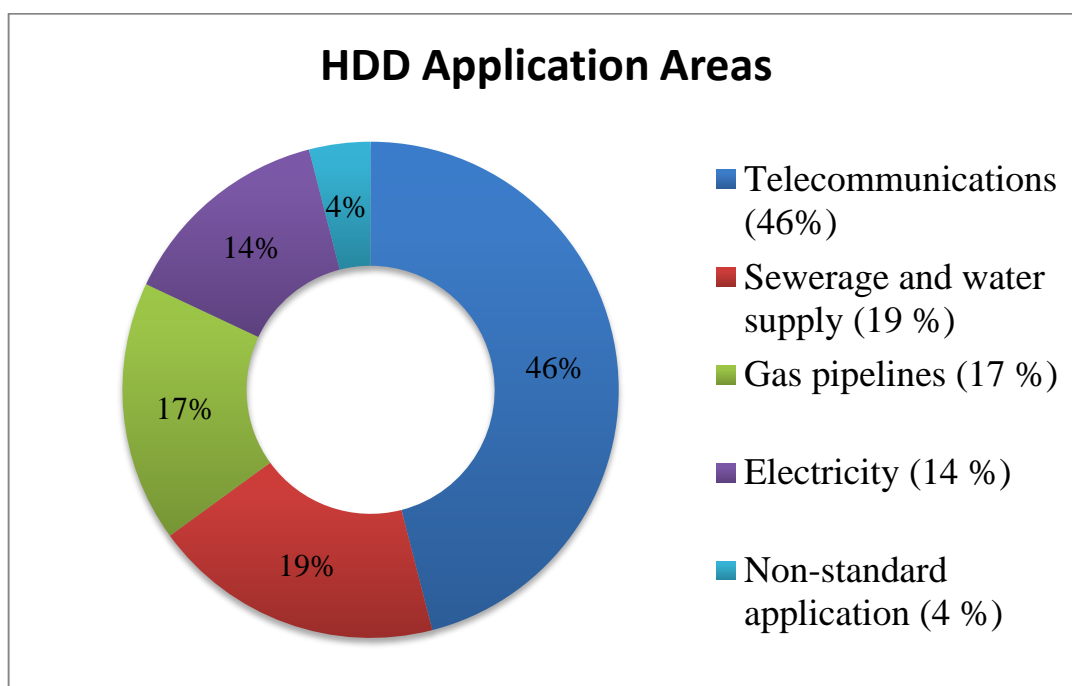


Figure 1.1 The distribution of consumption of HDD by application

The branches in this diagram reflect the current status [22]. There is a continuous process of inventions and improvements in the new applications of this technology. The most widespread technology of HDD received when laying pipes for water supply, sewage and gasification of human settlements. Since 2005, work has been carried out on the creation of a Unified Gas Supply System, which is developing such an important area of activity of PJSC Gazprom as gas supply and gasification of the subjects of the Russian Federation. As a result of the implementation of the

Gasification Program of the Regions of the Russian Federation from 2005 to 2016. The average level of gasification in Russia grew from 53.3% to 67.2%, including the cities from 60% to 70.9%, in rural areas from 34.8% to 57.1%. The main priority of PJSC Gazprom activities in the field of gasification of regions remains the further development of gasification of regions of the Russian Federation [11]. It is also aimed at achieving the maximum, economically justified level of gasification of the territories, meeting the effective demand for gas, improving the living conditions of the population, mainly in rural areas, and increasing the economic potential of the constituent entities of the Russian Federation. The original HDD method was developed for laying low-current electrical cables, thin and short connections to gas pipelines, as well as local pipe connections. Thus, services involved in gasification and water supply, as well as telecommunications, has become major consumers of trenchless technologies. In some regions, more than half of all gas and water pipelines are laid using the HDD method, while the significant advantages of this method are the reduction of work time, the preservation of the environment and the soil surface, especially the durability of the laid pipelines. For such pipelines, technical requirements for the process, quality assurance and technical conditions for laying pipelines using the HDD method were developed.

There is a high need for laying cables for data transmission between enterprises, ports and office complexes, shopping centers under the surface of the earth, which are owned by individuals or companies. Additional connections to the existing underground infrastructure should be brought quickly and at minimal cost. In this regard, the HDD method is widely used, for example, for private and public fiber optic cable lines.

The HDD technology allows, with a certain decrease in the diameter, to extend a new pipe into the existing pipe. If we are talking about the pressure pipeline, then between the old and the new pipe insulation is necessary. For this method, those pipelines that are still tight and can withstand increased pressure due to a decrease in diameter are suitable [27]. Installation inside pipes using the HDD method is very fast and economically superior to other methods.

The special advantages of the HDD method are obvious when drilling under valuable protected areas (coastal slopes, nature conservation areas, parks and sports grounds), that is, in those places where biosystem disturbance is excluded.

With the help of HDD, a heating pipeline can be laid under the asphalt or concrete surface, which allows keeping the field constantly free of snow and ice. This requirement exists at airports on the runway. Used areas of the airfield require constant cleaning of ice, which requires a lot of time and often serves as a cause of downtime, so it is advisable to lay the heating under the airfield.

Because of mining, as well as the conservation of coalmines, groundwater rises in built-up areas protected areas. Similar measures to lower and, in some areas, to increase groundwater, until recently, included drilling a large number of vertical wells. To reduce the number of wells and increase the hydraulic effect is increasingly used method of horizontal drilling in the filtration segments [36]. The selection and installation of such a filtration segment requires significant hydrological innovation. Such technical measures are used in the draining of dams, slopes, drainage of buildings and installation of drinking water systems.

The method of controlled horizontal drilling allows geological exploration for future tunnel highways, as an example, the Mont Blanc railway tunnel [27]. In this case, special equipment takes samples of water and rock. For this purpose, special geotechnical tools are used. HDD boreholes are also used for geophysical prospecting. Appropriate geophysical equipment allows using several parallel but different in length channels to carry out three-dimensional geophysical tomography of the entire segment of the hill, that is, allows for detailed exploration. Such exploration is especially needed if the tunnel passes through soils that are prone to water absorption through taconite loosening or layers of soft rock.

Another geotechnical possibility of using horizontal directional drilling is the geometric possibility of drilling for load distribution, which is especially important for high-rise structures. Such drilling is a horizontal drilling without laying pipes while punctures are carried out parallel to the higher part of the building. It is also possible to change the geometry of such wells. The wells of a larger section are laid closer to

the outer edge of a high-rise building, while the wells of a smaller section are closer to the middle of the building.

An important point to install the building in a straight position with this method of drilling is the exact determination of the volume of extracted soil. Horizontal drilling equipment has a significant advantage in the technical possible puncture under the building.

Application of the HDD method for soil compaction. A foundation pit in groundwater requires an effective method of soil compaction, which is usually carried out using vertically, installed injection elements. As a result, elements based on binders form a closed horizontal waterproofing layer [31]. A similar waterproofing layer with the same principle of action can be laid using parallel horizontal geometrically intersecting injection elements. This method is not only more productive from a technical point of view, but with long punctures and more economical. These advantages are realized due to the possibility of smooth construction work in the upper part of the pit.

With the help of HDD installations it is possible to introduce fixing materials into soft, load-sensitive, difficult-to-pass soils (for example, silt, swampy soil). These materials can be introduced into the soil with large mixing tools, rotating nozzles, and the soil mixing effect is achieved. In the same way it is possible to introduce mineral fertilizers into the soil. In the soil prone to low erosion establish transverse beams that can reduce the amount of soil removed. Methods for improving soil conditions using horizontal drilling are practically unlimited.

Thus, after analyzing the spheres of application, horizontal drilling equipment is open to many other applications that are now at the initial stage of development. There are few construction-engineering areas where the application of a horizontal directional drilling method would be limited. For example, HDD allows neutralizing waste in the soil by means of encapsulation, to install underwater barriers, to change the direction of groundwater movement in loose soils. With the help of trenchless drilling it is possible to install stiffening ribs, build underground foundations, remove liquid or dissolved materials from the soil, carry out trenchless replacement of old

pipelines. As for construction, it is possible to re-equip tunnels without hindrance, cross the space under buildings and squares without additional intervention, lay underground networks for measuring. It is also possible to locate foci of hazardous materials in the ground under rivers and lakes, take a sample of the soil by an invasive method and even detect and extract solids and materials at a short distance. The applications of trenchless drilling technology are not limited.

Because of the growth in the number of HDDs, a wide range of drilling rigs and auxiliary equipment is on the market. Modern equipment for horizontal directional drilling can operate in a wide range of soil deposits from extremely soft soils to hard rock formations.

### **1.3 TECHNICAL REVIEW FOR HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING**

According to statistics, alternative methods of doing work, such as building transitions using installations of HDD, account for only 10%. In order to lay a new pipeline or access an existing one using a traditional trench method, it is necessary to extract, dump and pile back tons of material that requires a lot of energy. At the same time there is a long violation of the landscape, leading to a slowdown in traffic and traffic jams. The trenchless method requires less equipment for people and time than the open method, so it is much cheaper for the city that pays for this work. And this is even without long-term factors, such as repairing damaged roads. In addition, with trenchless technologies, harmful emissions into the atmosphere are reduced by 90% compared to traditional ways of doing business [27].



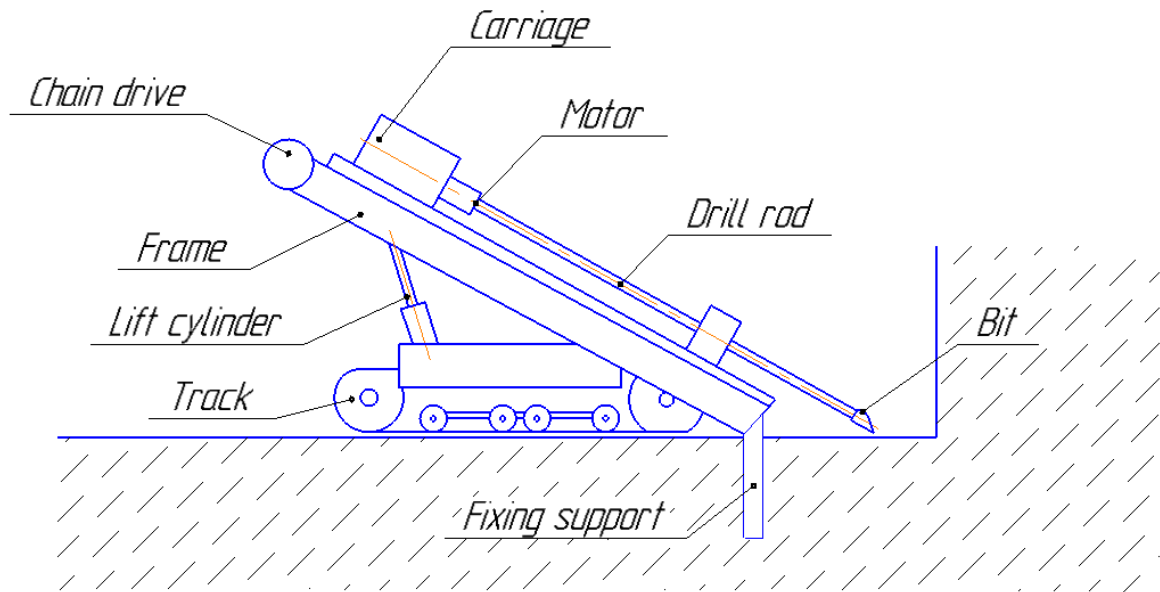


Figure 1.2 Structure diagram of the HDD drilling rig

Despite all the advantages and the fact that this progressive method has existed for several decades, trenchless technologies remain innovative in some sense. Nevertheless, the intensity of using horizontal directional drilling is gaining momentum and the reputation of this area is growing. Given the high cost of earthworks including the social costs associated with disrupting business and daily activities, HDD is the preferred method for solving utility problems in urban areas. Manufacturers of drilling rigs as well as suppliers of tools, location systems and drilling mud have significantly improved horizontal directional drilling technologies, which now make longer, deeper and more accurate passes of the most difficult soils with a greater degree of safety for the existing infrastructure.

Directional drilling rigs currently used in HDD usually consist of a carriage that slides along the frame and holds the drill rods at an angle from 0 to 25 degrees [22]. In most cases, hydraulic power is used to power the carriage that rotates the drill rods. A chain or pinion drive is used to push or pull the carriage to advance or retract the drill string (Figure 1.2).

Drilling rigs are widely represented on the market and differ mainly in such indicators as torque, pulling force and load on the bit that they provide. Despite the

variety of sizes and types offered by individual manufacturers, drilling rigs have some common features. The rig provides the flow of the drilling tool and the rotation of the drill string. When drilling a vertical shaft, the main force on the drill bit is provided by the weight of the drilling tool and the drill string. When drilling a borehole, the drill string is rarely in a vertical position, so the drilling rig must provide a load on the bit. On HDD drilling rigs, the feed force to the drilling tool is provided (through the drill pipe) by means of a chain transmission or by means of a gearing (rack and pinion gear).

As for the classification of HDD rigs, in 2000 Europe developed a unified classification that allows combining many other existing classifications of drilling equipment, but we will touch only drilling rigs of horizontal directional drilling. Installations are classified according to the maximum pulling force and maximum drilling depth.

The category of mini-drilling rigs usually includes rigs designed for thrust of less than 180 kN, torque from 5 to 15 kN·m and supply of drilling mud less than 280 liters per minute [27]. Mini-drilling rigs are usually mounted on a truck trailer or self-propelled crawler. Self-propelled versions are autonomous units with a power unit hydraulically driven and a pump for delivering drilling mud to the vehicle. For this type of drilling rigs, auxiliary devices having an autonomous power supply system and a pumping station for drilling fluids are typical. Drilling rigs with a rated load of less than 90 kN are used mainly for small diameter wells, for example, for laying auxiliary cables and small diameter pipes in urban areas. But some of the models of this class in this category are suitable for use in drilling in gravel, cobblestone, and other formations where it is difficult to maintain borehole stability. For smaller rigs, special drilling systems and down hole tools are now available for drilling through medium-hard formations, as well as cobblestones.

The category of midi-drilling rigs usually includes rigs designed for thrust from 100 to 400 kN, torque from 15 to 35 kN·m and pumping mud system from 250 to 800 liters per minute [27]. Most of the rigs in this category are autonomous. Midi installations are commonly used to install products with a diameter of up to 400 mm at a distance of up to 600 meters. This category of drilling rigs is the main type used for

the installation of municipal pipeline products. These devices are compact and can be easily used in urban areas while providing the ability to install pressure and sewer lines. These units can work with soft or hard soils and various soft rocks. When using face engine engines and special expanders, these units can perform drilling in rock formations.

Large (maxi) rigs are typically used in large operations with multiple trailer mounted auxiliary devices with significant mobilization periods. These devices have higher operating costs and require large work areas. This usually limits their use in the HDD market for urban needs. Maxi drilling rigs are often used for large diameter pipelines (from 400 to 1200 mm) or exceptionally long drilling rigs with a length of up to 2000 meters. This category of drilling rigs is capable of pulling force of more than 2000 kN, more than 60 kN·m of torque and with a pumping system of drilling mud exceeding the flow rate of 900 liters per minute [27].

Above is the European classification of HDD installations, according to the diagram presented in Figure 1.3 most of the equipment comes from abroad.

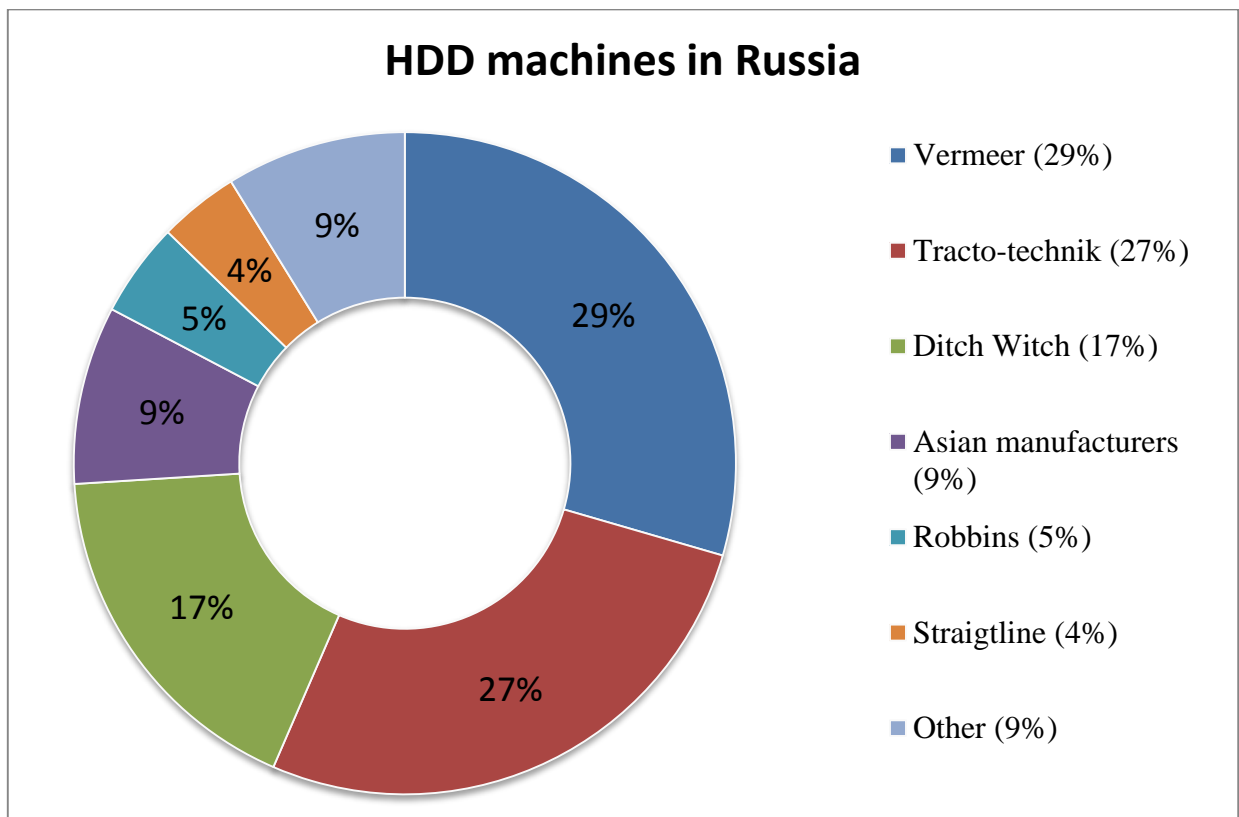


Figure 1.3 Diagram of the HDD technology used in Russia

HDD installations are offered with a wide range of options. The lower part of the model range is occupied by compact mini-installations with the effort of direct/reverse thrust of less than 9 tons with dimensions that ensure inconspicuous work in residential areas. This, for example, such drilling complexes as the Ditch Witch JT5 and Toro DD2024 [37]. On the other hand, there are maxi installations with direct / reverse thrust over 500 tons, capable of drilling wells with a diameter greater than 1500 mm, such as American Augers DD-1100RS, VermeerD1320x900, older Prime Direct and Herrenknecht models (mounted on special frames or on a tracked chassis). According to the manufacturer's specifications, some of these large drilling rigs can form a well more than 3 km long, but in practice very few people can boast of a transition longer than 1800 m. In the case when an extra-long well is required, two installations can be used in opposite directions. Thus, the probability of unsuccessful drilling is reduced.



Figure 1.4 Drilling rig HDD Vermeer D33x44

In everyday work, most contractors use midi-complexes. From 70 to 80% of existing wells are made with the help of installations of the middle class, which are used in almost all industries, either the construction of engineering networks, electric power industry, telecommunications or the transportation of oil and gas. While sales of compact and heavy drilling rigs are highly dependent on the cyclical fluctuations of

the telecommunications and oil and gas markets, the demand for midi rigs shows more stability. Most manufacturers have in their range of installation of this segment. Vermeer offers such models as D20x22 S3, D23x30 S3, D24x40 S3, D40x55 S3, D40x55DR S3, D60x90 S3, D100x140 S3, D220x300 S3 and D330x500. There are six medium models in the Ditch Witch lineup: JT20, JT20 XP, T25, JT30 All Terrain, JT40 All Terrain, JT 60 All Terrain and JT 100 All Terrain. American Augers offers three models of midi: DD110, DD240 and DD440 [28].

One of Vermeer's latest developments in this class is the D40x55DR S3 Navigator horizontal directional drilling installation, which can be used for various types of soils: from hard, medium and soft rock to clayey soils. For rock drilling, a dual drill rod technology is used in which the inner rod transmits the rotational movement of the drill head, and the outer rod sets the direction and provides torque to the expander. This design provides the ability to perform the laying of communications in different conditions using the same technology. According to the manufacturer, double-rod drilling rigs are much easier to use than other solutions and provide greater flexibility when soils of different densities lie in one well.



Figure 1.5 Drilling rig HDDTracto-TechnikGrundodrill 15XP



With the use of a new twin-hole drill string, due to simple and fast internal and external connections, the time and amount of work required to assemble or disassemble the rods on the D40x55DR S3 has been reduced by 30% compared to previous Vermeer models [30]. The hollow inner rod increases the flow of air and drilling fluid to the drill bit in the pilot wells and to the expander during reverse pulling. This means that a wider range of equipment is available to contractors, ranging from a roller cone bit to a pneumatic hammer, and it becomes possible to use larger diameter expanders. The Vermeer D40x55DR S3 with 18 tons of forward / reverse thrust is powered by a 140 hp John Deere diesel engine. Installation can carry on board up to 1500 m of drill rods. Carriage speed at maximum engine speed reaches 35 m/min.



Figure 1.6 Ditch Witch JT10 Drilling Rig

A similar principle of drilling with the mechanical transfer of energy to the drill bit is used in the Ditch Witch All Terrain installations. Installations of this series use twin rods, while the outer rod guides the drill string while drilling the pilot well and the inner one constantly rotates the bit. The outer rod either rotates slowly to maintain straight motion or remains stationary during feed to adjust the drilling direction. The outer rods have a tapered thread for connecting and the inner rods are connected with hexagonal sleeves. Consumption of bentonite solution does not exceed the volume required for normal drilling. One of the new products in this series is the installation of

the Ditch Witch's JT40 All Terrain with a 160-horsepower Cummins engine that delivers 8184 Nm of torque, which is 33% higher than the competitors in the same class [18].The internal bar design improves tool management in hard rock conditions.



Figure 1.7 HerrenknechtHDD Drilling Rig

Herrenknecht supplies HDD units with thrust from 60 to 600 tons, in four standard configurations (on the frame, on the trailer, on tracks and in modular design) with a separate operator control cabin. The autonomous pumping station of the installation is powered by a diesel engine located in a separate container, the capacity of which can vary in the range from 330 to 1,440 kW, depending on the customer's requirements [33].A crane is not required for the commissioning of a unit mounted on a trailer. The crawler version has significant advantages in off-road conditions. Modular drilling rigs can be divided into two or three parts for transportation in standard containers. As an option, a crawler chassis with remote control is offered.

High-quality drilling tools play an important role in the performance of work on the HDD technology. Inrock is the leading supplier of horizontal directional drilling tools, but this company was acquired by Sandvik. This deal will further expand the product portfolio for HDDs that are being offered to Sandvik customers. At the same time, the company will pay special attention to the segment of middle-class facilities and accelerate the global development of its business.

Chinese brands do not stand aside and confidently catch up with the leaders. Chinese horizontal directional drilling units under the XCMG brand are well known to Russian specialists. The performance of the new E-series has been significantly improved in terms of workplace ergonomics, safety, environmental protection, information support, management system optimization and design. XCMG engineers are looking forward and trying to catch the trends that will be on the market in 3-5 years. Significant investments in research and development provide a high-quality product portfolio in a wide range. Complexes of the E series work more efficiently than their predecessors by 20% and at the same time consume 10% less fuel [21]. Thanks to the use of an automatic system for replacing drill rods, it became possible to reduce the number of service personnel. In connection with the use of an automatic replacement system for drill rods, it became possible to reduce the number of service personnel. Responding to the growing demands of users around the world, the company not only constantly expands the range of HDD installations, but also adds special options designed for specific customers. For example, drilling rigs can be equipped with dual drill rods for hard rocks that are suitable for working in a confined space. With a spread of traction from 16 to 660 tons, XCMG products are able to satisfy the requirements of almost all potential customers in any industry. In addition, as the main hydraulic pump can be installed an axial piston pump to increase the speed of rotation of the drive shaft while maintaining traction. One of the most popular in the series, the XZ360E, provides a torque of 13,200 N·m and a maximum pulling force of 37 tons [25]. The mud pump with a flow rate of 400 l / min creates a maximum pressure of 8 MPa.





Figure 1.8 HDD drilling rig model XZ320A

The park of drilling complexes in Russia for 97% consists of imported equipment. The share of leading manufacturers Vermeer, Ditch Witch and Universe is more than 50% of the market [19]. Chinese brands do not stand aside and confidently catch up with the leaders. The share of imported consumables and tools reaches 80%. Thus, import substitution has not yet affected the industry. It should be noted that the volume of imported equipment for HDD since 2013 has decreased not many times but tenfold [15]. Nevertheless, despite the economic difficulties, we can confidently say that the direction of the HDD in Russia took place as an independent branch of the construction complex.

With the formation of a civilized market of HDD, the era of “new theme” enthusiasm ended when many tried their hand at this difficult trade by purchasing the HDD installation and mastering it on the go. Those who stay afloat, albeit few, but professionals in their field [29]. The result of the activities of the leading players in this market in recent years has been the formation of a legislative framework regulating pricing and the rules of the game, as well as the preparation of highly qualified human

resources. The final edition of the Code of Rules 341.1325800.2017 “Underground engineering communications. Horizontal directional drilling” was approved by the Ministry of Construction of Russia and entered into force in May 2018[40]. This document is in demand among designers, customers and contractors. It extends to the design, production, quality control and acceptance of works on laying closed transitions during the construction and reconstruction of water supply networks, heating networks, power supply lines, communications and telecommunications, gas distribution networks and intersections of artificial and natural barriers.

According to expert estimates, projects with medium and large well lengths and diameters above average are most promising in Russia. At the same time, the geography of such orders is shifting to the north and east of the country. In addition, recently there has been a growing interest in extra-viscous oil production, which oil companies intend to extract to the maximum. One of the possible methods for its extraction is steam and gravity drainage (SAGD), which requires the use of horizontal directional drilling.

In conclusion, it can be noted that the HDD market does not stand still. Its further development is associated with the introduction of HDD technologies into new types of work, which implies a large-scale modernization of the fleet of drilling complexes, tools and auxiliary equipment.