

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ»

На правах рукописи

**Тимофеев Николай Гаврильевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ  
ШУРФО-СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ**

Специальность:

25.00.14 – Технология и техника геологоразведочных работ

диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель профессор,  
кандидат технических наук Скрябин Р.М.

Москва 2015г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4 стр.
<b>ГЛАВА 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ПРОХОДКИ И БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ</b> .....	10 стр.
1.1. Обзор и анализ существующей техники и технологии проходки шурфов и бурения шурфо-скважин.....	10 стр.
1.2. Анализ научных исследований в области проходки шурфов и бурения скважин большого диаметра (шурфо-скважин).....	22 стр.
1.3. Обзор и анализ конструкций породоразрушающего инструмента для бурения горных выработок.....	29 стр.
Выводы.....	37 стр.
<b>ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ ШУРФО-СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ</b> .....	39 стр.
2.1. Краткие сведения о многолетней мерзлоте (криолитозоне).....	39 стр.
2.2. Физико-механические свойства многолетнемерзлых пород.....	42 стр.
2.3. Разработка конструкции опережающего долота для бурения скважин в условиях мерзлых пород.....	46 стр.
2.4. Совершенствование техники и технологии бурения шурфо- скважин в условиях криолитозоны.....	57 стр.

2.5. Разработка методики конструирования бурового снаряда для бурения шурфо-скважин в условиях криолитозоны .....	62 стр.
Выводы.....	69 стр.

<b>ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ ШНЕКО-АККУМУЛИРУЮЩИМ СНАРЯДОМ В УСЛОВИЯХ КРИЛИТОЗОНЫ.....</b>	<b>71 стр.</b>
---	----------------

3.1. Цели и задачи экспериментальных исследований .....	71 стр.
3.2. Оборудование для экспериментальных исследований .....	72 стр.
3.3. Разработка опытного образца шнеко-аккумуляторного бурового снаряда .....	74 стр.
3.4. Программа экспериментальных исследований .....	78 стр.
3.5. Моделирование процесса бурения шнеко-аккумуляторным снарядом в условиях криолитозоны .....	81 стр.
3.6. Исследование и анализ затрат мощности при бурении скважин шнеко-аккумуляторным снарядом.....	92 стр.
Выводы.....	106 стр.

<b>ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>108 стр.</b>
---	-----------------

4.1. Анализ геолого-технических условий россыпных месторождений ОАО «Алмазы Анабара».....	108 стр.
4.2. Изготовление шнеко-аккумуляторного бурового снаряда большого диаметра (750 мм.) с поинтервальным отбором проб.....	112 стр.
4.3. Оценка технико-экономической эффективности и рекомендации по внедрению в производство .....	122 стр.
4.4. Выводы.....	125 стр.

**ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ..... 126 стр.**

**ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА..... 128 стр.**

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Разведка и освоение новых месторождений всех видов полезных ископаемых, является приоритетным направлением стратегического развития нашей страны.

Одним из основных способов поисков и разведки россыпных месторождений (алмазов, золота, олова и др.) в арктической зоне Северо-Востока страны с мощной толщей многолетней мерзлоты является проходка разведочных шурфов разной глубины и сечения.

Россыпные месторождения зоны многолетней мерзлоты имеют существенные отличия от аналогов, расположенных в районах с умеренным климатом и положительной температурой пород, которые определяют особые требования к выбору техники и технологии геологоразведочных работ. Специфика их обусловлена комплексным взаимодействием и влиянием горно-геологических, горнотехнических, мерзлотных и климатических факторов. Горно-геологические особенности характеризуются сложным рельефом местности, относительно небольшой глубиной и высокой изменчивостью залегания полезного ископаемого, малой мощностью продуктивного пласта, низким уровнем геологической изученности района и т.д. Весьма жесткими являются климатические условия региона, в котором мощность распространения многолетней мерзлоты составляет порядка 250-400 м., а сезонное колебание температуры воздуха достигает до 90 °С (-60 °С до +30 °С).

В Республике Саха (Якутия) значительные объемы разведки и разработки россыпных месторождений алмазов выполняет ОАО «Алмазы Анабара». Разведочные работы основаны на технологии шурфопроходческих работ и осуществляются в основном дорогостоящим, малопродуктивным и небезопасным буровзрывными работами, которые ведутся только в зимнее время года в выработках глубиной до 15-20 м., с большой долей ручного труда, что обуславливает трудоемкость и определенную опасность всего процесса.

Отмеченные обстоятельства выдвигают актуальную научно-техническую задачу по поиску принципиально новых методов, технических средств и технологий разведки россыпных месторождений полезных ископаемых в суровых арктических условиях Северо-Востока России, которые позволят повысить технико-экономические показатели геологоразведочных работ.

**Целью** данной работы является повышение эффективности разведки россыпных месторождений полезных ископаемых в условиях криолитозоны путем совершенствования шнекового бурового инструмента и технологии бурения шурфо-скважин с поинтервальным отбором разрушенной породы.

**Объект исследования** – буровой инструмент и технологии бурения шурфов, шурфо-скважин и скважин большого диаметра.

**Предмет исследования** – техника и технология бурения шурфо-скважин при разведке россыпных месторождений в условиях криолитозоны.

**Основная идея** работы заключается в совершенствовании техники и технологии бурения шурфо-скважин при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых в районах многолетней мерзлоты Северо-Востока и арктической зоны страны взамен малопродуктивной и дорогостоящей проходки шурфов с использованием буро-взрывных работ.

**Задачи исследования:**

1. Анализ современных способов разведки россыпных месторождений полезных ископаемых.
2. Исследование техники и технологии бурения горных выработок в условиях многолетнемерзлых пород (криолитозоны).
3. Совершенствование породоразрушающего инструмента для бурения горных выработок в мерзлых породах.
4. Разработка и обоснование новой конструкции бурового снаряда большого диаметра с поинтервальным отбором пробы.
5. Экспериментальное подтверждение работоспособности разработанной конструкции бурового снаряда в условиях криолитозоны.

**Методика проведенных исследований.** Для выполнения теоретической (аналитической) части работы использованы методы системного анализа, исследований механики мерзлых грунтов и других фундаментальных наук; Основой экспериментальных исследований (натурных испытаний) явилось использование самоходной буровой установки, контрольно-измерительных приборов и статистической обработки результатов экспериментов.

**Научная новизна:**

- Выявлены зависимости механической скорости бурения  $V_{мех}$  от режимных параметров (частоты вращения  $n$  и осевой нагрузки  $C_o$ )  $V_{мех}=f(n, C_{oc})$  разработанным шнеко-аккумуляторным буровым снарядом;
- Получены зависимости расхода мощности буровой установки  $N$  на бурение шнеко-аккумуляторным снарядом от режимных параметров  $N=f(n, C_{oc})$ , глубины и диаметра скважины  $N=f(L_{скв}, \varnothing)$ ;
- Выявлена зависимость выделяемой теплоты на забое от радиуса расположения резцов  $T=f(r)$  породоразрушающего инструмента (долота) при резании мерзлой породы.
- Обосновано совершенствование конструкции опережающего долота с учетом температурного фактора работы резцов и обеспечивающего объемного разрушения мерзлой породы на забое;
- Разработана новая конструкция шнеко-аккумуляторного бурового снаряда большого диаметра (750мм) с поинтервальным отбором разрушенной породы при разведке россыпных месторождений в условиях криолитозоны с содержанием валунов размерностью не более 300 мм;

**Достоверность научных положений,** изложенных в работе, подтверждается проведенными натурными испытаниями опытного образца бурового снаряда в полевых условиях с использованием современного оборудования и необходимым объемом данных, а также изготовлением по разработанной конструкции производственного варианта шнеко-

аккумулирующего бурового снаряда большого диаметра (750 мм.) с поинтервальным отбором разрушенной породы.

**Практическая значимость** работы заключается в ускорении и удешевлении разведки россыпных месторождений в условиях криолитозоны с одновременным повышением качества опробования разведываемого объекта путем частичных замены объемов шурфопроходческих работ бурением шурфо-скважин.

**Личный вклад** автора заключается в выполнении теоретических и экспериментальных исследований, анализе и обработке результатов, а также разработке конструкции и изготовлении шнеко-аккумулирующего бурового снаряда большого диаметра для внедрения в производство.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Разработана функционально-кинематическая схема шнеко-аккумулирующего бурового снаряда, обеспечивающего поинтервальный отбор пробы при бурении шурфо-скважины в условиях криолитозоны и установлена зависимость объема пробоприемной камеры бурового снаряда от интервала опробования (рейсовой проходки)  $V_{np}=f(l_{np})$ .
2. Установлены зависимости механической скорости бурения  $V_{мех}$  от режимных параметров (частоты вращения и осевой нагрузки)  $V_{мех}=f(n, C_{ос})$  и затрат мощности буровой установки  $N$  от глубины, диаметра  $N=f(L_{скв}, \varnothing)$  и от режима бурения  $N=f(C_{ос}, n)$  которые рекомендуются в качестве режимных параметров при бурении шурфо-скважины разработанным буровым снарядом.
3. Научно обосновано совершенствование конструкции породоразрушающего инструмента (долота) обеспечивающего эффективное разрушение и снижающего процесс теплообразования на забое скважины в процессе бурения мерзлых пород (заявка на изобретение №2014130654 «Породоразрушающий инструмент», от 24.07.2014г.).

4. Разработана новая конструкция шнеко-аккумулирующего бурового снаряда большого диаметра (750мм) с поинтервальным отбором разрушенной породы (патент РФ на полезную модель «Буровой снаряд», № 123820 от 10.01.2013 RU) позволяющего заменить устаревшую технологию шурфопроходческих работ в условиях криолитозоны.

**Апробация работы.** Основные разделы и результаты диссертационного исследования были представлены на:

- Всероссийской научно-практической конференции «Ползуновский грант» (Барнаул, *диплом лауреата* 2011, 2013);

- XV международном симпозиуме академика Усова, «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2013 *диплом 2 степени*);

- Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России» (Якутск, 2012, 2013, 2014).

- научно-практической конференции «Аспирантские чтения – 2013» ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» (Якутск, *диплом 1 степени*);

- форуме научной молодежи РС (Я), посвященного 75-летию академика В.П. Ларионова, и научно-технической выставке молодых ученых «Наука и техника в Якутии» (Якутск, 2013);

- Гранте президента Республики Саха (Якутия) для молодых ученых, специалистов и студентов по научному направлению «Технические науки» (Якутск, 2013, *грант имени Академика В.П. Ларионова*);

- Московской международной выставке изобретателей и инновационных технологий «Архимед-2014» (Москва, *бронзовая медаль*);

- Республиканском конкурсе «Я – инженер» на призы Члена Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации В.А. Штырова в номинации «Профессиональный инженер» (Якутск, 2014, *диплом 2 степени*);

- Грант ректора СВФУ на проведение научных исследований студентов и молодых ученых (Якутск, 2015).

**Реализация результатов работы.** Разработанный шнеко-аккумуляторный буровой снаряд большого диаметра (750мм.) для бурения шурфо-скважин вращательным способом с поинтервальным отбором разрушенной породы принят для внедрения в производство ОАО «Алмазы Анабара» Республики Саха (Якутия) на разведочных участках россыпных месторождений алмазов. Получен патент на полезную модель, подтверждающий новизну конструкции разработанного бурового снаряда. Полученные в ходе проведения результаты научных исследований дополняют учебный процесс в учебно-научной лаборатории «Разведочное бурение» кафедры технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова».

**Опубликованные работы.** Общее количество опубликованных научных трудов, где изложены основные разделы и содержания диссертационной работы составляет 23 публикаций, из которых 8 публикаций в журналах, рекомендованных перечнем ВАК и РИНЦ РФ, 1 статья в SCOPUS. По разработанной конструкции шнеко-аккумуляторного бурового снаряда получен патент РФ на полезную модель №123820 «Буровой снаряд».

Диссертационной работы состоит из введения, 4 глав, общих выводов и результатов исследований, а также списка библиографических источников и соответствующих приложений. Объем основного текста работы составляет 140 страниц, в том числе 5 таблиц, 76 рисунков и приложения на 12 страницах.

**ГЛАВА 1.****НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ  
ПРОХОДКИ И БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯ  
КРИОЛИТОЗОНЫ****1.1. Обзор и анализ существующей техники и технологии проходки шурфов  
и бурения шурфо-скважин**

Основным способом поисковой и детальной разведки россыпных месторождений полезных ископаемых до настоящего времени является проведение значительного объема разведочных шурфов.

Шурф - вертикальная (реже наклонная) горная выработка, проведённая с поверхности земли для поиска и разведки полезных ископаемых с доступом в нее людей [99].

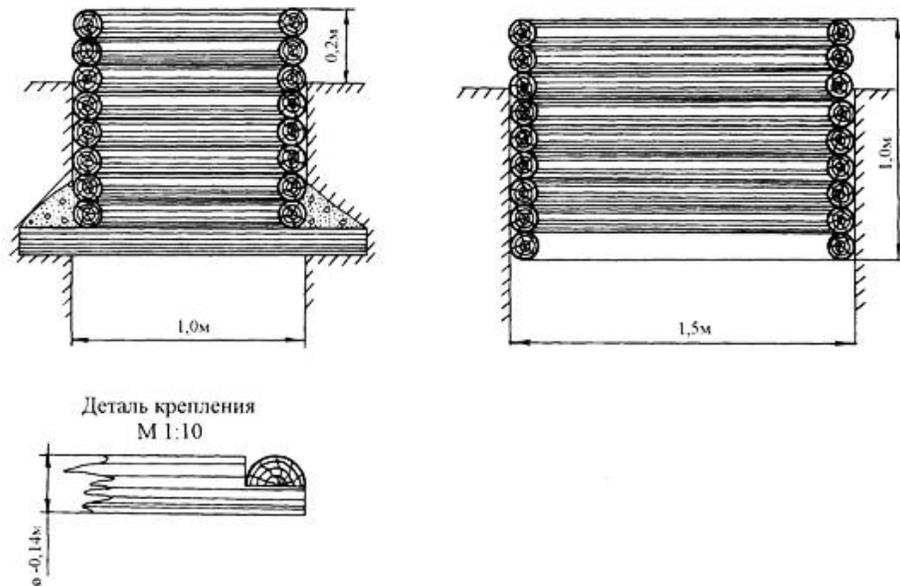
В практике геологоразведочных работ, при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых в условиях многолетнемерзлых пород, широкое распространение получил буровзрывной способ проходки шурфов с подъемом породы ручными воротками *рис.1.1*. Выбор способа проходки шурфов в первую очередь зависят от горно-геологических условий разведываемого участка. Проходка шурфов способами на «пожог» и на «проморозку» из-за низкой производительности и большой трудоемкости применяются практически не применяются.

Полная информация по вопросам технологии и техники проходки шурфов приведена в соответствующих литературных источниках [11, 12, 14-21, 30-54, 58, 59, 65, 70, 71, 77, 78, 79, 105].



*Рис.1.1. Ручной подъем породы из шурфа, на примере ОАО «Алмазы Анабара».*

Шурфы в зависимости от условий залегания россыпей и степени разведки проводятся сечениями 1,25 (1,0x1,25м), 1,5 м<sup>2</sup>, реже 3,2 и 4 м<sup>2</sup>. При глубине шурфов до 5-10 м проветривание забоя после взрыва осуществляется за счет естественной тяги, при больших глубинах применяются ручные вентиляторы. Крепление стенок шурфа до глубины 1 м осуществляется деревянной крепью [95] (см. рис.1.2).



*Рис.1.2. Крепление стенок шурфа (масштаб 1:20).*

Шурфопроходческое звено, как при ручном, так и при механическом подъеме пробы из выработки состоит из трех человек. Цикл начинается с уборки породы в

выработке и заканчивается взрыванием шпуровых зарядов определенного интервала. Средняя циклограмма проходки одного шурфа с сечением 4м<sup>2</sup> и глубиной 20м. приведена на *рис. 1.3* [95].

Операции	Время	Время смены											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Бурение	2 ч.	■	■										
Заряжение и взрывание	30 мин			■									
Проветривание	30 мин			■									
Уборка	6 ч.				■	■	■	■	■	■			
Крепление	2 ч										■	■	
Вспомогательные работы	30 мин												■
Общее время		11 часов 30 мин											

*Рис.1.3. Средняя циклограмма проходки шурфа взрывным способом.*

Из циклограммы (*рис.1.3*) видно, что проходка разведочных шурфов осуществляется с большим объемом ручного труда, при этом половина рабочего времени уходит на уборку горной массы из выработки. При использовании же крана для подъема бады дополнительное время расходуется на монтаж и демонтаж оборудования [95].

Учитывая тенденции увеличения объема шурфопроходческих работ при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых, актуальность совершенствования техники и технологии этих работ значительно возрастает для геологоразведочных организаций страны. В первую очередь это касается изыскания высокопроизводительных и безопасных способов сооружения горных выработок: бурения скважин большого диаметра, шурфо-скважин и т.д.

Буровая скважина – вертикальная, наклонная или горизонтальная горная выработка преимущественно круглого сечения (диаметр 59-1000 мм. и более),

образуемая в результате бурения, без доступа человека к забою. В основном скважины используются при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, а также для решения инженерных задач в различных видах строительных работ [99].

Скважины большого диаметра – это скважины с диаметром от 0,5 до 2,5 м., используемые в основном для решения технических задач при разработке месторождений полезных ископаемых (вентиляционные, коммуникационные и др. и в строительстве (возведение опор, свай и т.п) [99].

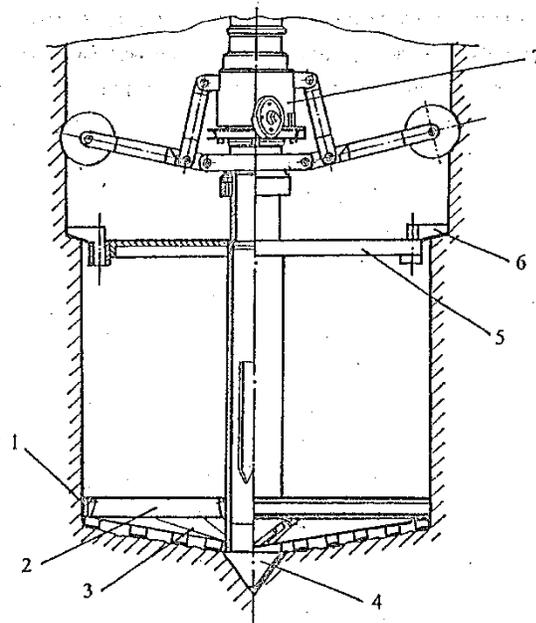
Шурфо-скважина – это вертикальная (редко наклонная) круглой формы поперечного сечения горная выработка, пройденная бурением и имеющая выход на земную поверхность. Диаметр шурфо-скважин может быть от 500 мм. до 1000 мм. и более, а глубина от нескольких метров до нескольких десятков метров. Основное назначение шурфо-скважины, это отбор достоверных и представительных проб при разведке месторождений полезных ископаемых.

В этой связи одним из основных и перспективных направлений по совершенствованию существующей техники и технологии шурфопроходческих работ является возможность применения бурового способа.

В российской практике, по способу разрушения породы практическое применение для сооружения горных выработок (скважин большого диаметра, шурфо-скважин и др.) нашли следующие способы бурения: вращательный, ударный, ударно-вращательный, вибрационный и др.

Вращательный способ бурения является наиболее распространенным способом и осуществляется со следующими буровыми инструментами большого диаметра (шурфобурами) [8-21, 24, 26, 31-41, 65]:

- *дисковые буры (рис.1.4)* применяются при бурении неглубоких выработок в мягких породах, глубина которых не превышает длины буровой штанги или хода подачи бура:



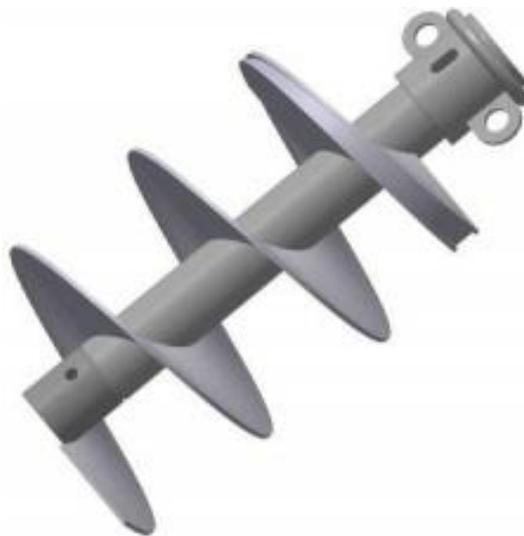
**Рис.1.4.** Дисковый бур. 1 – диск; 2 – окно; 3 – режущие ножи; 4 – пикообразное долото; 5 – расширитель; 6 – ножи; 7 – фиксатор.

Разгрузка породы осуществляется за счёт центробежных сил, возникающих при его быстром вращении, вручную или за счет использования отвального лемеха, сгребавшего породу с вращающегося диска. При наличии расширителя 5 с ножами 6 можно бурить шурфы диаметром от 0,7 до 1,2 м.

Наличие фиксатора 7, позволяющего перемещать шурфобур по буровой колонне, позволяет бурить шурфы глубиной до 15 м.

В процессе бурения фиксатор 7 не вращается, так как упирается подпружиненными дисками в стенки шурфа.

- *шнековые буры* наиболее широко применяются при бурении шурфоскважин *рис.1.5*. В зависимости от горно-геологических условий, шнеки по количеству лопастей разделяются на однозаходные (по мягким породам) и двухзаходные (по сыпучим породам). Основным рабочим органом шнековых буров является ведущая труба со шнеком, к нижней части которого соединяется опережающее долото (породоразрушающий инструмент).



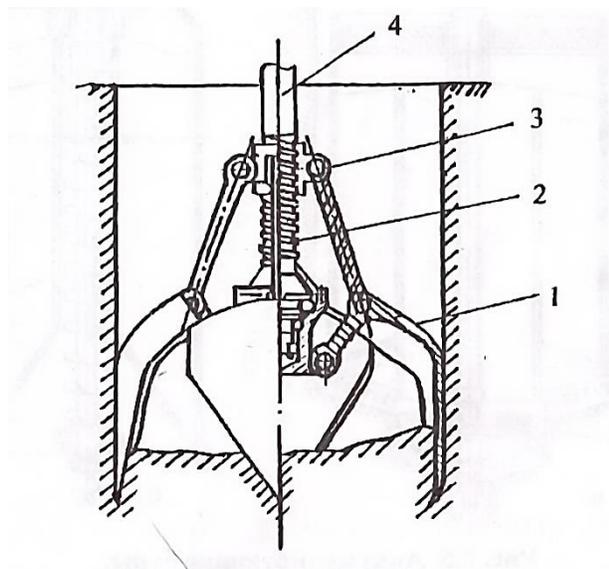
*Рис.1.5. Шнек.*

- ковшовые буры (рис.1.6) применяются в сыпучих и обводненных породах с содержанием до 40% валунов от общего объема породы. По сравнению с дисковыми и шнековыми бурами ковшовые шурфобуры характеризуются меньшей производительностью. Основным недостатком ковшовой бура является необходимость в дополнительной мощности для углубления бура в горный массив. Но ковшовые буры имеют ряд преимуществ при бурении скважин в условиях водопритоков и неустойчивых стенок, по сравнению с другими бурами;



*Рис.1.6. Ковшовый бур.*

- *грейферные буры* (рис.1.7) применяются при бурении шурфоскважин в обводненных песчаных и валунно-галечниковых отложениях, с одновременным креплением стенок скважины. При бурении грейфер опускают на забой и по колонне бурильных труб (напорные грейферы) подают осевую нагрузку или вибрации (виброгрейферы) для внедрения в породу.



*Рис.1.7. Грейферный бур. 1 – челюсти; 2 – ходовой винт; 3 – грейфер; 4 – буровая колонна.*

Грейфер работает следующим образом. В рыхлых породах внедрение «челюстей» 1 грейфера 3 в породу осуществляется: под действием осевой нагрузки, передаваемой через буровую колонну 4, а смыкание «челюстей» - при вращении буровой колонны. В плотных породах (глинах, суглинках и галечниках), внедрение «челюстей» грейфера осуществляется при его поступательном движении и вращении по часовой стрелке, а смыкание — при вращении против часовой стрелки, за счет ходового винта 2.

Главным недостатком грейферов является небольшая площадь работы;

- колонковые буры (рис.1.8), предложенные кафедрой горного дела МГРИ в

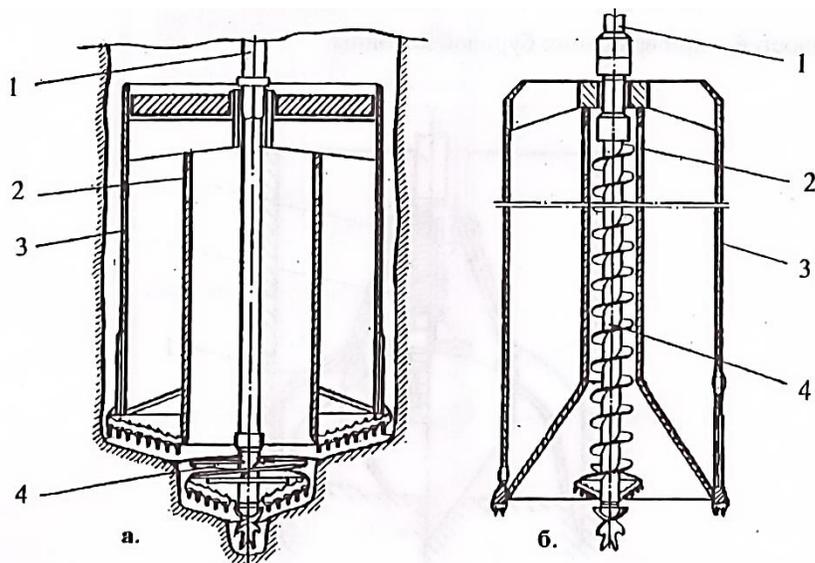


*Рис.1.8. Колонковый бур.*

практике бурения скважин большого диаметра в настоящее время широко не применяются, хотя некоторые из них прошли полную апробацию и производственные испытания. Это в первую очередь связано с трудностями отрыва керна из забоя, которые приводят к увеличению рабочего времени. Колонковые буры, выпускаемые зарубежными компаниями отличаются высокой скоростью проходки и более ускоренным процессом при извлечении кернового материала, однако себестоимость этих колонковых буров и комплектующих значительно дороже;

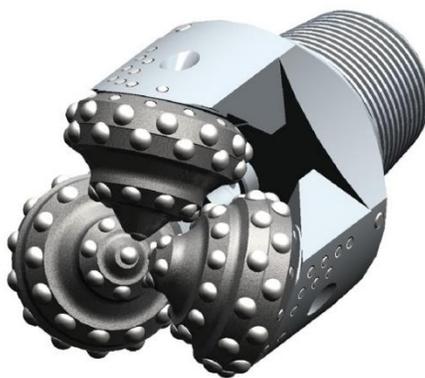
- *аккумулирующие буры (рис.1.9)* применяются для бурения скважин в вертикальных горных выработках в условиях больших водопритоков с диаметром до 5 м без применения очистного агента или с местной циркуляцией. Конструкция аккумулярующего бура состоит из режущего органа и шнекового транспортера непрерывного или циклического действия. Шнек транспортирует попадающую с

забоя разрушенную породу в емкость аккумулятора в процессе бурения и заполняет его сверху.



*Рис.1.9. Аккумулярующий бур. а – циклического действия; б – непрерывного действия; 1 – бурильная труба; 2 - окна; 3 – корпус бура; 4 – шнек.*

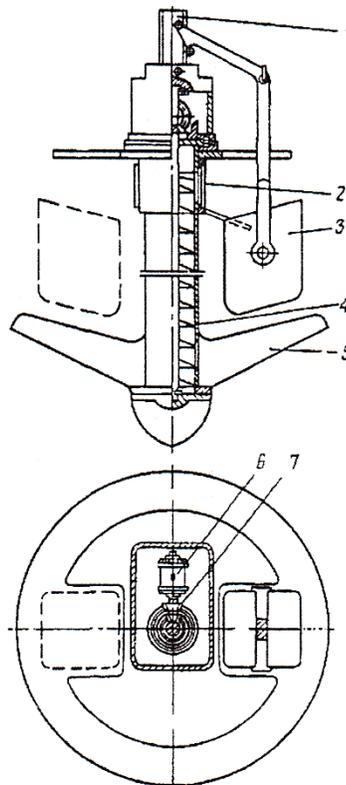
- Шарошечное бурение (рис.1.10) в основном применяется при бурении скважин по твердым породам. Породоразрушающие инструменты шарошечного бурения бывают двух видов: шарошечные буры (шарошечные долота) и агрегаты реактивно-турбинного бурения (РТБ). Для работы шарошечным буром при бурении скважин большого диаметра необходимы мощные тяжелые буровые установки и высокопроизводительные насосы, что становится экономически не выгодным.



*Рис.1.10. Шарошечное долото.*

- Шурфобур с забойным приводом (Рис.1.11). Разработка В.Я. Беспалова [53].

Снаряд предназначен для бурения мягких пород, на небольшую глубину и представляет собой вращающуюся обсадную трубу  $\text{Ø}152\text{мм}$ , внутри которой вращается шнековая колонна  $\text{Ø}146\text{мм}$  со скоростью, превышающей в четыре раза скорость вращения обсадной трубы.



*Рис.1.11. Шурфобур с забойным приводом.*

На рис. 1.11. представлена схема шнекового бура с забойным приводом. В этом буре ножи 5 и короткий шнек 4 приводятся во вращение забойным двигателем 6 через редуктор. Разрушенная порода поднимается шнеком на некоторую высоту и через загрузочные окна 2 подает в скуп 3. Скуп по колонне 1 поднимают на поверхность.

Этот снаряд обеспечивает транспортировку разрушенной породы на поверхность одновременно с процессом бурения, однако значительное время

затрачивается на наращивание сложной двойной колонны, что с увеличением глубины шурфа снижает производительность бурового процесса.

Ударный способ бурения скважин большого диаметра (шурфоскважин) является весьма эффективным [12, 14, 15, 16].

Различают следующие виды ударного воздействия на горную породу: бурение с отрывом породоразрушающего инструмента от забоя после каждого удара (ударно-канатное бурение с использованием долот, желонки, стаканов); бурение без отрыва от забоя забивного стакана (вибрационное) и применение грейфера.

В настоящее время, в практике бурения скважин большого диаметра (шурфоскважин) в условиях распространения многолетнемерзлых пород самым оптимальным способом является ударно-канатное бурение (*рис. 1.12*). Подробно об этом способе в работах [14, 15, 21, 22, 30-54, 58].

Основные недостатки ударно-канатного способа это: низкие технико-экономические показатели, не совершенство конструкции и технологии желонирования, искривление скважин, при бурении в условиях криолитозоны опасность замерзания подливаемой воды, недостаточный отбор пробы из шурфоскважины, из-за этого низкое качество опробования, а также в зависимости от параметров скважины (глубины, диаметра) и физико-механических свойств многолетнемерзлых пород утяжеление в разы веса бурового породоразрушающего инструмента, который приводит к сокращению ресурса талевой системы буровой установки. При бурении шурфо-скважин по рыхлым неустойчивым породам требуется установка обсадных труб, отсюда высокая трудоемкость операций с посадкой и извлечением обсадных труб.



повысить производительность, безопасность и снизить трудоемкость рабочего персонала.

## **1.2. Анализ научных исследований в области проходки шурфов и бурения скважин большого диаметра (шурфо-скважин)**

Исследованиями проходки разведочных шурфов занималось в разные годы немалое количество исследователей и научных организаций. Среди них особое внимание заслуживают исследования группы Л.Г. Грабчак МГРИ [17, 18, 19, 21, 30-54]. Ими выполнен большой объем исследований по технике и технологии проведения шурфов и бурению скважин большого диаметра различными способами, даны практические рекомендации по их применению в различных горно-геологических условиях.

В последнее время, учитывая тенденции увеличения объема шурфопроходческих работ при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых, актуальность совершенствования техники и технологии этих работ значительно возрастает для геологоразведочных организаций страны. В первую очередь это касается изыскания высокопроизводительных и безопасных способов сооружения скважин большого диаметра.

В этой связи одним из основных и перспективных направлений совершенствования техники и технологии шурфопроходческих работ является возможность применения бурового способа.

Проходка горных выработок буровым способом (бурение скважин большого диаметра) применяется в нашей стране с 1938 года. Весомый вклад в развитие этого способа внесли советские ученые: Л.Г. Грабчак, Д.Н. Башкатов, С.А. Брылов, О.В. Зеленцов, В.С. Владиславлев, Б.М. Ребрик, В.П. Кренделев, В.Т. Борисович, В.И. Несмотряев, А.В. Чистяков, Б.Н. Кузовлев, В.А. Плохих, В.П. Яшин, А.Н. Попов,

А.И. Кабанцев, и другие. Ими в разное время были проведены исследования и подробно изучены вопросы разрушения (резания) горного массива, очистка и эффективное удаления разрушенной породы из забоя выработки и многое другое.

По исследованию процессов бурения и крепления скважин большого диаметра значительные вклады внесены такими научно-исследовательскими и учебными организациями, как: ВНИИБТ, ВНИИОМШС, ВНИРШРОМтехнология, ЦНИИподземмаш, ИГД им. Скочинского, КУЗНИИшахтострой, Донги-прооргшахтострой, МГРИ-РГГРУ, Южгипрошахт, ГХК «Спецшахтобурение» и др. Ими разработаны и созданы отечественные комплексы буровой техники, технологии ведения горно-разведочных работ, методические рекомендации расчета крепи, а также необходимый комплекс нормативной документации при их сооружении.

Были проведены большой объем научно исследовательских работ, учитывающие все технологические параметры и факторы, оказывающие влияние на эффективность разрушения горного массива на забое скважины большого диаметра. В этом направлении, особое внимание уделяется в работах, связанных с теоретическими изучениями вопросов по эффективному разрушению горной породы резанием, такие как геометрия породоразрушающего инструмента (углы резания, заострения, передние, задние и др.), технологические режимы процесса бурения (осевая нагрузка  $C_{oc}$  на породоразрушающий инструмент и частота вращения  $n$  бурового снаряда) и другое [2-7, 23, 30-54, 56, 73, 75, 76, 83, 92, 98, 102, 104].

При бурении скважин большого диаметра в различных горно-геологических условиях, вследствие высокой производительности и простоты технологического процесса, эффективным является вращательное бурение с транспортированием разрушенной породы шнековым способом.

Изучением такого сложного процесса как шнековое транспортирование разрушенной породы и очистка забоя при бурении скважин большого диаметра занималось большое количество исследователей [1, 8, 9, 10, 11, 14, 19, 21, 35, 38, 69, 74, 75, 81, 82, 85, 89]. В рамках одной работы, сделать общие анализы и обзоры проведенных десятилетиями исследований невозможно. Поэтому в своей работе, особое внимание уделяется в работах, связанных с процессом разрушения, очисткой забоя и вертикальным транспортированием разрушенной породы шнеками и расходам привода мощности буровой установки при бурении шурфоскважин (скважин большого диаметра) по осложненным горно-геологическим условиям.

Среди исследований по вертикальному транспортированию разрушенной породы шнеками следует отметить работы группы авторов: Ю.Н. Копытко «Шнековое бурение» [68]; С.И. Бриль «К расчету буров ямокопателей» [13]; Н.А. Лапина [74] и др.;

В работе «Шнековое бурение» приведены опыты бурения разведочных скважин с транспортированием разрушенной породы шнековым способом, даны описания различных конструкций техники и технологии шнекового бурения, а также рассмотрены вопросы технико-экономических показателей шнекового способа бурения и организации этих работ.

В своей работе С.И. Бриль [13] разработал формулы для подсчета:

- угловой скорости движения разрушенной породы по шнеку;
- угла наклона траектории движения частиц породы к горизонтали;
- вертикальной скорости транспортировки породы по лопастям шнека.

К сожалению, предложенные расчетные формулы не в полном мере охватывают весь цикл процесса бурения, а именно не приведены формулы по расходу мощности привода буровой установки при бурении шнековым способом.

В этом направлении, большой интерес вызывают исследования Н. А. Лапина [73, 74]. Автором получены более близкие к условиям работы вертикального шнекового транспортирования разрушенной породы расчетные формулы, с внесением соответствующих коэффициентов.

Для количественной оценки влияния параметров шнека и режима бурения на процесс транспортирования буровой мелочи В.А. Перетолчин [82] получил на ЭВМ численные решения уравнений и произвел анализ влияния параметров системы на угол  $\beta$ , скорость  $U$  подъема частицы буровой мелочи и на образование пассивной зоны шнека.

В результате выполненных численных решений установлена зависимость скорости подъема частицы от коэффициентов трения, диаметра шнека и частоты вращения, скорости подачи и шага шнека. Также установлено что, материал на шнеке совершает сложное винтообразное движение, и математическое описание его движения при исследовании представляет значительные трудности.

Экспериментальным исследованием В.А. Перетолчин [82] установил, что на удаление разрушенной породы из забоя скважины расходуется до 50% энергии привода вращателя буровой установки, и этот показатель с увеличением диаметра бурового инструмента существенно возрастает.

Из всех имеющихся исследований по вертикальному транспортированию разрушенной породы шнеком при бурении различных скважин, наибольшего внимания заслуживает многоэтапная работа профессора Д.Н. Башкатова [8, 9, 10]. Его работы неоспоримо имеют важное теоретическое и практическое значение. Автор отмечает что, при вертикальном транспортировании разрушенной породы шнеком, играет важную роль эффект «подпора породы». Также автором рассмотрены актуальные вопросы процесса шнекового транспортера, которые связаны с исследованием трех основных условий работы шнекового транспортера, изучением распределения разрушенной породы на ребрах шнека, рассмотрением

шнекового транспортера с различными формами лопастей, выбором максимальной и минимальной частоты вращения шнека, а также другие параметры шнека:

Первое условие, расчетная формула потребного числа оборотов шнека, при котором происходит транспортировка породы вверх:

$$n_{min} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(\sin\alpha + f_{ш}\cos\alpha)}{Rf_c K_1 K_2 (\cos\alpha - f_{ш}\sin\alpha)}} \quad (\text{об/мин}) \quad (1.1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол реборды шнека (град);  $f_{ш}=0,2$  – коэффициент трения разрушенной породы о лопасти шнека;  $R$  – радиус шнека (м);  $f_c=0,5\div 0,6$  – коэффициент трения породы о стенки скважины;  $K_1=0,8\div 0,9$  – коэффициент, учитывающий заполнение шнека;  $K_2=0,9$  – коэффициент, учитывающий действие сил трения на транспортируемые частицы.

Формула связывает между собой три основных параметра шнекового транспортера: число оборотов, радиус и угол подъема винтовой линии.

Второе условие появляется при попадании разрушенной породы на винтовую поверхность, при котором она должна центробежными усилиями перемещаться к его крайней части. Если такого процесса не происходит, то шнековая колонна работает малоэффективно и при большой скорости бурения производительность шнека может оказаться недостаточной:

$$P_y \geq F_{ш}, \quad (1.2)$$

где:  $P_y$  – сила инерции, действующая на частицу породы;  $F_{ш}$  – сила трения частицы породы о шнек.

Подставляя указанные значения и решая относительно  $n$ , второе условие выражается следующим образом:

$$Q_{\text{шн}} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{gf_{\text{ш}} \cos \alpha_r}{r}}, \quad (1.3)$$

где,  $\alpha_r = \frac{\text{arctg} S_{\text{ш}}}{2\pi r}$  – угол подъема винтовой линии у бурильной трубы с радиусом  $r$ ;  $S_{\text{ш}}$  – шаг винтовой линии шнека.

Третье условие, производительность породоразрушающего инструмента (долота), который является неотъемлемым параметром, определяющим эффективность работы шнекового транспортера  $Q_{\text{дол.}}$ , т.е. определяет количество разрушенной породы, поступающей на винтовую ленту шнека в единицу времени. В этой связи, для нормальной работы шнека в режиме вертикальной транспортировки породы должно соблюдаться следующее неравенство:

$$Q_{\text{шн}} \geq Q_{\text{дол}} , \quad (1.4)$$

$Q_{\text{шн}}$  , выражается формулой:

$$Q_{\text{ш}} = \frac{\pi^2 R (R^2 - r^2) n K_1 \delta}{30 (\text{ctg} \alpha_{\text{ср}} + \text{ctg} \gamma_{\text{ср}})}, \quad (1.5)$$

где:  $\gamma_{\text{ср}}$  – среднее значение угла  $\gamma$ ;  $\alpha_{\text{ср}}$  – среднее значение угла подъема винтовой поверхности шнека.

$$Q_6 = \pi R^2 j v_6 K_p \delta , \quad (1.6)$$

где:  $j$  – коэффициент, учитывающий расширение скважины за счет разбуривания,  $j=1, 1,2$ ;  $K_p$  – коэффициент разрыхления породы,  $K_p = 1,2 \div 1,6$ ;  $\delta$  – объемный вес транспортируемой породы.

Подставляя значение составляющих производительностей шнека (1.5) и долота (1.6) и разрешения относительно  $v_6$ , получаем выражение:

$$v_6 \leq \frac{\pi(R^2 - r^2)K_1 n}{30RjK_p(ctg\alpha_{cp} + ctg\gamma_{cp})} , \quad (1.7)$$

В случае,  $Q_{ин} < Q_{дол}$ , в скважине образуется пробка в межленточном пространстве шнека, что приводит к резкому увеличению потребляемой мощности на вращение снаряда, вплоть до его прекращения, что приведет к аварийным ситуациям.

Вопросами разработки техники и технологии проходки шурфов и бурения скважин большого диаметра по валунно-галечниковым отложениям на протяжении многих лет занималась ЦНИГРИ. В частности, большого внимания уделили к решению этих проблем В.П. Кренделев, В.В. Махотин, В.М. Минаков, В.А. Орьев [71, 77, 78, 79]. Ими проведены многоэтапные исследования по влиянию на процесс бурения шурфоскважин по валунно-галечниковым отложениям гранулометрического состава пересекаемых скважиной горных пород, приведены результаты экспериментальных исследований работы различных конструкций породоразрушающих инструментов и даны рекомендации по их применению в зависимости от физико-механических свойств пород разведываемого участка [70, 71].

### **1.3. Обзор и анализ конструкций породоразрушающего инструмента для бурения горных выработок**

В технологическом комплексе работ современной строительной индустрии значительное распространение получает бурение скважин различного диаметра [3, 11, 23, 25, 54, 63, 76, 81, 91].

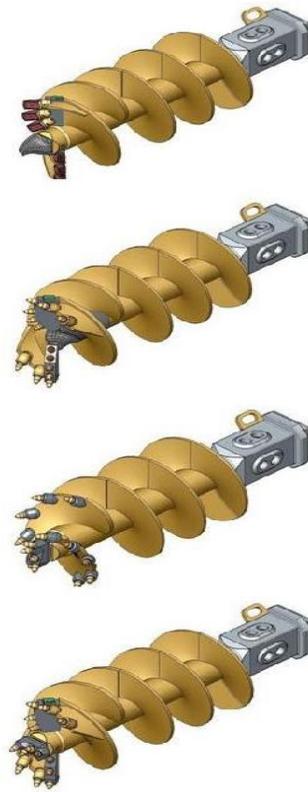
С этой тенденцией обусловлено появление большого разнообразия конструкций бурового оборудования, создаваемых и выпускаемых серийно специализированными мировыми предприятиями.

Показатель процесса бурения различных скважин зависит от эффективности разрушения и очищения породоразрушающим инструментом горного массива с забоя скважины [25, 63, 91].

Конструкции буровых инструментов, которыми оснащаются современные буровые установки в зависимости от горно-геологических условий отличаются большими техническими и технологическими разнообразиями.

В последние годы, на российский рынок буровой промышленности поступает значительное количество буровых инструментов и оборудования зарубежного производства. Среди зарубежных организаций, наибольший опыт по поставкам буровых инструментов и оборудования (строительных и геологоразведочных) имеют страны США, Япония, Италия и Германия. Ниже представлены продукции наиболее распространённых буровых инструментов, зарубежных организаций:

На *рис. 1.13.* показаны комплекты буровых короткошнековых инструментов фирм «КАТО» (Япония) которые достаточно широко применяются отечественными строительными организациями при сооружении скважин под сваи.



*Рис.1.13. Буровые шнеки фирмы «КАТО» (Япония).*

Германская Фирма «Klett» (рис. 1.14) выпускает и поставляет строительным и геологоразведочным организациям все необходимые оборудования и инструменты для бурения скважин.

Однако, как показала отечественная практика применение и внедрение в производство геологоразведочным и строительным организациям серийных зарубежных буровых породоразрушающих инструментов приводит к большим экономическим затратам. Это связано с дорогостоящим обслуживанием буровых инструментов при поломках и доставкой запасных частей. Отмеченные обстоятельства выдвигают актуальную научно-техническую задачу отечественным производителям по разработке высокопроизводительных породоразрушающих инструментов для бурения скважин по различным породам.



*Рис.1.14. Продукция германской фирмы Klett*

В этом направлении отечественными организациями совместно с научными центрами ВНИИБТ, ВИТР, ВИЭМС, ИГД им. А.А. Скочинского, РГГРУ им. Серго Орджоникидзе и др., с целью решения задачи - создания новых и совершенствования существующих конструкций буровых инструментов, стали серийно выпускать модернизированные аналоги зарубежных породоразрушающих инструментов различного варианта и технологий работ для вращательного бурения скважин по различным горно-геологическим и климатическим условиям (рис.1.15). Среди них широкое применение нашли лопастные и шнековые буры.

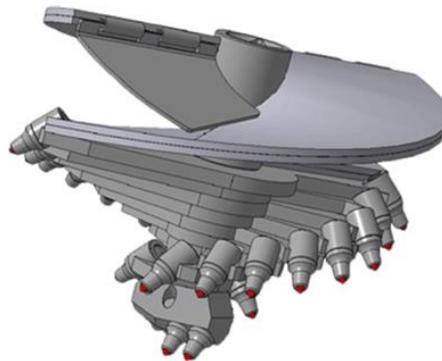
Лопастные буры, в основном оснащаются бурильно-крановыми машинами для циклического бурения скважин. Конструкция лопастных буров состоит из корпуса, в котором прикреплены режущие элементы (резцы) и забурник. Для увеличения срока режущих элементов наплавляют износостойкими материалами. Забурник в лопастных бурах, является ключевым элементом, который позволяет



*Рис. 1.15. Отечественная продукция буровых инструментов.*

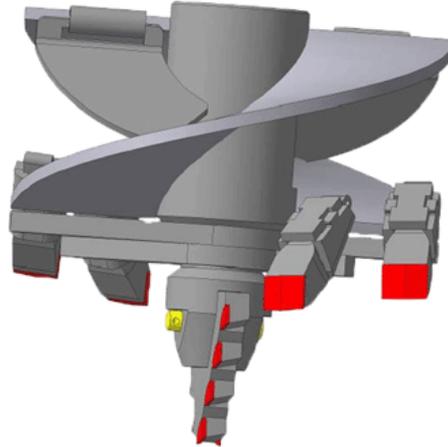
центрировать бур по оси скважины в процессе бурения по мягким, однородным породам. Среди лопастных породоразрушающих инструментов широкое применение в производстве нашли следующие виды:

Буры конусно-лопастные Б1-020406 (рис 1.16) предназначены для бурения скважин в грунтах IV–VII категорий по буримости.



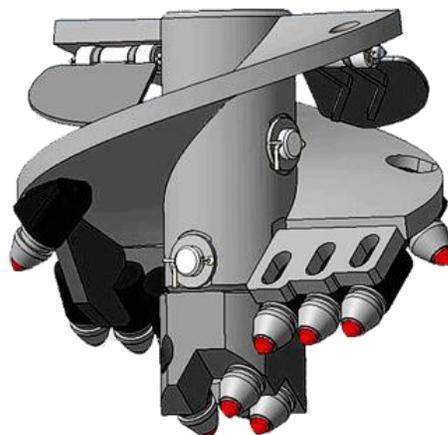
*Рис.1.16. Бур конусно-лопастной Б1-020406. Рекомендуется для буровых установок серии БКМ.*

Буры конусно-лопастные Б1-020606 (рис 1.17) предназначены для бурения скважин в грунтах I–V категорий по буримости. Наиболее эффективны при бурении мёрзлых глин и суглинков, а также мёрзлого торфа.



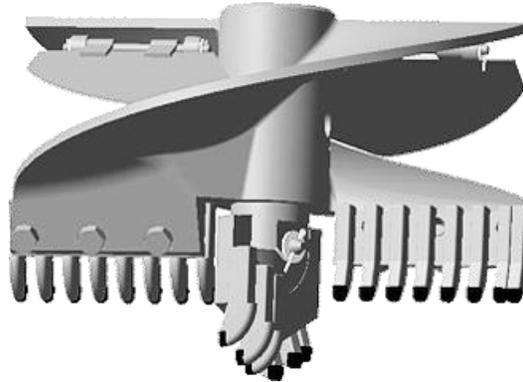
*Рис.1.17. Бур конусно-лопастной Б1-020606. Рекомендуется для буровых установок серии БКМ.*

Лопастные буры серии БК-01202 (рис.1.18) рекомендованы для бурения скважин в IV-VI категориях по буримости.



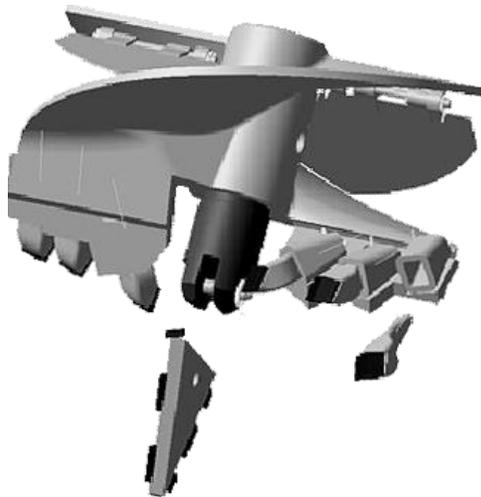
*Рис.1.18. Бур лопастной БК-01202.*

Буры серии Б-А (БК-01205) (рис.1.19) в качестве режущего инструмента используются резцы РП-3. Отличительная особенность данного бура это, конструкция накладки типа «гребенка», предназначены для грунтов IV—VI категорий.



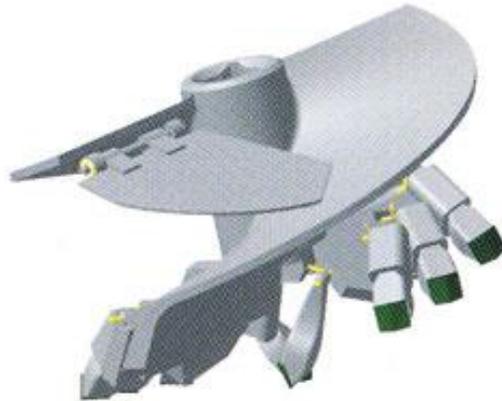
*Рис. 1.19. Бур БК-01205.*

Буры серии БЛ (БК-01203) (рис.1.20) рекомендуется в грунтах III—IV категорий. Входят в обязательный комплект бурильно-крановых машин (БКМ).



*Рис. 1.20. БУР серии БКМ БЛ (БК-01203). Со съёмными резцами (зима-лето).*

Буры серии БЛ-А (БК-01204) (рис.1.21) рекомендованы для работы в тяжелых грунтах IV—VI категорий. Отличительная особенность бура, это конструкция забурника, позволяющая разрушать твердые породы.



*Рис.1.21. Бур серии БКМ БЛ-А (БК-01204).*

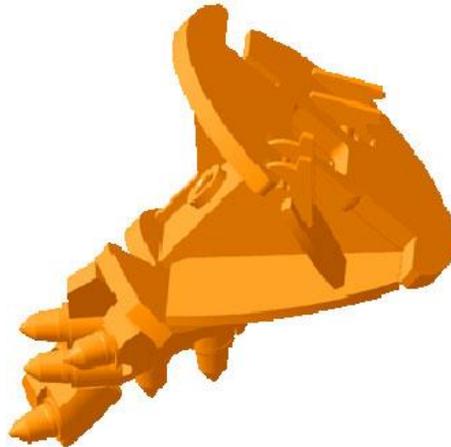
Буры скальные БТКК-Л (рис.1.22) с хвостовиками для шнеков. Применяются при бурении в грунтах от IV категории (с твердыми включениями от 20%, гравийно-галечных, щебенистых грунтах со скальными включениями). Оптимальное применение до диаметра 500, более - с расширителем.



*Рис.1.22. Бур серии БКМ БТКК-Л.*

В настоящий момент линейку скальных буров БТКК-Л предоставляет компания ООО «СДМ-ТехСервис».

Буры скальные легкие БТКС-Л (рис.1.23) - облегченный вариант буров БТКК. Для бурения грунтов IV-VI (части VII) категории.



*Рис. 1.23. Бур серии БКМ БТКС-Л.*

Буры специальные усиленные БТКП-Л имеют конструкцию корпуса из специальной стали. Находят применение в мерзлых грунтах любого типа, включая грунты с твердыми включениями до 20%.

Многолетний опыт эксплуатации различных буровых машин отечественного и импортного производства показывает, что область применения шнеков ограничивается техническими возможностями поставляемых породоразрушающих инструментов.

## Выводы

Анализ и обзор современных способов и проведенных научных исследований по проходке и бурению горных выработок позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Основным способом поисковой и детальной разведки россыпных месторождений полезных ископаемых до настоящего времени является проведение разведочных шурфов, которое осуществляется малопродуктивными способами буровзрывным, на «пожог», на «проморожку».

2. Существующая практика сооружения шурфов при разведке россыпных месторождений в условиях распространения многолетнемерзлых пород основана на устаревшей и малопродуктивной технологии с большой долей ручного труда (буровзрывной способ), что предопределяет низкие технико-экономические показатели и определенную опасность производства.

3. В плане повышения технико-экономических показателей перспективным является совершенствование техники и технологии разведочного бурения шурфо-скважин по россыпям в условиях многолетнемерзлых пород. Буровой способ проходки горных выработок (шурфов, шахтных стволов) и бурение скважин большого диаметра позволяют комплексно механизировать все производственные процессы, обеспечивают минимальную трудоемкость, дают большой экономический эффект и являются безопасным способом, так как исключено нахождение рабочих в горной выработке, в которой иногда может быть наличие вредных и ядовитых газов или возможность обрушения неустойчивых пород.

4. В настоящее время основными буровыми способами при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых являются ударно-канатное и вращательное способы сооружения скважин большого диаметра (шурфо-скважин).

5. Изучению техники и технологии проходки шурфов и бурения скважин большого диаметра по мягким и однородным породам посвящено достаточно много работ, но исследований в условиях распространения многолетнемерзлых пород на Северо-Востоке России крайне мало. В этом регионе основными проблемами разведочных работ являются: сезонность ведения шурфопроходческих работ, низкий уровень механизации тяжелых и трудоемких процессов, а также высокая стоимость работ.

6. Проведенные анализы и обзоры существующих конструкций породоразрушающих инструментов свидетельствует о том, что в настоящее время выпускаются серийные буровые инструменты разной конструкции и даны рекомендации по их применению. Но как показывает практика, большинство серийных породоразрушающих инструментов предназначаются для горно-геологических условий, отличных от условий многолетнемерзлых пород, которые по последним становятся неэффективными и практически невозможно подобрать рациональную конструкцию и технологию бурения скважин, в зависимости от физико-механических свойств мерзлых горных пород.

7. В этом плане несовершенство конструкций буровых инструментов, трудоемкость горно-разведочных работ, высокая себестоимость разведочных работ существующими способами и технологиями выдвигают актуальную научно-техническую задачу по совершенствованию способов и технологий разведки россыпных месторождений по многолетнемерзлым породам, которые позволят повысить производительность, безопасность рабочего персонала и снизить себестоимость.

8. Для достижения поставленной цели необходимо проведение ряда теоретических и экспериментальных исследований по бурению скважин в условиях криолитозоны, в частности по процессу эффективного разрушения, транспортирования мерзлой породы на забое и отбора пробы из скважины.

## ГЛАВА 2.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ ШУРФО-СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

#### 2.1. Краткие сведения о многолетней мерзлоте (криолитозоне)

Многолетнемерзлые горные породы (криолитозона) — это верхний слой земной коры, содержащий породы, находящиеся в непрерывно мерзлом состоянии длительное время, залегающие на некоторой глубине от поверхности и имеющие отрицательную температуру [27, 72, 99].

Общая площадь криолитозоны составляет около 25% всей суши земного шара: в Российской Федерации она занимает 10 млн. км<sup>2</sup> или около 65% территории страны (рис.2.1).



*Рис.2.1. Распространение ММП на территории РФ.*

Характерным признаком дисперсных многолетнемерзлых и мерзлых пород является содержание в них льда, цементирующего минеральные и составные части горных пород, а также льда в виде включений (прослойки, линзы, жилы). Схематичное строение криолитозоны можно представить в

следующем виде (рис. 2.2) [27, 72].

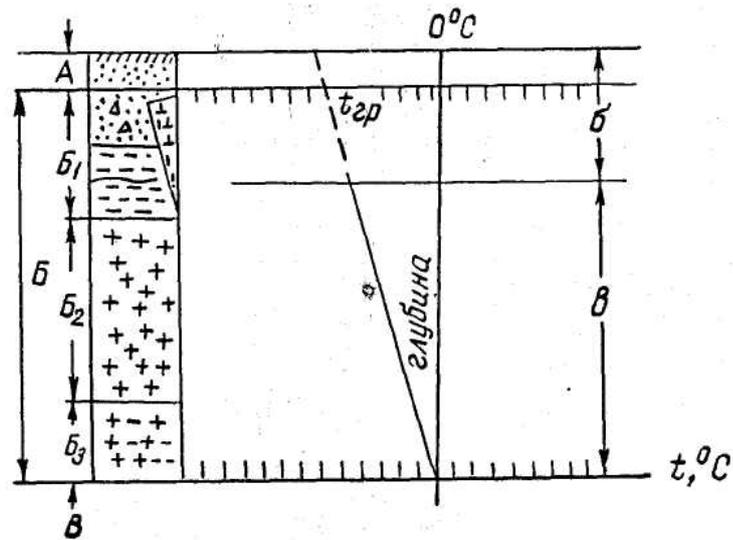


Рис. 2.2. Схематичное строение криолитозоны.

В верхней части криолитозоны температура пород (грунтов) испытывает годовые (сезонные) колебания в соответствии с изменением величины поступления солнечного тепла (слой  $\sigma$ ). Мощность слоя годовых изменений температуры составляет обычно 10—30 м. В самой верхней части криолитозоны выделяется деятельный слой (сезонного оттаивания мощностью 2—3 м), определяемый величиной летнего оттаивания грунтов (рис.2.2, слой А).

Мощность непосредственно мерзлой толщи (рис.2.2, слой В) определяется геокриологическими условиями конкретного района.

Проведенные исследования [27, 72, 80] вертикального строения разреза криолитозоны показывают, что кроме температурных зон в ней можно выделить несколько разновидностей мерзлых (криогенных) толщ по агрегатному состоянию воды в горных породах (рис.2.2, слой Б). В верхней части разреза (рис.2.2, слой Б<sub>1</sub>) обычно залегают рыхлые отложения, сцементированные льдом, в них встречаются крупные массивы, в которых чистый лед иногда составляет до 70% объема, слой Б<sub>1</sub> — обычно представлен дисперсными многолетнемерзлыми горными породами.

Глубже лежат скальные, плотные породы, разрушенные лишь на контакте

с рыхлыми мерзлыми дисперсными или крупнообломочными отложениями.

Скальные породы часто не имеют *трещиноватости* и поэтому не содержат видимых включений льда, так что при промерзании их физико-механические свойства практически не меняются. Такие горные породы принято называть морозными (*рис.2.2*, слой Б<sub>2</sub>). Самые нижние горизонты скального массива криолитозоны имеют почти всегда повышенную трещиноватость, при этом в некоторых регионах трещины заполнены не льдом, а солеными рассолами температура замерзания которых намного ниже 0°C (*рис.2.2*, слой Б<sub>3</sub>). Такие низкотемпературные подземные воды называют криопэгами.

Криолитозона подстилается толщей немерзлых (талых) горных пород, имеющих положительную температуру (слой В, *рис.2.2*).

Приведенное трехслойное строение (*рис.2.2*) криолитозоны является обобщенным, чаще встречаются разрезы в которых есть только многолетнемерзлые и морозные горные породы, или только многолетнемерзлые или только морозные.

Учитывая неравномерность площадного развития многолетней мерзлоты по всей территории распространения, условно принято выделять сплошную, непрерывистую и островную криолитозону [27].

Мерзлое состояние горных пород является основным фактором, влияющим на условия разработки месторождений полезных ископаемых (оказывает положительные и отрицательные влияния):

К положительным условиям, облегчающим проведение горно-разведочных выработок, можно отнести следующее: повышенную несущую способность и устойчивость мерзлых пород; отсутствие притоков воды в горные выработки в пределах мерзлой толщи;

К отрицательным условиям, осложняющим проведение и эксплуатацию горно-разведочных выработок в условиях многолетней мерзлоты, относятся: низкие температуры в выработках, которые затрудняют процесс проветривания; резкое снижение устойчивости пород в летний период; возможность смерзания

полезного ископаемого в буровом инструменте; при разработке сильнольдистых россыпей в летний период затрудняется доставка и транспортировка оттаявшей горной массы.

Россыпные месторождения зоны многолетней мерзлоты имеют существенное отличие от аналогов, расположенных в умеренном климате. Специфика их обусловлена комплексным взаимодействием горно-геологических, горнотехнических и климатических факторов [95].

Отмеченные особенности горно-геологических и климатических особенностей многолетнемерзлых пород (рассредоточенность объектов на значительной территории, отдаленность объектов друг от друга, сезонность ведения горных работ, низкий уровень механизации тяжелых и трудоемких процессов, недостаточный уровень обеспечения горной техникой, высокую стоимость труда и т.д.), определяют особые требования к технике и технологии разведочных работ.

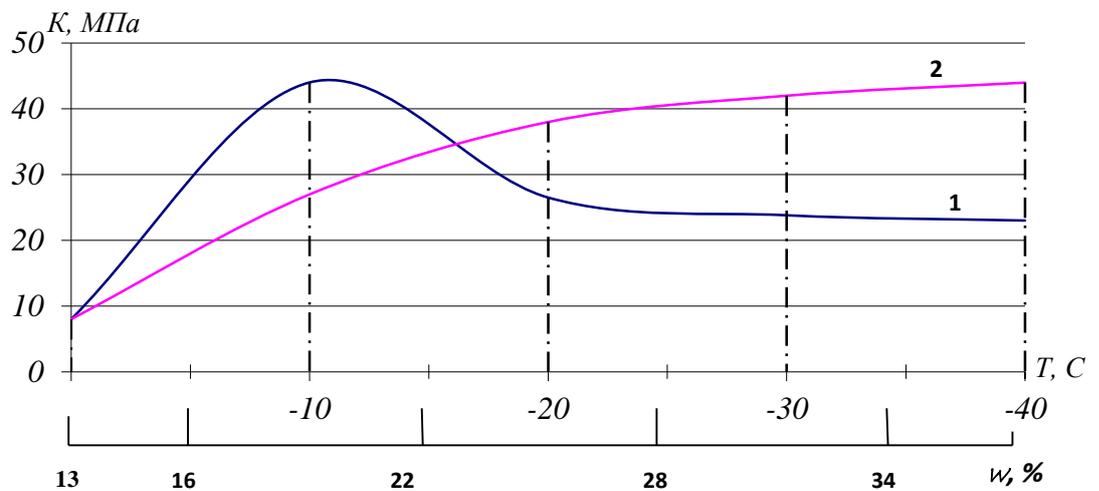
## **2.2. Физико-механические свойства многолетнемерзлых пород**

Добыча полезных ископаемых на Северо-Востоке России связана с выполнением большого объема геологоразведочных и горнопроходческих работ, которые проводятся в условиях распространения многолетнемерзлых пород. И главными влияющими факторами на выбор и обоснование технико-технологических решений являются - особенности строения многолетнемерзлых пород и их физико-механические свойства [7, 26, 71, 72, 76, 77, 78, 79, 82, 105].

Основными определяющими компонентами многолетнемерзлых пород являются - лед, вода незамерзшая и (или) прочносвязанная, твердые минеральные частицы, а также пары и газы, которые в зависимости от формы и размеров оказывают существенное влияние на физико-механические свойства многолетнемерзлых пород [102].

Лёд – является основным компонентом мёрзлых грунтов. Выделяют 1,2,3 модификации льда. В криолитозоне, содержится лёд 1-й модификации, имеющий высокую анизотропию свойств, существующий при температуре до  $-100^{\circ}\text{C}$ , характеризующийся тем что, механические свойства кристаллов льда, в перпендикулярном направлении оси подчиняются законам реологической механики, в параллельном направлении, после упругих деформаций наступает хрупкое разрушение льда [102].

При значительной влажности, разрушение мерзлых пород происходит по прослойкам льда, которые по прочности идентичны льду (рис. 2.3, кривая 1). При этом, жесткий скелет горной породы с прослойками льда создает прочный монолитный мерзлый грунт с устойчивым сопротивлением к разрушению. Дальнейшее понижение температуры мерзлых пород приводит к возрастанию прочности кристаллической решетки льда и зацементированию скелета горных пород (рис. 2.3., кривая 2) [87, 104].

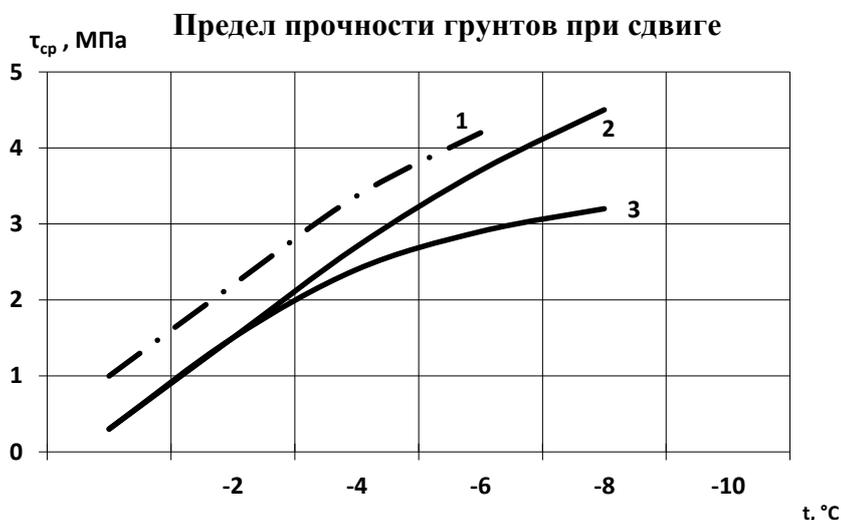


**Рис.2.3.** Зависимость сопротивления мерзлых пород резанию ( $K$ ) от температуры и влажности: 1 - суглинистый массив; 2 – супесь.

Особенностью бурения скважин в мерзлых породах является их чувствительность к изменению теплового режима. Даже малые колебания температуры в скважине значительно меняют прочностные свойства мерзлых

пород. Это обусловлено возникновением в порах мерзлых пород переходных процессов, в котором с понижением температуры часть содержащейся воды переходит из твердого состояния в жидкое. Дальнейшее изменение температуры приводит к смене состава воды в мерзлой породе и увеличению количества льда за счет воссоединения молекул чистой воды к кристаллам льда. Такое явление повышает концентрацию солей, содержащихся в незамерзшей воде мерзлого грунта и снижает температуру ее замерзания. Понижение температуры незамерзшей воды приводит к изменению физико-механических свойств горных пород: увеличивается их вязкость, а при дальнейшем повышении повышается пластичность и появляется склонность к оползанию, которые при достижении положительной температуры в скважине полностью теряют связность пород [7, 57, 77, 78, 87, 104].

На *рис. 2.4.* приведены результаты предела прочности мерзлых грунтов при сдвиге в зависимости от температуры, полученные М.Л. Шейковым лабораторным путем [103].



*Рис. 2.4.* Предел прочности мерзлых грунтов при сдвиге в зависимости от температуры: 1 – лед; 2 – супесь; 3 – глина.

Кривые (*рис.2.4*) показывают, что с понижением температуры показатели прочности мерзлых грунтов существенно возрастают. Это объясняется содержанием в структуре мерзлых пород ледяных связей. При этом,

сопротивление мерзлых пород на срез, больше в 3 раза чем прочность на растяжение, что является одним из основным фактором, которое необходимо учитывать при создании и совершенствовании породоразрушающих инструментов, которые обеспечивали бы максимальные деформации отрыва в процессе его взаимодействия с мерзлыми породами.

Особенности физико-механических свойств мерзлых горных пород особенно ярко выражаются в верхних слоях (первые 10 м.) геологических разрезов месторождений полезных ископаемых, представленных чаще сыпучими, слабосвязанными песчано-глинистыми, гравийно-валунистыми отложениями повышенной влажности (льдистости).

Данные исследования по воздействию физико-механических свойств мерзлых пород с точки зрения бурения различных скважин получены многолетними трудами разных научно-исследовательских институтов. И многие исследователи в своих работах делают заключение о том, что «при сохранении естественного температурного режима многолетнемерзлых пород, по своей прочности они не отличаются от обычных пород средней крепости» [6, 7, 26, 77, 87]. В практике сооружения скважин в условиях криолитозоны, изменение температуры невозможно избежать. Растепление мерзлых пород, является основной причиной снижения представительности пробы и сопутствует возникновению различных осложнений и аварий в процессе бурения.

При бурении скважин большого диаметра (шурфоскважин) в условиях криолитозоны, в основном исследовалось ударно-канатное бурение. В этом направлении выявлены принципы работы бурового инструмента, разработаны технологии бурения и даны рекомендации по их применению в определенных горно-геологических условиях [12, 16, 21, 24, 65, 70, 71]. Вращательный же способ бурения шурфоскважин при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых в условиях криолитозоны недостаточно изучен и требует дальнейшего усовершенствования существующей техники и технологии.

### 2.3. Разработка конструкции опережающего долота для бурения скважин в условиях мерзлых пород

При бурении скважин шнековым способом, наивысшие скорости можно достичь только при достижении между интенсивностью разрушения (резания) горных пород на забое и транспортирования выбуренной породы на поверхность. Эффективность разрушения мерзлых пород на забое скважины и очистка забоя скважины от бурового шлама прямо зависят от типа и конструкции породоразрушающего инструмента [5, 6, 8-26].

На выбор параметров породоразрушающего инструмента решающее влияние оказывают физико-механические свойства многолетнемерзлых пород [3, 7, 64, 70, 76].

Под параметрами породоразрушающего инструмента понимаются такие конструктивные особенности как: геометрия режущих элементов (размеры, форма резцов и корпуса) схема расположения резцов на буре, а также транспортирующие лопасти бура [5, 6, 23, 30, 64].

На эффективность разрушения и очистки забоя скважины существенное влияние оказывают форма и размеры резцов породоразрушающего инструмента [5, 23, 30]. Рациональный выбор формы режущей части бурового инструмента, обеспечивающей эффективное разрушение, особенно необходимо учитывать при создании новых типов буровых режущих инструментов.

Бугаев В.Г. в своей диссертационной работе «Исследование процесса, разработка конструкции режущего инструмента и обоснование режимов вращательного бурения скважин» [23] отмечает, что особое влияние на скорость и энергоемкость процесса бурения, а также на стойкость и прочность породоразрушающих инструментов оказывают углы заточки режущих элементов, характеризующиеся углами задними  $\alpha$ , передними  $\beta$ , заострения  $\delta$  и резания  $\gamma$  и связаны между собой следующим образом:

$$\begin{cases} \alpha + \delta \pm \beta = 90^\circ \\ \gamma = \alpha + \delta \end{cases} \quad (2.2)$$

- угол заострения  $\delta$ , устанавливается исходя из технико-технологических требований сооружения скважин. В практике принято его считать равным  $70^\circ - 90^\circ$ .

- на износостойкость и прочность режущих элементов резцов особое влияние оказывает - передний угол  $\beta$ . Передние углы бывают: нулевые  $\beta=0$ ; положительные и отрицательные. При бурении пород средней крепости (IV-VII) рекомендуется применять передний отрицательный угол равный  $\beta=-15^\circ$ , а по мягким породам нулевой  $\beta = 0$  или даже положительный до  $+15^\circ$ .

- задний угол  $\alpha$ , угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания. Служит для уменьшения трения между задней поверхностью резца и деталью. При конструировании резцов породоразрушающего инструмента, обычно принимается равным  $20^\circ \div 30^\circ$ , при этом необходимо соблюдать следующее условие: не рекомендуются слишком увеличивать задний угол резцов при бурении крепких пород, поскольку это приводит к ослаблению прочности режущих кромок и их поломкам.

- Основным углом режущего элемента является угол резания  $\gamma$ , который в зависимости от категорий разрушаемых пород устанавливается в пределах от  $60^\circ$  до  $115^\circ$ . При бурении талых грунтов и мягких пород, более оптимальными считаются углы резания равные  $50^\circ \div 70^\circ$ . При бурении прочных мерзлых пород с твердыми включениями, рекомендуется угол резания от  $70^\circ$  до  $115^\circ$ . Увеличение угла резания от заданных значений, приводит к возрастанию сопротивления мерзлых пород резанию.

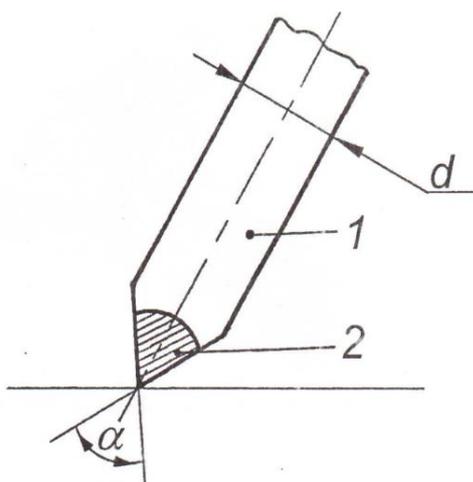
Также важную роль, при конструировании режущего элемента породоразрушающего инструмента, оказывает форма передней грани [23, 30]. В настоящее время, известны следующие виды передних граней резцов: плоские, овальные, в виде клина, трапеции, призмы и др. В работах ряда авторов [2-6, 11-54, 76] проведены исследования и даны четкие рекомендации по влиянию форм передних граней резцов на процесс разрушения горных пород по различным горно-геологическим условиям.

На основании анализа литературных данных и практики бурения скважин, обзора проведенных научно-исследовательских работ, лучших отечественных и зарубежных конструкций буров, а также учитывая физико-механические свойства многолетнемерзлых пород, обоснованы следующие технико-технологические условия конструирования породоразрушающего инструмента для бурения скважин большого диаметра в условиях криолитозоны:

1. Центральный опережающий резец (забурник) в процессе бурения обеспечивает центрирование породоразрушающего инструмента в скважине. Но как показывает практика бурения скважин по мерзлым песчано-галечниковым отложениям, чем больше диаметр породоразрушающего инструмента, тем малоэффективна функция забурника. Это связано с тем, что при резании резцами, расположенными по концентрическим кругам с разной окружной скоростью  $v$ , понижающейся от периферии к центру забоя скважины достигая по оси центрального опережающего резца (забурника)  $v=0$  разрушение породы забурником происходит только за счет раздавливания под осевой нагрузкой  $C_{oc}$  без резания. Таким образом, центральная опережающая часть (забурник) превращается в своего рода опорный элемент вращающегося породоразрушающего инструмента и замедляет механическую скорость бурения  $V_{мех}$ . Исходя из этого, необходимо видоизменить конструкцию породоразрушающего инструмента, устранив опережающий центральный резец (забурник).

2. Резцы в породоразрушающем инструменте должны быть сменными и удобными для быстрой замены при износе или поломках.

3. Рациональная форма, размеры и геометрия режущих элементов породоразрушающего инструмента должны обеспечивать минимальные энергозатраты при разрушении мерзлых горных пород. В этом направлении наиболее эффективным является цилиндрическая остроконечная форма резца [76] (см. *рис.2.5*).



*Рис.2.5. Цилиндрическая форма резца. 1 – корпус резца; 2 – резец, армированный твердым сплавом.*

4. Необходим правильный выбор оптимального угла резания  $\gamma$  каждого резца. Именно от эффективности угла резания, тем насколько отделяется грунт от массива зависят основные показатели бурения.

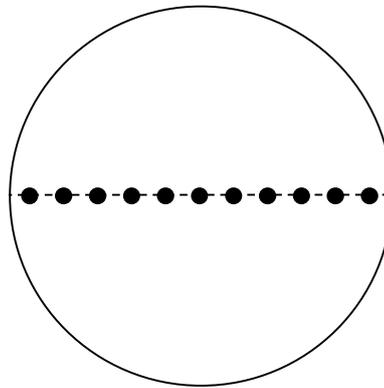
Вопросами влияния оптимального угла резания  $\gamma$  при бурении скважин в мерзлых породах занималось не малое количество исследователей [2-6, 11-54]. В настоящее время не даны четкие рекомендации по выбору оптимального угла резания и с учетом заключений авторов, оптимальным считается угол от  $30^\circ$  до  $40^\circ$ .

5. Для бурения скважин в сложных горно-геологических условиях должен применяться породоразрушающий инструмент со специальными резцами. Расположение резцов по высоте должно обеспечивать эффективное разрушение горной породы на забое. При этом, резцы должны иметь минимальную и достаточную площадь контакта с горным массивом: минимальную - для уменьшения выделяемой теплоты и достаточную - для обеспечения объемного разрушения мерзлых пород на забое скважины [76].

Главным, осложняющим фактором сооружения скважин в условиях многолетнемерзлых пород является образование тепла на забое в процессе резания мерзлой горной породы.

Тепловое явление, возникающее при разрушении мерзлой горной породы объясняется тем, что в процессе бурения, при контакте резцов с горным массивом в области рабочей поверхности повышается интенсивность нагрева режущих элементов и в образовавшееся тепло переходит механическая работа, затраченная резцами породоразрушающего инструмента при резании слоя горного массива на забое скважины [87].

Для полноты процесса распределения температуры на режущей поверхности породоразрушающего инструмента, рассмотрим резание породы вращательным движением бура. При этом резцы бура распределены равномерно в один ряд вдоль его диаметра (рис.2.6).



*Рис.2.6. Распределение резцов на буре.*

При резании горной породы породоразрушающим инструментом с некоторой угловой скоростью на его режущей поверхности происходит нагревание. При этом часть работы трения идет на нагревание поверхности бура  $Q$ , а некоторая часть идет на резание породы  $A_a$ . Если бы работа сил трения полностью преобразовывалась только в тепло, тогда была бы линейная зависимость распределения температуры на поверхности бура. То есть температура рабочей поверхности, начиная с некоторого значения в центральной области бура, монотонно увеличивалась бы с расстоянием при перемещении к периферийной области. Учет той части работы силы трения, которая идет на резание породы, приводит к немонотонной зависимости распределения

температуры вдоль радиуса рабочей поверхности, а именно, распределение температуры имеет максимум в области между центром и периферией бура. Это связано с тем, что на периферийной части бура работа на резание породы увеличивается пропорционально площади.

При резании работа прямо пропорциональна объему разрушаемой породы. Коэффициент разрушаемости определяется как отношение объема разрушаемой породы на затраченную работу  $a = \Delta V / \Delta A$  [64].

Таким образом, для элементарной работы силы трения имеем выражения:

$$dA = F_{tr} dl = dQ + A_a = dQ + \frac{1}{a} dV, \quad (2.1)$$

где  $dl$  – перемещение резца за время  $dt$ ,  $dQ$  – теплота, выделяемая при трении,  $\frac{dV}{a}$  – работа, затрачиваемая на дробление породы пропорциональна объему разрушаемой породы,  $a$  – коэффициент пропорциональности.

Для решения задачи делаем следующие приближения: так как основной рабочей поверхностью является поверхность резца, будем учитывать только ту теплоту, которая выделяется в объеме резца, и пренебрегаем количеством теплоты, уходящим вместе с разрушенной породой. Уравнение (2.1) делим на  $dt$  и получаем

$$mc \frac{dT}{dt} = \mu N \frac{dl}{dt} - \frac{h_e r^2}{a} \frac{d\varphi}{dt}, \quad (2.2)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения,  $N$  – сила нормального давления, она приблизительно равна  $F_0$ ,  $h_e$  – эффективная глубина резания,  $r$  – расстояние от центра рабочей поверхности бура до резца,  $m$  – масса резца,  $c$  – его удельная теплоемкость.

$v = \frac{dl}{dt}$  – линейная скорость резца, которая равна  $v = \omega r$ , где  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$  – угловая скорость бура.

Подставляя значение линейной скорости и угловой скорости в (2.2) получаем:

$$mC \frac{dT}{dr} \omega r = \mu N \omega r - \frac{h_e}{a} r^2 \omega, \quad (2.3)$$

То есть обыкновенное линейное дифференциальное уравнение первого порядка относительно  $T(r)$ .

Интегрируя уравнение (2.3),

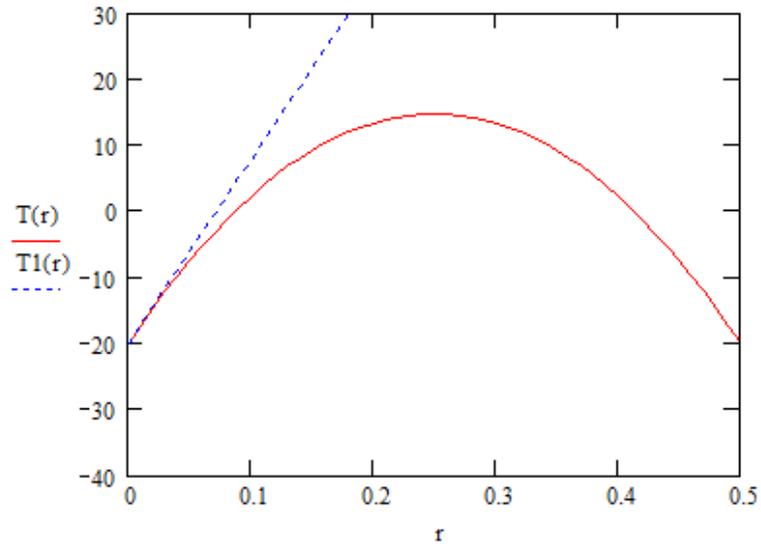
$$\int dT = \int \frac{\mu N}{mC} dr - \int \frac{h_e}{mCa} r dr,$$

Получаем распределение температуры на рабочей поверхности

$$T(r) = \frac{\mu N}{mC} r - \frac{h_e}{2mCa} r^2 + const. \quad (2.4)$$

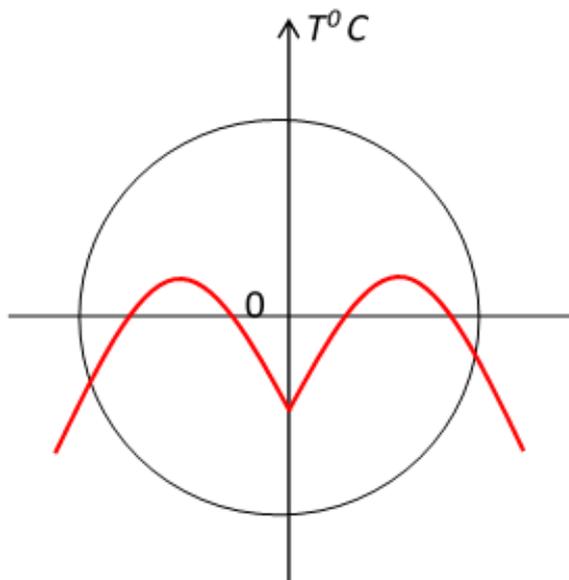
Константу интегрирования определяем из граничного условия. Например, в средней части бура температура имеет некоторую отрицательную величину и т.д.

На *рис 2.7* представлено распределение температуры согласно (2.4) вдоль радиуса рабочей поверхности в зависимости от радиуса расположения резцов  $T=f(r)$  (сплошная линия) при заданных значениях параметров (коэффициент трения  $\mu = 0,2$ , сила нормального давления 2500 Н, удельная теплоемкость резца 900 Дж/кг, эффективная глубина резания 0,01 м, коэффициент резания 0,00005, температура в центре бура  $-20^{\circ}\text{C}$ ). Пунктирной линией изображено линейное распределение, при котором не учитывается работа, затрачиваемая на разрушение породы.



**Рис.2.7** Зависимость выделяемой теплоты от радиуса расположения резцов  $T=f(r)$

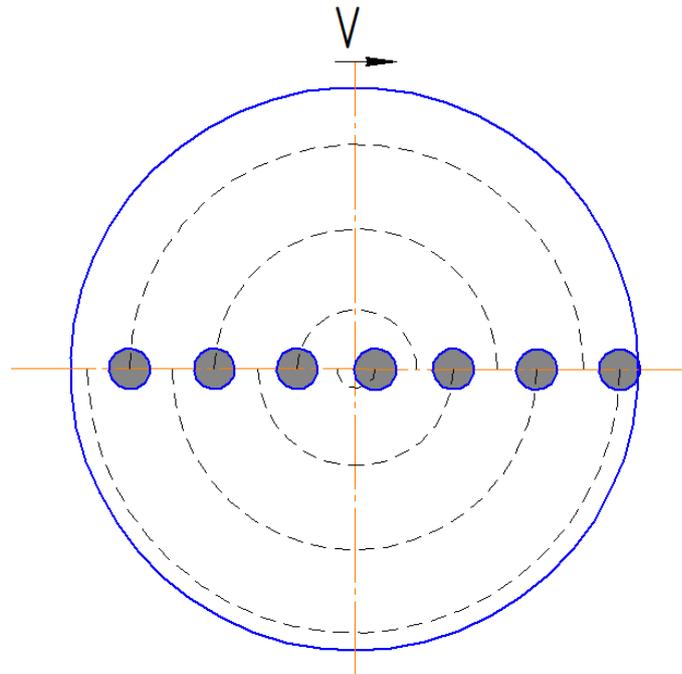
Как видно из *рис. 2.7* максимальная температура приходится в области между центром и периферией породоразрушающего инструмента (*рис.2.8*).



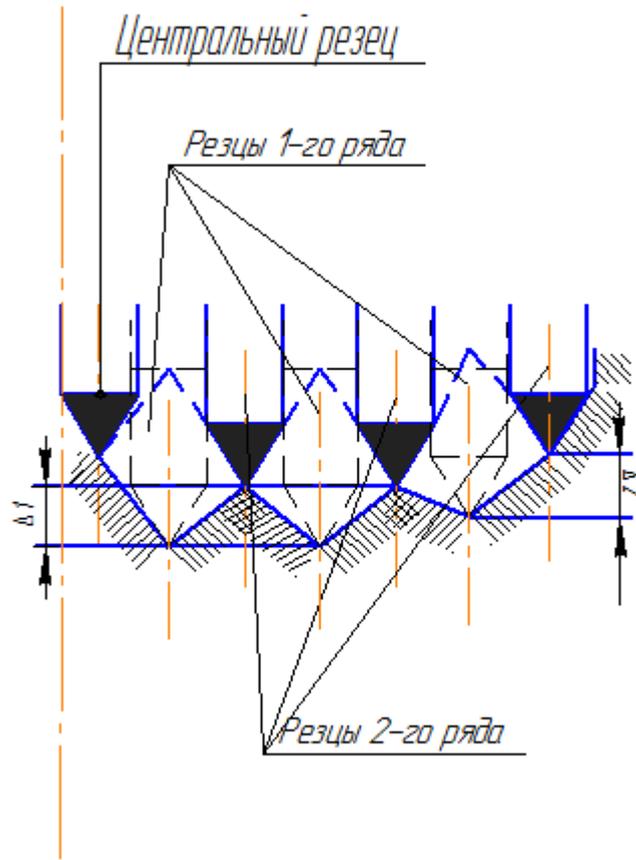
**Рис.2.8.** Образование максимальной температуры в буре.

В этой области образовавшаяся положительная температура при резании интенсифицирует растепление мерзлых пород, которые с последующим примерзанием и смерзанием к поверхности бура и стенкам скважины приводят

к снижению эффективности работы породоразрушающего инструмента и шнекового транспортера. В области рабочей поверхности породоразрушающего инструмента с максимальной положительной температурой, уменьшение выделяемой теплоты можно достичь путем конструирования специального двухлопастного породоразрушающего инструмента, в котором резцы на лопастях расположены по одному ряду с разными высотами (рис.2.9), при этом резцы одного ряда по concentрическим кругам при вращении проходят между резцами второго ряда (рис.2.10), в этом случае обеспечивается объемное разрушение мерзлой породы на забое, с минимизацией выделяемой температуры.

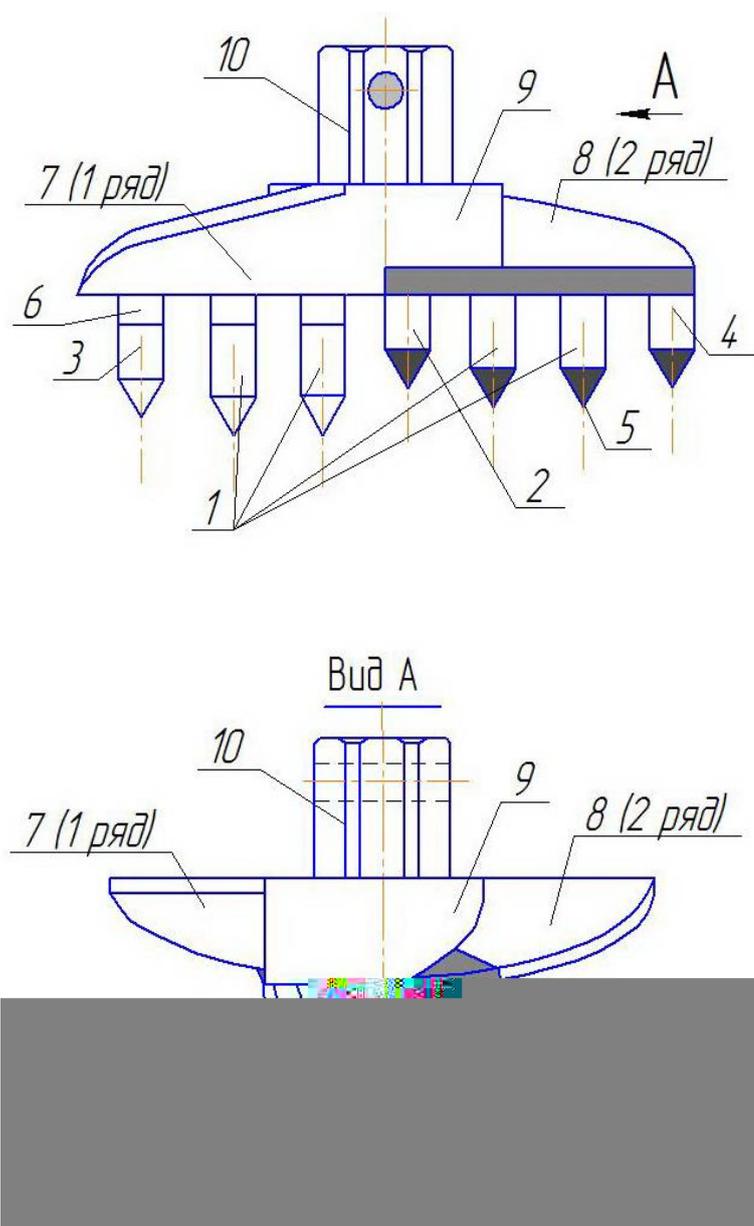


**Рис.2.9.** Схема расположения резцов.



**Рис.2.10.** Разная высота резцов породоразрушающего инструмента.

Ступенчатое расположение и разные рабочие углы резцов усовершенствованной конструкции двухлопастного опережающего долота (рис.2.11) при бурении скважин обеспечат эффективное объемное разрушение мерзлых пород с наименьшим процессом теплообразования. Устранение центрального опережающего резца позволяет повысить механическую скорость  $V_{мех}$  за счет ликвидации эффекта центральной опорной точки по оси долота с нулевой окружной скоростью  $v=0$ .



**Рис.2.11.** Усовершенствованный вид породоразрушающего инструмента.  
 Заявка на изобретение №2014130654 от 24.07.2014г. 1,3 и 4 – рабочие резцы; 2 –  
 центральный резец; 5 – твердосплавные режущие пластины; 6 – дополнительная  
 вставка; 7 – первый ряд; 8 – второй ряд; 9 – корпус долота; 10 – хвостовик.

## 2.4. Совершенствование техники и технологии бурения шурфо-скважин в условиях криолитозоны

Бурение шурфо-скважин при разведке россыпных месторождений в условиях криолитозоны в основном осуществляется ударно-канатным способом [12, 16, 21, 55, 59, 64, 70]. Однако, учитывая низкое качество и достоверность геологической информации, получаемой при бурении скважин ударно-канатным способом, существует вероятность искажения данных разведваемого месторождения [97].

Ежегодное увеличение объемов геологоразведочных работ в районах распространения многолетнемерзлых пород, производимых самым распространенным, универсальным вращательным способом, являющимся одновременно сложным многофакторным процессом [21, 22, 25, 61, 62, 63, 90, 91, 98] требует нового подхода к выбору современной буровой техники и технологии.

Положительное решение этой задачи связано с усовершенствованием конструкции вращательного шнекового бурового снаряда, который позволит повысить производительность труда и обеспечить качественный отбор пробы.

Для совершенствования и оптимизации технологии шнекового способа бурения шурфо-скважин, исследованию подлежат те факторы, которые могут контролироваться и изменяться бурильщиком в процессе бурения. К ним относятся такие технические и технологические факторы, как: нагрузка на долото, частота вращения инструмента и удаление шлама из забоя скважины, а также спуско-подъемные операции, транспортировка и разгрузка выбуренной породы из снаряда.

Но для достижения поставленной цели необходимо оптимизировать такие известные критерии техники и технологии бурения скважин, как: максимум механической ( $V_{мех}$ ) и рейсовой ( $V_p$ ) скоростей бурения, максимум проходки породоразрушающим инструментом ( $H$ ), максимум сменной

производительности ( $I$ ), минимум стоимости одного метра бурения ( $C_m$ ) и повышение качества отбираемой пробы со скважин [101].

Оптимизация одного из вышеперечисленных критериев зависит от климатических, горно-геологических и технико-технологических факторов процесса бурения [28, 67, 68, 71, 74, 88, 89, 101, 106].

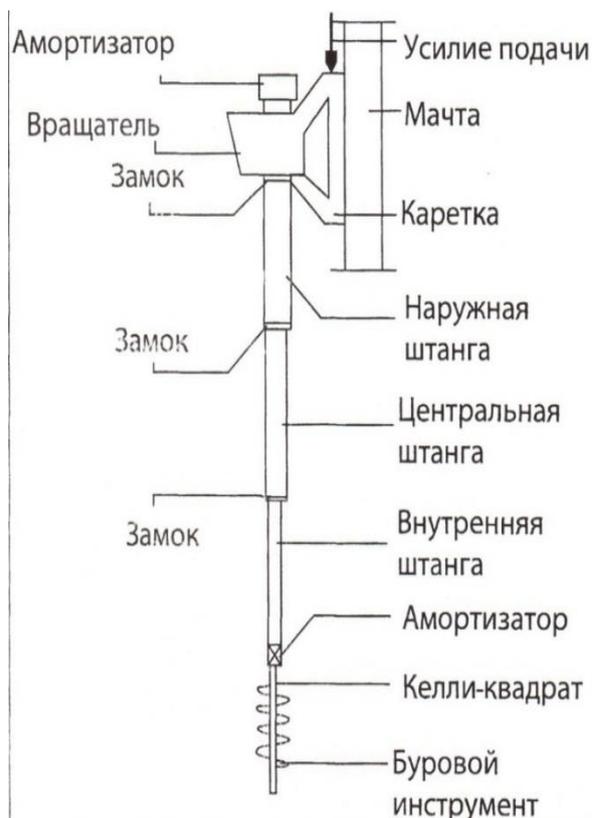
При бурении геологоразведочных скважин одним из универсальных критериев оптимизации процесса бурения является механическая скорость  $V_{мех}$ , зависящий от технологического режима бурения и физико-механических свойств горных пород.

В рамках данной работы, максимальные показатели механической скорости  $V_{мех}$  в процессе шнекового бурения предполагается получать при использовании современных буровых установок с широкими технико-технологическими возможностями и конструированием принципиально нового бурового шнекового снаряда.

В частности, для оптимизации таких технологических параметров, как нагрузка на долото ( $P$ ), частота вращения инструмента ( $n$ ), проходка за рейс ( $L_p$ ) и спуско-подъемные операции, рекомендуется применять в геологоразведке современную строительную буровую установку, оснащённую технологией келли-штанги [54] (рис 2.12).

Келли технология представляет собой 2 или 3 многозвенные келли-штанги, состоящие из одной внешней штанги. Процесс бурения заключается в следующем: вращающий момент и усилие подачи передаются от внешней штанги на внутренние штанги [54, 84, 99].

При использовании келли-технологии, благодаря плавным переходам внутренних штанг к внешним, исключается возможность потери выбуренной породы с бурового снаряда при подъемных операциях, тогда как в обычных буровых установках разъединения буровых штанг сопровождаются ударами, вызывающими высыпание разрушенной породы из бурового снаряда и снижение качества отбираемой пробы.



*Рис. 2.12. Конструкция келли-штанги.*

Для эффективной разгрузки из бурового снаряда выбуренной породы, необходимо, чтобы буровая установка была оснащена поворотной платформой. При такой конструкции буровой установки обеспечивается безопасность разгрузочных и вспомогательных работ, в которых существует вероятность попадания извлеченной пробы в скважину из бурового снаряда или при вспомогательных работах (замене породоразрушающего инструмента, устранении поломок бурового снаряда и т.д.), – попадания посторонних предметов в скважину.

Наряду с этими, основной целью разведки россыпных месторождений полезных ископаемых является качественный отбор пробы с определенного интервала. При бурении скважин вращательным способом эффективное транспортирование разрушенной породы и очистка забоя скважины

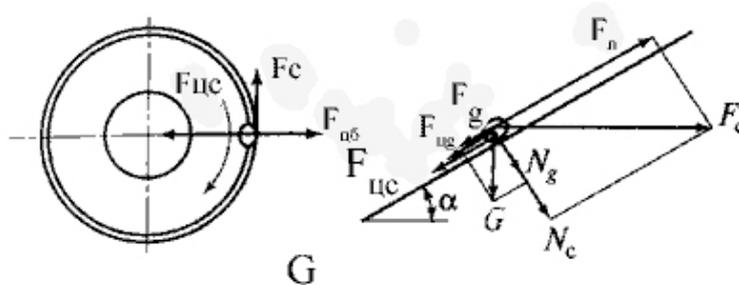
обеспечивается с помощью винтового транспортера (шнека), выполняющего одновременно функцию бурильной колонны [8, 9, 10, 19].

В процессе бурения шнековый рабочий орган совершает вращательно-поступательное движение и разрушенная порода, отделенная долотом, попадает на спираль шнека и начинает вращаться вместе с ним (рис.2.13). За счет вращательного движения на разрушенную породу действует центробежная сила, отбрасывающая ее от центра вращения шнека к стенкам скважины.

Центробежная сила прижимает породу к стенкам скважины и со стороны стенки скважины на породу действует реакция, равная центростремительной силе  $F_{цс} = mR\omega^2$ , где  $m$  – масса породы,  $\omega$  – частота вращения шнека,  $R$  – радиус шнека.

На породу также будет действовать сила тяжести  $F = mg$ .

При этом вращению породы вместе со шнеком будет препятствовать сила трения ее о стенки скважины  $F_c = f_c F_{цс}$ , где  $f_c$  – коэффициент трения породы о стенки скважины (порода по породе), вызванная центростремительной силой  $F_{цс}$  [90].



**Рис.2.13.** Схема действия сил, приводящих к подъему частицы породы из забоя скважины при шнековом бурении.

Практика бурения скважин с использованием шнекового транспортера показывает, что необходимая мощность крутящего момента буровой установки при бурении шурфоскважин по многолетнемерзлым породам значительно отличается от горных пород, которые проходятся в не мерзлом массиве.

Особенностью бурения скважин в условиях многолетнемерзлых пород является их низкая температура и чувствительность к нарушению теплового режима в скважине. Особенно такое явление проявляется при бурении глинодержащих пород, в котором малейшее колебание температуры приводит к возникновению ряда осложнений, связанные с очищением забоя и транспортированием шнеком разрушенной породы из скважины [103].

Такое осложнение объясняется возникновением дополнительных сил сопротивления (прилипания, смерзания), препятствующих движению разрушенной породы по поверхности реборды шнека, а также втиранием породы ребордой шнека в стенки скважины.

Как показывают практика и заключения исследователей, на удаление бурового шлама из забоя скважины затрачивается около 15 % осевого усилия и около 50 % энергии двигателя буровой установки расходуется на работу породоразрушающего инструмента. Все силы сопротивления поступательному перемещению каждого резца породоразрушающего инструмента, силы трения реборды шнека и разрушенной породы о стенки скважины, а также сила трения породы о поверхность шнека  $F_{ш}G$ , возрастающая с заполнением шнека, представляют общий суммарный момент сил  $M_{\Sigma}$  сопротивления на исполнительном органе и на валу привода вращателя буровой установки, который с увеличением диаметра бурового снаряда резко возрастает и требует дополнительной мощности и частоты вращения буровой установки.

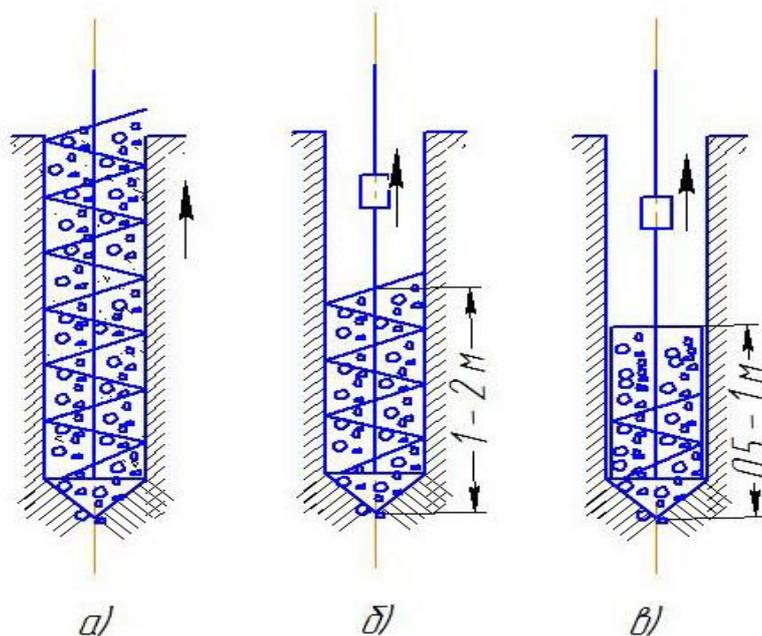
Для совершенствования вышеуказанных технико-технологических факторов и повышения механической скорости  $V_{мех}$  при бурении шурфоскважин в условиях многолетнемерзлых пород вращательным шнековым способом, необходимо разработать конструкцию специального бурового снаряда, который позволит исключить возможность прямого контакта реборды шнека со стенкой скважины, намного снизит действующий на шнек суммарный момент сил сопротивления поступающих пород, повысит производительность буровой установки и обеспечит качественный отбор разрушенной породы.

## 2.5. Разработка методики конструирования бурового снаряда для бурения шурфо-скважин в условиях криолитозоны

По результатам проведенных исследований [66, 93, 94, 95, 96, 100] и учитывая основные требования методики разведки россыпных месторождений [60, 97] сформулированы основные технико-технологические положения конструирования нового вида бурового снаряда большого диаметра:

1. Получение достоверных данных конкретного месторождения в значительной степени зависит от количества и состояния извлекаемых при бурении проб (валовое или технологическое опробование), а также от точности определения границ пластов пород и залежей полезных ископаемых и их мощности.
2. Диаметр скважины, в котором систематическая ошибка при подсчете среднего содержания полезного компонента не превышает 10%, составляет 500-600 мм.
3. Проба должна иметь минимальные нарушения структуры и измельчение. В процессе бурения скважин необходимо исключить «миграцию» полезного компонента, обеспечить полноту его извлечения по интервалам опробования.
4. Создаваемая техника должна иметь широкие возможности бурения скважин в зависимости от физико-механических свойств пород.
5. Техника и технология бурения должны обеспечивать поинтервальное опробование продуктивного пласта с величиной интервала от 0,2 до 1,0 м, что трудно достигается при бурении скважин традиционными шнеками (*рис. 2.14, а) и б)*). Применение рейсового (поинтервального) метода бурения (*рис.2.14, в)*), когда непрерывное транспортирование разрушенной породы шнеком на поверхность в процессе бурения не осуществляется, а после бурения ограниченного интервала накапливается в снаряде и только потом

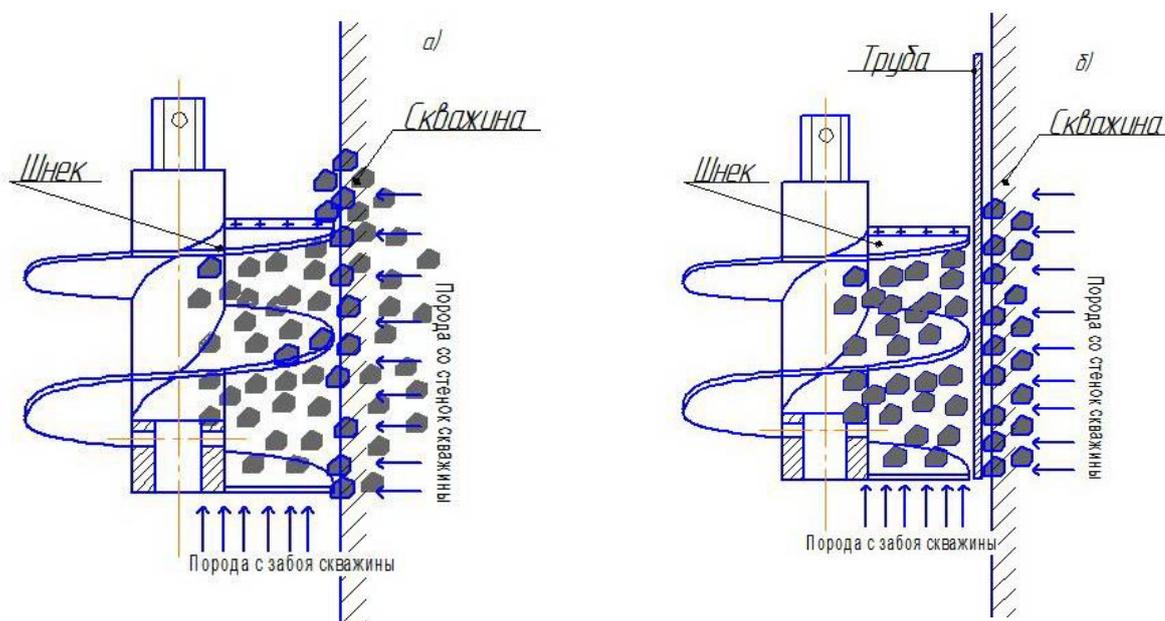
поднимается на поверхность, обеспечивается наивысшая представительность пробы по составу продуктивной толщи в данном интервале.



**Рис.2.14.** Способы отбора проб при шнековом бурении:  
 а) непрерывный вынос породы шнеком на поверхность;  
 б) вынос породы укороченным рейсом (шнеком 1-2 м.);  
 в) поинтервальный (0,5-1 м.) вынос породы.

6. В соответствии с главным требованием методики опробования **«Способы отбора и извлечения пробы из определенного интервала скважины должны исключить возможность ее обогащения или разубоживания породой других интервалов»**. При бурении обычными шнеками в открытом стволе скважины, это требование не в полной мере обеспечивается, когда транспортируемая с забоя порода частично затирается в стенки скважины и смешивается с породой попадающей со стенок скважины, снижая представительность пробы данного интервала (рис.2.15, а)). Для решения этой проблемы нами предложено совершенствование традиционной конструкции шнека и разработать буровой снаряд, в котором укороченный шнек (2-3 витка) будет располагаться внутри невращающейся трубы, что полностью исключает

разубоживание разрушенной породы, обеспечивая наилучшую представительность пробы (рис.2.15, б).



**Рис.2.15.** Схема работы шнекового транспортера в скважине при расположении шнека: внутри трубы (а); в открытом стволе скважины (б).

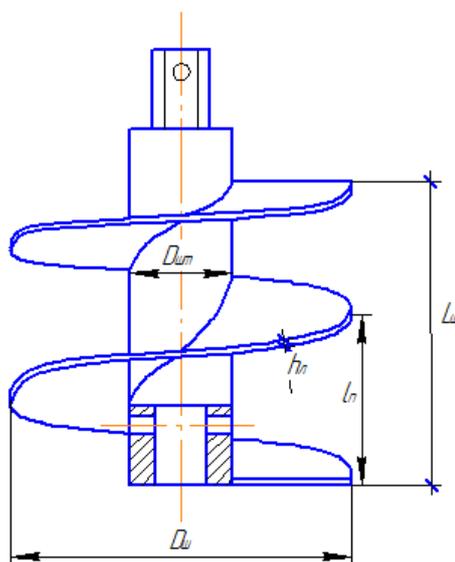
При конструировании бурового снаряда, в котором шнековый транспортер располагается внутри трубы соосно с буровым снарядом и с соответствующей высотой, диаметр шнекового транспортера и внутренний диаметр трубы исходят из следующего выражения:

$$D_{ш} \leq D_{т.}$$

Шнековый транспортер (рис.2.16) разрабатываемого бурового снаряда имеет ограниченную длину (2 - 3 витка). Такая конструкция создает своего рода пробоприемную камеру внутри трубы, повышает транспортирующую эффективность и благодаря укороченному шнеку намного снизится потребляемая мощность буровой установки.

При разработке бурового снаряда расстояние между ребрами шнека  $l_n$ , является одним из главных параметров. Именно от шага шнека в первую очередь

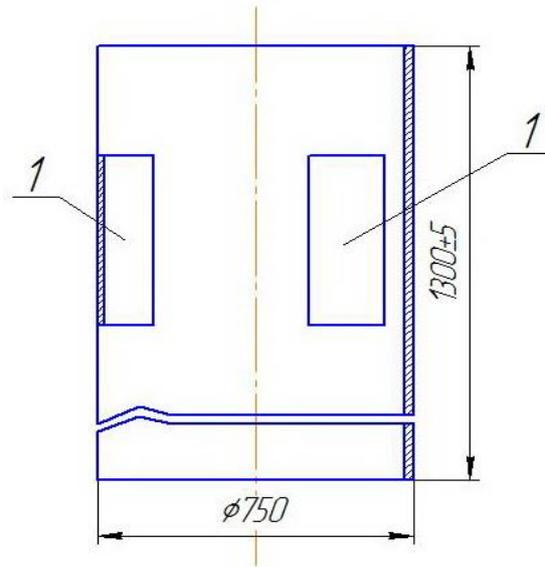
зависит производительность шнекового транспортера. При этом, при выборе шага шнека необходимо учитывать среднюю размерность встречаемых валунов конкретного месторождения. Соответственно, если верить в теорию, чем больше шаг шнека, тем беспрепятственно будут транспортироваться валуны крупных размеров. Но в практике все происходит наоборот, чем больше шаг шнека, тем снижается производительность транспортирования разрушенной породы. Исходя из этого, оптимальным шагом будет то расстояние между ребордами, в котором учтены средние размеры валунов месторождения, но не превышающие 300 мм.



**Рис.2.16.** Шнековый транспортер.

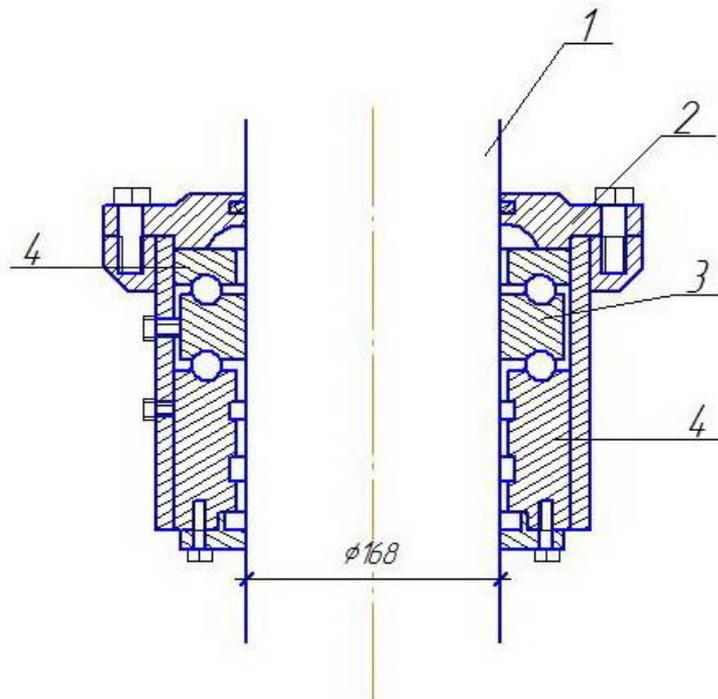
Шевченко А.Н. в своей диссертационной работе [103] экспериментально доказал оптимальную величину шага шнека. Главным критерием автора является то, что выбор шага между лопастями шнека, должен осуществляться строго в соответствии с горно-геологическими условиями пробуриваемого участка.

7. В трубе (рис.2.17) по бокам монтируются вспомогательные окна для извлечения оставшейся пробы из снаряда и обеспечения доступа к внутренним частям снаряда при осложнениях и аварийных ситуациях.



**Рис.2.17.** Труба. 1 – вспомогательные окна.

8. Труба монтируется в буровом снаряде на подшипниковой опоре (рис. 2.18).

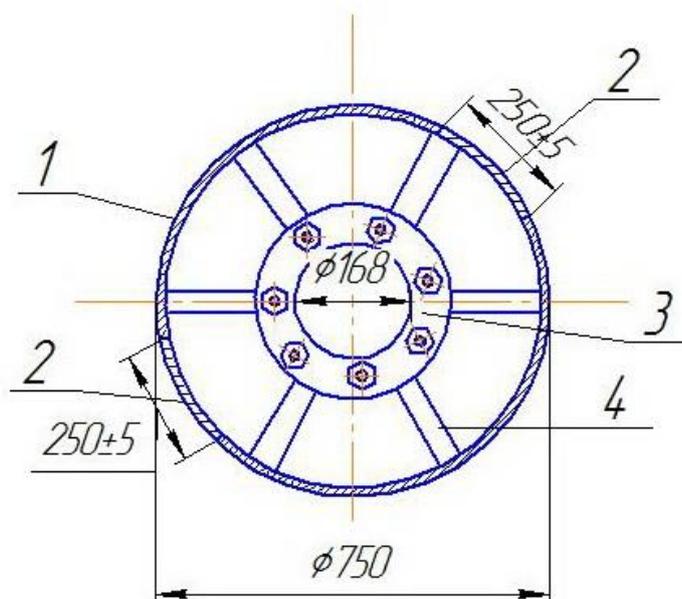


**Рис.2.18.** Подшипниковая опора.

1 – буровая штанга; 2 – закрытый корпус; 3 – упорные радиальные подшипники; 4 – упорный корпус трубы.

Благодаря подшипниковой опоре при внедрении бурового снаряда в горный массив, труба не будет вращаться, повышая транспортирующую способность шнекового транспортера и обеспечивая полное сохранение отбираемой пробы.

9. Соединение трубы с подшипниковой опорой осуществляется с помощью сварки стальных пластин по периметру трубы (рис.2.19).



**Рис.2.19.** Труба вид сверху. Соединение трубы с подшипниковой опорой. 1 – труба; 2 – вспомогательные локти; 3 – подшипниковая опора; 4 – стальные пластины.

10. Главным принципом повышения эффективности шнекового транспортера, является соответствие условий транспортирования разрушенной породы и механической скорости бурения ( $V_{мех}$ ), т.е. объем разрушаемой породы не должен превышать транспортирующую способность шнека. Если объем поступающей породы подаваемой на спираль шнека  $Q_б$  породоразрушающим инструментом будет превышать производительность шнека  $Q_{ш}$ , то в результате произойдет уплотнение и слипание породы на шнеке, образуя сальник и приводя к серьезным осложнениям.

11. Для управления процессом сооружения скважин большого диаметра на оптимальном режиме целесообразна буровая установка с гидроприводом и технологией келли-штанги с поворотной платформой, оснащенная измерительными приборами.

12. Буровая установка по диаметру и глубине скважины должна обеспечивать целесообразный объем разведочных работ. Однако, учитывая сложные физико-механические условия многолетне-мерзлых пород, где в основном залегают россыпные месторождения и неизбежное утяжеление установки при увеличении диаметра и глубины бурения, принято считать максимальным диаметр скважины 1,5 – 2 м. при глубине скважины до 25 м., что позволяет в среднем производить разведку 95% россыпных месторождений в основных районах страны.

13. Буровая техника должна быть мобильной, для преодоления бездорожий, болотистой местности.

14. Основные и вспомогательные операции (в связи с использованием тяжелого оборудования и инструментов) должны быть максимально механизированными.

15. Буровой снаряд должен быть простым в обслуживании, а все детали снаряда - породоразрушающий инструмент, шнек, колонковая труба и др., должны иметь облегченные для сборки и разборки конструкции.

## Выводы

1. Особенностью сооружения шурфо-скважин при разведке россыпных месторождений на Крайнем Севере страны в мерзлых породах является их чувствительность к изменению теплового режима (температурный фактор), процесс оттайки и примерзания пород в буровом инструменте. Усредненный геологический разрез россыпных месторождений Севера представлен песчано-глинистыми, валунно-галечными отложениями. Именно в таких сыпучих, слабосвязанных горных породах повышенной влажностью (льдистостью) особо резко проявляются специфические физико-механические и технологические свойства многолетнемерзлых пород, меняющиеся в соответствии со степенью нарушенности их естественного температурного режима.

2. Сложные физико-механические свойства многолетнемерзлых пород, оказывают характерное воздействие на весь процесс сооружения скважин. Стойкость и работоспособность породоразрушающих инструментов во многом зависят от абразивных, прочностных свойств многолетнемерзлых пород. Все это предъявляет особые требования к создаваемой технике и разрабатываемой технологии геологоразведочных работ.

3. Проведенные анализы и обзоры процесса сооружения скважин различного назначения, отечественными и зарубежными конструкциями буровых инструментов позволили разработать усовершенствованную конструкции породоразрушающего инструмента для бурения скважин по мерзлым породам.

4. Научно обоснована новая конструкция опережающего долота: ступенчатое расположение и разные высоты режущих элементов породоразрушающего инструмента обеспечат эффективное объемное разрушение мерзлых пород с наименьшим процессом теплообразования; устранение опережающего центрального резцы (забурника) породоразрушающего инструмента позволяет повысить механическую скорость

$V_{\text{мех}}$  вращательного бурения долотом большого диаметра за счет ликвидации эффекта центральной опорной точки с окружной скоростью  $\omega=0$ .

5. Выявлена зависимость выделяемой температуры при резании мерзлой породы вдоль радиуса рабочей поверхности от расстояния расположения резцов  $T=f(r)$  на породоразрушающем инструменте.

6. На разведке россыпных месторождений требования методики к объему проб, сложные специфические горно-геологические условия залегания россыпных месторождений, низкие промышленные содержания полезных компонентов, предъявляют особые требования к технике и технологии бурения шурфоскважин.

7. При шнековом бурении разведочных скважин в сложных горно-геологических условиях известные технические решения не в полной мере устраняют основные недостатки, которые связаны с большими затратами мощности буровой установки и снижением качества отбора пробы при транспортировании шнеком разрушенной породы по всему стволу скважины.

8. Принимая во внимание все известные осложнения и практические рекомендации применения шнекового бурения скважин в условиях мерзлых пород, разработана методика конструирования нового шнеко-аккумулирующего бурового снаряда, который позволяет производить поинтервальное бурение шурфо-скважин на россыпных месторождениях с содержанием валунов размерами не более 200 мм, решающего комплекс технических и технологических задач разведки: полностью исключает возможность затирания ребрами шнека разрушенной породы о стенки скважины что, обеспечивает качественный отбор пробы, снижает действующие на шнековый транспортёр суммарный момент сил сопротивления поступающих пород, что способствует значительному повышению производительность буровой установки.

### ГЛАВА 3.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ ШНЕКО-АККУМУЛИРУЮЩИМ СНАРЯДОМ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

### 3.1. Цели и задачи экспериментальных исследований

Целью экспериментальных исследований была проверка результатов теоретических исследований и определение работоспособности разработанной конструкции шнеко-аккумуляторного бурового снаряда.

Основными задачами, которые направлены на достижение поставленной цели были следующие:

1. Оценка работоспособности конструкции разработанного шнеко-аккумуляторного бурового снаряда с поинтервальным отбором разрушенной породы.
2. Определение рациональной технологии бурения: частоты вращения  $n$  и осевой нагрузки  $C_{oc}$  бурового снаряда.
3. Подбор эффективных типов породоразрушающих инструментов (долота) в соответствии с горно-геологическими условиями.
4. Оценка эффективности транспортирования разрушенной породы шнеком.
5. Определение оптимального рабочего объема пробоприемной камеры шнеко-аккумуляторного бурового снаряда.
6. Разработка эффективного метода извлечения пробы из снаряда.
7. Проведение полного хронометража производственных операций.

Для решения поставленных задач разработан комплекс программ и методик проведения экспериментальных исследований, обеспечивающих достоверные результаты.

### 3.2. Оборудование для экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились натурным образцом бурового снаряда большого диаметра (опытный образец) с диаметром 170мм, представляющим собой шнековый транспортер с породоразрушающим инструментом (долотом) и трубу со вспомогательными окнами.

При выборе буровой установки учитывались следующие основные требования:

- мобильность;
- удобность подключения контрольно-измерительных приборов;
- возможность регулирования частоты вращения и осевого усилия в процессе бурения;
- достаточная мощность для бурения скважин по различным породам.

Исходя из этих требований, была выбрана самоходная буровая установка УРБ-2А2 *рис.3.1* (технические характеристики буровой установки, см. *таблица 3.1.*), позволяющая производить вращательное шнековое бурение скважин с изменением режимных параметров в широком диапазоне.



*Рис. 3.1. Буровая установка УРБ-2А2.*

Технические характеристики буровой установки УРБ-2А2

Параметры	Значения параметров
Глубина бурения, м, при диаметре скважин, мм: 118 с промывкой 93 с промывкой 135 с продувкой 135 шнеками	100 200 30 30
Начальный диаметр скважины, мм	190
Диаметр бурильных труб, мм	60,3
Частота вращения, об/мин	140; 225; 325
Крутящие моменты, передаваемые вращателем, Нм	1580; 990; 690
Тип подачи	Канатная с приводом от гидроцилиндра
Скорость подачи, м/с: вверх вниз	0-0,6 0-1,1
Длина хода подачи, мм	5200
Грузоподъемность, кН	40
Принудительная нагрузка на инструмент, кН	26
Мачта: высота мачты, мм длина бурильных труб, мм угол наклона мачты от горизонтали, градус	Сварная из труб 8370 4500 90
Мощность, передаваемая раздаточной коробкой автомобиля для привода маслостанции и бурового насоса, кВт	44
Буровой насос: подача, л/с давление, МПа	НБ-32 10 4,0
Компрессор: подача, м <sup>3</sup> /мин давление, МПа	КТ-7 6 0,45
Габариты в транспортном положении, мм	8820x2450x3370
Масса установки, кг	10080
В том числе монтируемого оборудования, кг	4370

С помощью приборов на панели управления буровой установки *рис.3.2* контролируется частота вращения  $n$  и осевая нагрузка  $P$ .



*Рис.3.2. Панель управления буровой установки УРБ-2А2.*

Буровая установка УРБ-2А2 позволяет бурить различные скважины как в сухую, шнековым способом, так и с очисткой забоя промывочной жидкостью или с продувкой сжатым воздухом, для чего на установке монтируется буровой насос или компрессор.

Наблюдение за динамикой изменения затрат мощности двигателя буровой установки проводилось прибором ИМДЦ (индикатор мощности двигателя цифровой) *рис.3.3*.



*Рис.3.3 Индикатор мощности двигателя цифровой (ИМДЦ)*

Устройство ИМДЦ предназначено для технического диагностирования мощности отечественных двигателей, позволяет измерять: частоту вращения и угловое ускорение коленчатого вала двигателя в процессе свободной и полной нагрузки.

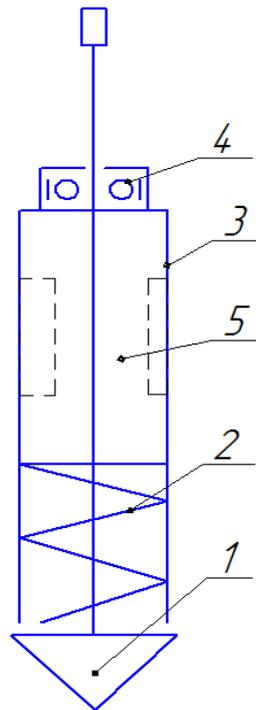
### **3.3 Разработка структурно-функциональной схемы и опытного образца шнеко-аккумулирующего снаряда**

Получение проб в процессе бурения – одна из главных технологических задач разведочного бурения. На основе вещественных проб, отбираемых в процессе бурения скважин, производятся геохимические, минералого-петрографические опробования пласта, выполняется анализ физико-механических свойств горных пород и руд [60, 97].

К вещественным пробам, отбираемым при бурении скважин, предъявляются следующие требования:

- обеспечение представительных размеров, определяемых пространственной изменчивостью исследуемых свойств геологического объекта;
- обеспечение сохранности вещества, регламентируемое предельно допустимой в данном виде анализа случайной технической ошибкой опробования;
- предотвращение избирательного разрушения вещества пробы, приводящего к систематическому завышению или занижению оценки содержания полезных и вредных компонентов;

По результатам проведенных исследований [66, 93, 94, 95, 96, 100], а также по разработанной методике конструирования шнеко-аккумулирующего бурового снаряда большого диаметра для бурения шурфо-скважин в условиях криолитозоны составлена общая структурно-функциональная схема бурового снаряда (*рис.3.4*), обеспечивающего поинтервальный отбор разрушенной породы.



*Рис.3.4 Структурно-функциональная кинематическая схема бурового снаряда.*

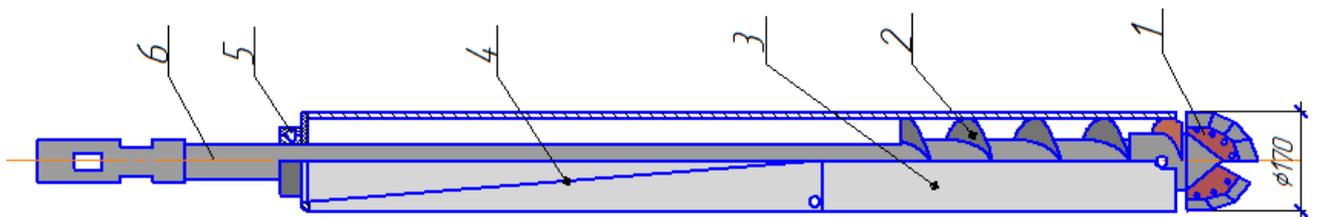
Конструктивно буровой снаряд состоит из породоразрушающего инструмента (долота) 1, шнекового транспортера 2 расположенного внутри трубы 3 на подшипниковой опоре 4, и пробоприемной камеры 5, в котором предусмотрены вспомогательные окна. Соединение бурового снаряда с буровой установкой осуществляется с помощью штанги и через усиленный переходник. При этом диаметр породоразрушающего инструмента (долота) бурового снаряда больше на 15-20 мм наружного диаметра пробоприемной трубы, что исключает затирание стенок скважины трубой и позволяет свободному перемещению снаряда в скважине при спуско-подъемных операциях и при возможном уменьшении диаметра скважины в результате износа долота.

Благодаря подшипниковой опоре 4, труба 3 при внедрении бурового снаряда в горный массив исключает ее вращение, что исключает возможность разубоживания и смешения транспортируемых шнеком пород с породами со стенки скважины, которое характерно при бурении обычным шнеком.

Для разгрузки пробы из бурового снаряда и для вспомогательных операций (замена породоразрушающего инструмента, деталей бурового снаряда и др.) в буровой установке предусмотрено специальное удерживающее устройство.

Принцип работы бурового снаряда заключается в следующем. При подаче вращения и осевого усилия буровой установкой долото разрушает горный массив, разрушенная порода транспортируется вверх по шнеку, одновременно накапливаясь внутри пробоприемной камеры трубы. По мере бурения определенного интервала скважины снаряд поднимается наверх, отводится от устья скважины, закрепляется в специальном удерживающем устройстве и осуществляется разгрузка породы включением обратного вращения шнека. При неполном извлечении пробы остатки извлекаются через вспомогательные окна.

По разработанной методике конструирования и структурно-функциональной схеме для проведения натуральных испытаний изготовлен модель опытного образца шнеко-аккумулирующего бурового снаряда (рис.3.5) с поинтервальным отбором пробы.



**Рис.3.5.** Конструкция опытного образца шнеко-колонкового бурового снаряда ( $\varnothing 170$  мм). 1 – долото; 2 – шнек; 3 – труба; 4 – вспомогательный люк; 5 – подшипниковая опора; 6 – штанга.

Опытный образец бурового снаряда (рис.3.6) представлен стандартным породоразрушающим инструментом (долото), шнековым транспортером определенной высоты (3-4 витка) расположенного внутри не вращающейся пробоприемной трубы в котором смонтирован вспомогательное окно (рис.3.7). Сама труба монтируется в буровом снаряде на подшипниковой опоре благодаря



*Рис. 3.6. Опытный образец бурового снаряда.*

чему, не будет вращаться при внедрении снаряда в породу, повышая эффективность транспортирования шнеком и накопление разрушенной породы.



*Рис.3.7. Вспомогательное окно пробоприемной трубы.*

Укороченный шнековый транспортер (рис.3.8) с высотой 3-4 витка, сконструирован из стандартного шнека.



*Рис.3.8. Укороченный шнековый транспортер.*

Для усиления и уменьшения зазора между шнеком и трубой в ребордах шнека дополнительно приваривается стальная лента.

Важным элементом в конструкции бурового снаряда является выступ первого витка шнека из трубы на определенную длину в зависимости от диаметра снаряда, благодаря которому обеспечивается в процессе бурения эффективный захват шнеком разрушенной долотом породы и валуна определенного размера.

### **3.4. Программа экспериментальных исследований**

Программа испытания опытного образца бурового снаряда состоит из следующих блоков:

**1. Объект испытаний.** Опытный образец шнеко-аккумулирующего бурового снаряда диаметром 170мм. с поинтервальным отбором разрушенной породы.

**2. Цель испытаний.** Проверка работоспособности разработанной конструкции бурового снаряда.

**3. Общие положения.** Испытания проводились на основании договора на выполнение НИР №13/2011 от 17 мая 2011 г. «**Разработка бурового снаряда и технологии бурения скважин большого диаметра с целью валового опробования галечных разрезов в условиях многолетней мерзлоты на объектах ОАО «Алмазы Анабара»**».

**4. Объем испытаний:**

4.1. Бурение скважин с двумя типами буровых головок (для грунтов с IV по VI категории) с поинтервальным отбором пробы.

4.2. Определение оптимальных параметров бурового снаряда:

4.2.1. Отработка схем расстановки режущих элементов долота – сетка резания.

4.2.2. Выбор рациональной формы забоя скважины.

4.2.3. Обеспечение гарантированного зазора между корпусом бура и стенкой скважины.

4.2.4. Определение интенсивности износа режущих кромок резцов (фотофиксация элементов износа в процессе эксплуатационных испытаний).

4.2.5. Отработка параметров пробоприемной камеры и вспомогательных окон:

4.2.5.1. Выявление эффективного метода извлечения пробы из колонковой трубы снаряда.

4.2.5.2. Наполняемость пробоприемной камеры и зависимость от рейсовой проходки.

4.2.5.3. Зависимость наполняемости пробоприемной камеры от коэффициента разрыхления.

4.3. **Определение рациональной технологии бурения по критерию механической скорости ( $V_{мех}$ ).** Скорости в процессе бурения зависят от: совершенства технических средств для данного способа разрушения горных пород в забое скважины; рациональной технологии бурения; совершенства

организации и планирования буровых работ в основных и вспомогательных звеньях; квалификации бурового персонала и слаженности их работы.

Достижение максимально высоких скоростей в процессе бурения при сохранении качества сооружения скважины, опробования месторождения и безопасного ведения работ – одна из главных задач бурового персонала производственных организаций.

**5. Метрологическое обеспечение испытаний.** Проводятся хронометражные наблюдения буровым процессом с записью всех операций и технологического режима с помощью контрольно-измерительных приборов буровой установки и ИМДЦ (индикатор мощности двигателя цифровой).

**6. Ожидаемые результаты.** Результатом экспериментального исследования является получение следующих данных:

6.1. Оценка работоспособности разработанной конструкции шнеко-аккумулирующего бурового снаряда и отдельных его узлов.

6.2. Оптимальная технология бурения шурфоскважин (частота вращения, осевая нагрузка, интервал рейсовой проходки и извлечение выбуренной породы со снаряда) в зависимости от горно-геологических условий и от параметров буровой установки.

6.3. Выбор оптимального типа долота и пути совершенствования его конструкции.

6.4. Разработка рекомендаций по дальнейшему совершенствованию конструкции шнеко-аккумулирующего бурового снаряда и внедрению в производство.

### 3.5. Моделирование процесса бурения шнеко-аккумулятивным снарядом в условиях криолитозоны

Для разработки конструкции и изготовления производственного варианта шнеко-аккумулятивного бурового снаряда большого диаметра (750 мм) с поинтервальным отбором пробы, нами проведен комплекс экспериментальных исследований (моделирование процесса) работы опытного образца бурового снаряда Ø170мм. в полевых условиях (натурные испытания). Натурные испытания позволили изучить процесс работы бурового снаряда в широком диапазоне, сравнить технические показатели стандартного шнека и опытного образца бурового снаряда, дали возможность дальнейшей корректировки и доработки конструкции (рис.3.9).



*Рис.3.9. Бурение скважины опытным образцом бурового снаряда Ø170мм.*

Измерения основных параметров бурения в процессе натурных испытаний производились с использованием контрольно-измерительных приборов буровой установки. При этом измерялись следующие параметры: осевая нагрузка,

частота вращения, глубина и время бурения. Для проведения экспериментальных исследований были приняты следующие технологические режимы бурения: частота вращения в пределах 40 – 90 об/мин, а осевое усилие в пределах 2 - 20 кН в зависимости от интервала проходки и наполнения пробоприемной камеры.

Во время натурных испытаний были пробурены скважины с глубиной до 5 м. (рис.3.10) опытным образцом бурового снаряда и стандартным шнеком с величиной рейсовой проходки от 15 до 50 см.



*Рис.3.10. Экспериментальная скважина.*

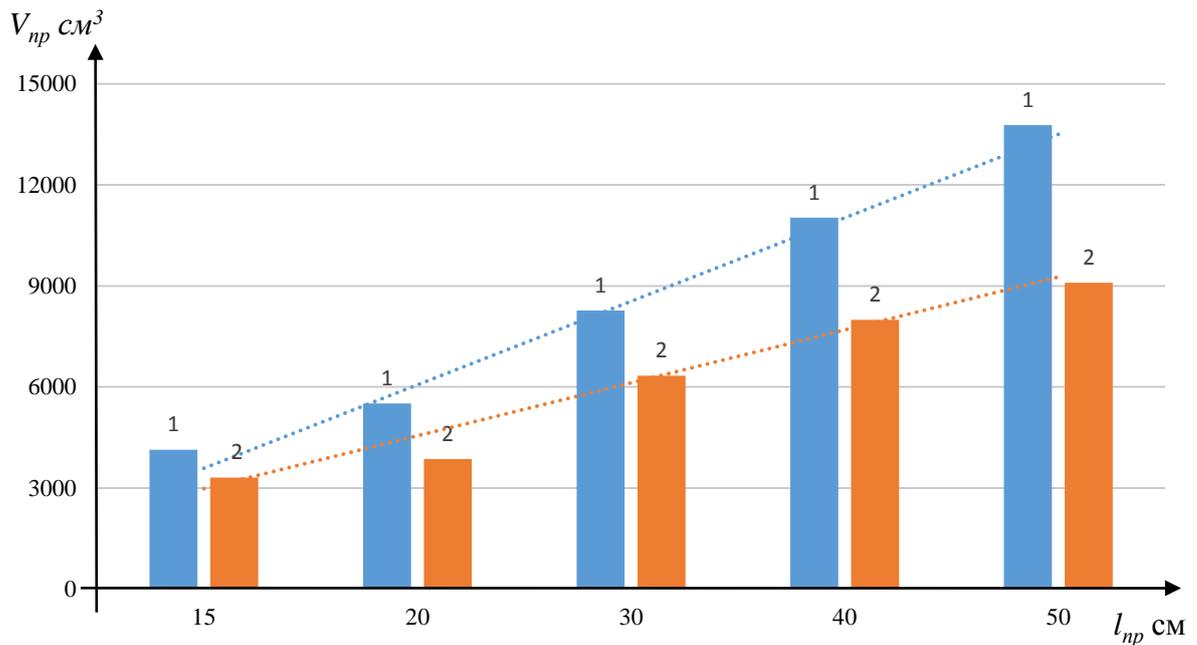
Геологический разрез участка работ представлен мелкозернистыми песками с содержанием гальки и гравия, прослоями льдистых глин с мощностью около 30-80 см. Категория пород варьируется от 2 до 4 категории по буримости.

Во время натуральных испытаний проведены исследования по извлечению качественной пробы из буровых снарядов (результаты подробно приведены на *рис.3.11.* и в *таблице 3.2*) и установлена зависимость объема пробоприемной камеры бурового снаряда от величины рейсовой проходки  $V_{np}=f(l_{np})$ .

Для упрощения подсчета объема проб был изготовлен специальный сосуд цилиндрической формы с заранее известными параметрами (высота, радиус, отметки интервалов в сосуде, *рис.3.12*). Определение объема пробы вычисляется по формуле:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (3.1)$$

где:  $r$  – радиус сосуда;  $h$  – высота пробы в сосуде.



**Рис.3.11.** Зависимость объема извлеченной пробы ( $V_{np}$ ) от величины рейсовой проходки ( $l_{np}$ ). 1 – опытный образец; 2 – стандартный шнек.

Объем извлеченной пробы, см<sup>3</sup>

Бур. снаряд	Величина рейсовой проходки (см)				
	15	20	30	40	50
Опытный образец	4134	5512	8268	11024	13780
Стандартный шнек	3307	3858	6338	7992	9094



Рис.3.12. Извлечение пробы из опытного образца бурового снаряда.

Полученные результаты зависимости объема пробоприемной камеры снаряда от величины рейса (рис.3.11, и таблица 3.2) свидетельствуют о том, что объем пробоприемной камеры зависит в первую очередь от конструктивных особенностей бурового снаряда (диаметра долота, трубы, количества витка шнека и др. параметров), максимального интервала проходки скважины по методике разведки россыпных месторождений полезных ископаемых, а также от коэффициента разрыхления горной породы ( $K_p=1,1\div 1,6$ ).

Нами предлагается при подсчете объема пробоприемной камеры  $V_k$  трубы бурового снаряда учесть коэффициент наполнения  $K_n$  для предупреждения чрезмерного наполнения камеры и обеспечения необходимого свободного пространства в трубе при максимальном интервале проходки ( $K_n$  – степень заполнения объема трубы разрыхленной горной породой, определяется отношением объема, занятого горной массой  $V_{zn}$  к геометрической емкости трубы  $V_{кт}$ ).

Исследования по объему извлеченной пробы показывают преимущество разработанного бурового снаряда перед стандартным шнеком. Это объясняется тем, что при бурении и подъеме стандартный шнек ребордами затирает часть разрушенной породы в стенки скважины допуская разубоживание отбираемой пробы, а после подъема шнека на дневную поверхность некоторая часть пробы высыпается обратно в скважину или на прискважинную площадку, что приводит к снижению объема и качества отбираемой пробы. В случае нашего снаряда, благодаря расположению укороченного шнека внутри трубы и наличию пробоприемной камеры, извлекаются только породы с пробуренного интервала без разубоживания, а после подъема на поверхность породы не высыпаются самопроизвольно из снаряда, полностью сохраняя извлекаемый объем пробы, что обеспечивает качество и представительность пробы с исследуемого интервала скважины.

Одним из важных задач экспериментальных исследований являлся выбор оптимального типа породоразрушающего инструмента применительно к бурению скважин в условиях криолитозоны. С этой целью были испытаны следующие типы долот со схожими технологическими параметрами:

1 – трехлопастное долото с  $\text{Ø}170$  мм., режущие элементы которого наплавлены износостойкими материалами, типа ВК6 (рис.3.13). Используются для шнекового бурения геологоразведочных скважин в мягких породах многолетней мерзлоты с содержанием твердых включений. Рекомендуются для

бурения геологоразведочных, гидрогеологических, сейсморазведочных и технических скважин в породах I-V категорий по буримости.



*Рис.3.13. Трехлопастное долото.*

2 – двухлопастное долото с  $\text{Ø}170$  мм., режущие элементы которого наплавлены износостойкими материалами, типа ВК6 (рис. 3.14).



*Рис.3.14. Двухлопастное долото.*

Долото двухлопастное режущего типа с плоскими лезвиями, армированные твердым сплавом. Используются для шнекового бурения геологоразведочных скважин в мягких породах многолетней мерзлоты с

содержанием твердых включений. Рекомендуются для бурения геологоразведочных, гидрогеологических, сейсморазведочных и технических скважин в породах I-V категорий по буримости.

Испытания различных долот показали о существенном влиянии на процесс бурения мерзлых пород температурного фактора, а именно, процесс оттайки и замерзания разрушенной породы в буровом инструменте. С увеличением частоты вращения бурового инструмента, механическая скорость возрастает, но при этом одновременно интенсифицируется процесс оттайки мерзлой породы (случай трехлопастного долота), создающий осложнения в процессе бурения. Это обусловлено тем, что при трехлопастном долоте увеличивается площадь контакта режущих элементов долота с забоем, что приводит к чрезмерному нагреву забоя скважины и оттайке разрушенной породы. Растаявшие в забойном процессе мерзлые породы во время транспортирования шнеком вновь замерзают, приликая к шнеку и стенке колонковой трубы (рис.3.15).



*Рис. 3.15. Прилипшая к стенке трубы порода.*

Такой специфичный мерзлотный технологический фактор резко снижает производительность шнекового транспортера  $Q_{шн}$ , доводя вплоть до остановки транспортирования (образуется сальник). При этом производительность долота  $Q_{дол}$  на некоторое время сохраняется, но, вследствие прекращения транспортирования шнеком, останавливается и углубка скважины. В этом

случае, если вовремя не остановить вращение и подачу осевой нагрузки на бур, усиливается нагрев и повышается износ режущих частей долота приводя к различным осложнениям.

Для извлечения прилипших и смерзшихся пород из бурового снаряда, требуется снятие вспомогательного люка и сгребание вручную пробы, что приводит к дополнительным затратам времени на спуско-подъемные операции.

При бурении двухлопастным долотом такие осложнения не наблюдались, процесс бурения скважин был относительно интенсивным, долото сохраняло нормальный температурный режим и износ его резцов был не значительным.

Результаты испытаний основных параметров опытного образца шнеко-аккумулирующего бурового снаряда и стандартного шнека, приведены в *таблицах 3.3 и 3.4.*

*Таблица 3.3.*

Результаты испытания опытного образца  
шнеко-аккумулирующего снаряда (Ø170 мм)

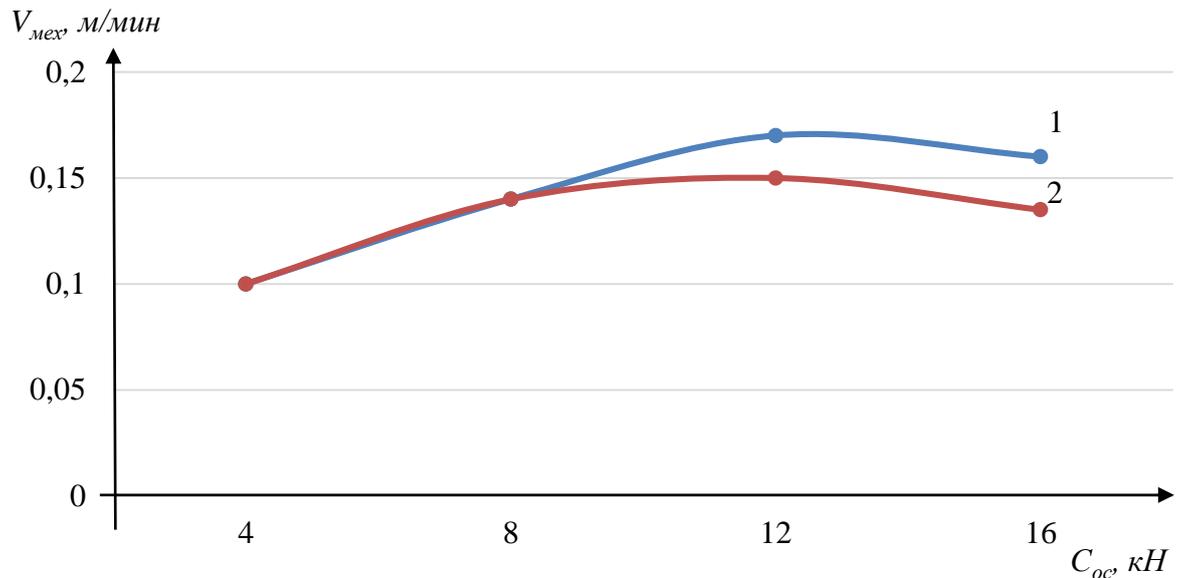
Параметры		Полученные результаты				
<b>H (м)</b>	Углубление скважины	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
<b>T (мин)</b>	Время чистого бурения	1	1,5	2	3	4
<b>T<sub>СПО</sub> (мин)</b>	Время СПО	3	3	4,5	6,5	8
<b>T<sub>1</sub> (мин)</b>	Спуск бурового снаряда	0,17	0,17	0,22	0,3	0,33
<b>T<sub>2</sub> (мин)</b>	Подготовка к бурению	0,084	0,084	0,086	0,088	0,089
<b>T<sub>3</sub> (мин)</b>	Подготовка снаряда к подъему	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
<b>T<sub>4</sub> (мин)</b>	Подъем снаряда и фиксация к буровой	1	1	1,5	2	2
<b>T<sub>5</sub> (мин)</b>	Извлечение выбуренной пробы из снаряда	1,5	1,5	2	2,5	3
<b>V<sub>мех</sub> (м/мин)</b>	Мех. скорость	0,15	0,13	0,15	0,13	0,13

Результаты испытания стандартного шнека (Ø170 мм)

Параметры		Полученные результаты				
<b>H (м)</b>	Углубление скважины	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
<b>T (мин)</b>	Время чистого бурения	1	1,5	3	5	6,5
<b>T<sub>спо</sub> (мин)</b>	Время СПО	2	2	3,5	6	7,5
<b>T<sub>1</sub> (мин)</b>	Спуск бурового снаряда	0,15	0,15	0,2	0,25	0,25
<b>T<sub>2</sub> (мин)</b>	Подготовка к бурению	0,084	0,084	0,086	0,088	0,089
<b>T<sub>3</sub> (мин)</b>	Подготовка снаряда к подъему	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
<b>T<sub>4</sub> (мин)</b>	Подъем снаряда и фиксация к буровой	0,5	0,5	0,7	0,9	1
<b>T<sub>5</sub> (мин)</b>	Извлечение выбуренной пробы из снаряда	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9
<b>V<sub>мех</sub> (м/мин)</b>	Мех. скорость	0,15	0,13	0,1	0,08	0,08

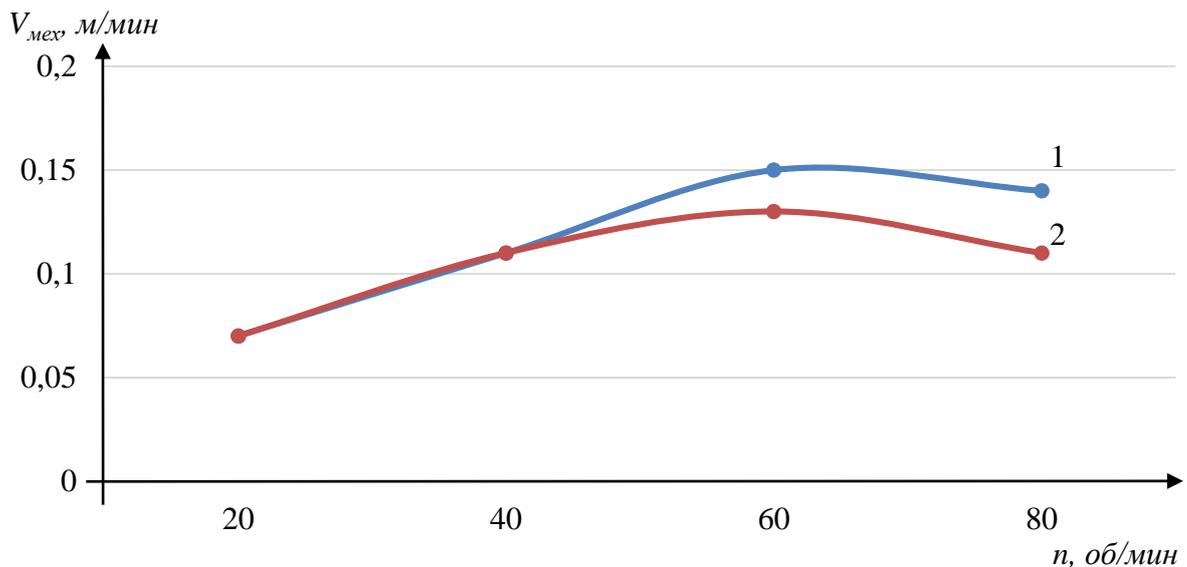
Данные таблиц 3.3 и 3.4 свидетельствуют о довольно высоких показателях механической скорости  $V_{мех}$  бурения скважин опытным образцом шнеко-аккумуляторного бурового снаряда, относительно стандартного шнека. Это связано в первую очередь с разностью длинами шнековых транспортеров, в опытном образце бурового снаряда шнек (3-4 витка) располагается внутри трубы, благодаря которому облегчается транспортировка разрушенной породы без затирки пород о стенки скважины.

По результатам экспериментальных испытаний опытного образца бурового снаряда и стандартного шнека с Ø170мм, построены соответствующие графики, характеризующие изменение механической скорости бурения  $V_{мех}$  от технологических параметров: осевой нагрузки  $V_{мех}=f(C_{oc})$  (рис.3.16) и частоты вращения  $V_{мех}=f(n)$  (рис.3.17). Сравнительные испытания опытного образца шнеко-колонкового снаряда и стандартного шнека с 2-х и 3-х лопастными долотами Ø 170 мм. проводились в мерзлых песчано-глинистых, галечниковых породах III-VI категорий по буримости.



**Рис.3.16.** Динамика механической скорости в зависимости от осевой нагрузки  $V_{мех}=f(C_{ос})$ , на графике: 1 – опытный образец бурового снаряда; 2 – стандартный шнек.

Из графика, приведенного на *рис.3.16* видно, что при постоянной частоте вращения снаряда при увеличении осевой нагрузки механическая скорость при бурении обеими буровыми снарядами возрастает линейно до  $C_{ос}=8$  кН. При дальнейшем увеличении осевой нагрузки установлено превосходство опытного образца над стандартным шнеком по интенсивности роста механической скорости бурения и по ее максимуму:  $V_{мех.макс}$  для опытного образца - 0,173 м/мин.,  $V_{мех.макс}$  для стандартного шнека - 0,15 м/мин. Это объясняется меньшими потерями при бурении опытным образцом осевой нагрузки и передаче ее на забой скважины чем при использовании стандартного шнека.



**Рис.3.17.** Динамика механической скорости бурения от частоты вращения  $V_{мех}=f(n)$ , на графике: 1 – опытный образец бурового снаряда; 2 – стандартный шнек.

Из графика (рис.3.17) следует, что при постоянной осевой нагрузке с увеличением частоты вращения механическая скорость также линейно возрастает и максимальные значения достигли у опытного образца 0,15 м/мин., при частоте вращения 60-70 об/мин.; у стандартного шнека 0,13 м/мин. при частоте вращения 50-60 об/мин., дальнейшее повышение частоты вращения  $n$  у обоих снарядов приводит к плавному снижению механической скорости.

Графики (рис.3.16 и 3.17) показывают, что увеличение механической скорости  $V_{мех}$  бурения опытного образца по сравнению со стандартным шнеком при одинаковых режимах бурения ( $C_{ос}=11-15$  кН,  $n=60-70$  об/мин) обусловлено меньшим сопротивлением транспортированию разрушенной породы и лучшей передачей нагрузки на долото укороченным шнеком (3-4 витка) в трубе, чем шнеком в открытом стволе скважины.

Исследование механической скорости  $V_{мех}$  показывает, что технология бурения стандартным шнековым буром характерна низкой частотой вращения  $n$  и большей осевой  $C_{ос}$ . При увеличении глубины и диаметра скважины нагрузки на буровую установку становятся за предельными, а возможности

регулирования рационального режима бурения – минимальными. Разработанная новая конструкция шнеко-аккумулирующего бурового снаряда в отличие от стандартного шнека, позволяет применение более форсированных режимов бурения и обеспечивает более высокую механическую скорость  $V_{мех}$ .

### **3.6. Исследования и анализ затрат мощности при бурении скважин шнековым способом**

При совершенствовании технологии шнекового бурения, одним из важных требований является оценка затрат мощности буровой установки в зависимости от глубины и диаметра скважины, режимов бурения и конструкции бурового снаряда.

Вопросы расхода мощности при бурении скважин большого диаметра в различных горно-геологических условиях рассматривались в трудах многих исследователей, основные из них, это работы: В.В. Алексеева, Б.А. Ариффулина, Д.Н. Башкатова, Б.И. Воздвиженского, Л.Г. Грабчак, В.П. Зиненко, И.С. Калинина, В.Г. Кардыша, А.Н. Кирсанова, Н.А. Лапина, Ю.А. Олоновского, Б.М. Ребрика, Е.Ф. Эпштейна и другие [1, 2, 8, 9, 10, 19, 21, 29, 43, 45, 50, 52, 69, 80].

Все известные формулы расчета затрат мощности основаны на различных принципах (имеют аналитический и эмпирический характер) и основываются на результатах статистической обработки экспериментальных данных. Исследования по расходу мощности при бурении скважин в условиях многолетнемерзлых пород практически не проводились, большинство известных методик посвящены для однородных и не связанных пород.

Одна из первых методик для определения затрат мощности при медленно вращательном шнековом бурении шурфоскважин разработана Л.Г. Грабчак [30-54].

В соответствии с этой методикой, забойная мощность, расходуемая при

шнековом бурении по однородным мягким породам может быть определена по формуле:

$$N_3 = M_{кр} \cdot \omega, \quad (\text{Вт}) \quad (3.2)$$

где  $M_p$  – суммарный крутящий момент, Нм;

$\omega$  – угловая скорость вращения шнека, рад/с.

При этом угловая скорость равен углу поворота тела в единицу времени и определяется следующим образом:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad \text{рад/с} \quad (3.3)$$

Суммарный крутящий момент  $M_{кр}$  определяется следующими величинами: силы резания  $F_{рез}$ , силы перемещения разрушенной породы  $F_{np}$  по буру и силы трения о стенки скважины  $F_b$ .

Сила резания  $F_{рез}$ , при шнековом бурении определяется по формуле:

$$F_{рез} = \frac{\left( \frac{\sigma_{сд} \cdot h_c}{\sin\psi} + \rho \cdot h_c (ctg\alpha + ctg\psi) \cdot (\sin\psi + f_n \cdot \cos\psi) \right) \cdot (\sin\alpha + f_c \cdot \cos\alpha)}{(\sin(\alpha + \psi) \cdot (1 - f_c \cdot f_n) + \cos(\alpha + \psi) \cdot (f_c + f_n)) \cdot \cos\beta} + \frac{\sigma_c \cdot \alpha \cdot (\sin\varepsilon + f_c \cdot \cos\varepsilon)}{\cos\beta}, \quad (3.4.)$$

где:  $\sigma_{сд}$  – предел прочности горной породы на сдвиг;  $\sigma_c$  – предельная прочность на сжатие горной породы;  $\psi$  – значение угла сдвига;  $\alpha$  – значение угла резания;  $f_n$  – коэффициент учитывающий трение между разрушенными породами;  $f_c$  – коэффициент трения разрушенной породы по шнеку;  $a$  – показатель износа резца ПРИ;  $\beta$  – угол наклона;  $\varepsilon$  – угол наклона при износе.

Сила  $F_{np}$ , требуемая для перемещения разрушенной породы в бур,

определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{пр}} = & \frac{(c \cdot N + 2Q \cdot x) \cdot K + 2 \cdot (d + e \cdot f_c) \cdot ((N - Q \cdot f_c) \cos \alpha - \rightarrow)}{\frac{\sin(\alpha - \gamma)}{\cos \alpha} \cdot (\cos^2 \varphi \cdot (S + 2B + f_c^2 \cdot S) - \sin 2\varphi \cdot f_c \cdot (0,5S + B) - \rightarrow)} \\
 & \frac{-(Q + N \cdot f_c) \cdot \sin \alpha + \frac{B}{\sin \alpha} (Q(\sin \varphi - f_c \cdot \cos \varphi) - \rightarrow)}{-B \cdot \text{ctg}(\sin 2\varphi + f_c \cdot \cos 2\varphi) + \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot (B \cdot \text{ctg} \alpha \cdot \cos 2\varphi + \rightarrow)} \\
 & \frac{-N \cdot (\cos \varphi + f_c \cdot \sin \varphi)}{+\sin 2\varphi \cdot (0,5 \cdot S + B) - \frac{B}{\sin \alpha}}, \quad (3.5.)
 \end{aligned}$$

где:  $S$  – шаг шнека, мм;  $B$  – высота шнека, мм;  $\varphi$  – средний угол лопастей шнека;  $b$  – длина тела волочения, мм;  $\gamma$  – объемная масса разрушенной породы;  $g$  – ускорение силы тяжести.

Силу трения горной породы  $F_{\delta}$ , определяют по формуле:

$$\begin{aligned}
 F_{\delta} = & \frac{(D - d_{\text{ш}})^2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot \cos \varphi}{2} \\
 & \cdot \left\{ (B + S) \cdot \gamma \cdot \left[ \frac{\omega^2 \cdot 2(D^3 - d_{\text{ш}}^3)}{3 \cdot \left(\frac{D^2 - d_{\text{ш}}^2}{4}\right)} \right] + (f_n \cdot g) \right. \\
 & \left. - p(K_{\delta} - f_c - f_n) \right\}, \quad (3.6.)
 \end{aligned}$$

где:  $K_{\delta}$  – коэффициент бокового трения породы (распора, для песка 0,25-0,37; для глины 0,11-0,82);  $d_{\text{ш}}$  – диаметр вала шнека.

Сопоставив вышеизложенные формулы (3.4, 3.5, 3.6) определяем

крутящий момент  $M_{кр}$ , на шнеке:

$$M_{кр} = 0,3 \cdot D \cdot (F_{рез} + F_{пр}) \cdot \frac{D - d_{ш}}{2} + 0,6 \cdot D \cdot F_6, \quad (3.7.)$$

В итоге, забойная мощность  $N_3$  (3.3), определяется по следующей формуле:

$$N_3 = \left( 0,3 \cdot D \cdot (F_{рез} + F_{пр}) \cdot \frac{D - d_{ш}}{2} + 0,6 \cdot D \cdot F_6 \right) \cdot \omega, \quad (3.8.)$$

Однако в расчетные формулы этой методики, вводится ряд коэффициентов, значения которых оптимальны при бурении скважин большого диаметра по мягким породам. И сама расчетная формула является достаточно сложной для практического применения и имеет много составляющих коэффициентов, определение которых в условиях крепких, мерзлых пород оказывается затруднительным и для расчетов приходится принимать их усредненные величины, в результате чего искажаются действительные показатели процесса бурения.

Н.А. Лапин [73, 74], предлагает свою методику для подсчета расхода мощности шнекового транспортера и долота в режиме вертикальной транспортировки.

По этой методике мощность затрачиваемая на вращение бурового снаряда определяется по формуле:

$$N = N_{тр} + N_{дол} + N_T \quad (\text{кВт}), \quad (3.9.)$$

где,  $N_{тр}$  – мощность, расходуемая на транспортировку породы от забоя к устью скважины;  $N_{дол}$  – мощность, потребляемая долотом при работе;  $N_T$  – мощность, расходуемая на преодоление трения шнека о стенки скважины.

Мощность, затрачиваемая на работу долота, определяется по формуле:

$$N_{\text{дол}} = N_c + N_3 + N_p , \quad (3.10.)$$

где,  $N_c$  – мощность, расходуемая на преодоление силы трения долота о стенку скважины;  $N_3$  – мощность, затрачиваемая на преодоление силы трения долота о забой скважины;  $N_p$  – мощность, расходуемая на разрушение породы долотом.

При этом составляющие мощности  $N_{\text{дол}}$  (3.11) находятся по следующим формулам:

$$N_c = \frac{T_c R_{\text{дол}} n}{975} , \quad (3.11)$$

где,  $T_c$  – сила трения;  $R_{\text{дол}}$  – радиус долота;  $n$  – частота вращения бурового снаряда.

$$N_3 = \frac{2\pi h \mu f_2 R_{\text{дол}}^2 n}{3 \cdot 975} , \quad (3.12)$$

где,  $h$  – высота от забоя до кромки винтовой ленты шнека;  $\mu$  – удельный вес разрушенного грунта;  $f_2$  – коэффициент трения разбуренной породы о стенку скважины.

$$N_p = \frac{P_n R_{\text{дол}} n}{1460} , \quad (3.13)$$

где,  $P_n$  – полное усилие резания.

Общая мощность, затрачиваемая на работу долота (3.11) определяется по следующей формуле:

$$N_{\text{дол}} = \frac{T_c R_{\text{дол}} n}{975} + \frac{2\pi h \mu f_2 R_{\text{дол}}^2 n}{3 \cdot 975} + \frac{P_n R_{\text{дол}} n}{1460} , \quad (1.14)$$

Мощность, затрачиваемая на транспортировку разрушенной породы по шнеку  $N_{\text{тр}}$ , определяется по формуле:

$$N_{\text{тр}} = \frac{Fv\cos\gamma K_1}{102} , \quad (3.15)$$

где,  $F$  – сила трения породы о стенку скважины при транспортировке;  $v$  – окружная скорость вращения бура;  $\gamma$  – угол наклона вектора абсолютной скорости частицы грунта к горизонту;  $K_1$  – коэффициента, учитывающий расход мощности на перемещение породы при транспортировке.

Мощность, расходуемая на преодоление трения шнека о стенки скважины  $N_T$ , определяется по формуле:

$$N_T = \frac{M_T n}{975} , \quad (3.16)$$

где,  $M_T$  – момент силы трения шнека о стенку скважины.

Окончательное выражение методики (3.10) имеет следующий вид:

$$N = \frac{Fv\cos\gamma K_1}{102} + \frac{T_c R_{\text{дол}} n}{975} + \frac{2\pi h \mu f_2 R_{\text{дол}}^2 n}{3 \cdot 975} + \frac{P_{\text{п}} R_{\text{дол}} n}{1460} + \frac{M_T n}{975} , \quad (3.17)$$

По этой методике, можно подсчитать мощность, расходуемую на работу бурового снаряда со шнековым транспортером и долотом в режиме вертикальной транспортировки пород с положительной температурой.

М.О. Неплевский [80], предлагает свою методику, для нахождения суммарных величин крутящего момента ( $M_{\text{кр}}$ ) затрачиваемого буровой установкой при бурении скважин шнековым инструментом и долотом в зависимости от продолжительности рейса:

$$M_{\Sigma} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5, \quad (3.18)$$

где:  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  – затрачиваемые величины крутящего момента на:

$M_1$  — трение между рабочей поверхностью режущего элемента и забоем;  
 $M_2$  — на преодоление сил сопротивления при транспортировании разрушенной породы по шнеку;

$M_3$  — преодоление сил сопротивления поступающих пород со стенок и с забоя скважины при увеличении осевой нагрузки;

$M_4$  — преодоление сил сопротивления, при трении между разрушенной горной породой и стенками скважины;

$M_5$  — преодоление сил сопротивления инерции, при движении разрушенной породы в буре.

Определение составляющих суммарного крутящего момента *методики 3*, основываясь на известной зависимости, определяется по следующему выражению:

$$M_1 = \mu \cdot C_{oc} \cdot \frac{1}{2} \cdot R, \quad (3.19)$$

где  $\mu$  — коэффициент трения [0,1÷0,6];  $C_{oc}$  — величина проектной осевой нагрузки [Н];  $R$  — радиус шнека (м).

$$M_2 = \kappa_1 \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \frac{n}{60} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi) \cdot \frac{2}{3} \cdot R \cdot t, \quad (3.20)$$

где  $\kappa_1$  — коэффициент, учитывающий увеличение крутящего момента, затрачиваемого на разрушение горной породы ( $\kappa_1=1,1\div1,2$ ),  $\rho$  — удельный вес породы [Н/м<sup>3</sup>];  $d$  — диаметр шнека (м);  $h$  — толщина срезаемого за один оборот слоя горного массива (м);  $n$  — частота вращения бурильного вала (об/мин);  $\gamma$  — угол наклона оси резца (град);  $\varphi$  — угол трения резца (град);  $R$  — радиус шнека (м);

$$M_3 = \mu \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{1}{2} \cdot R \cdot t, \quad (3.21)$$

Составляющая затрат крутящего момента  $M_3$  зависит от продолжительности рейса и определяется весом поступающей на лопасти шнека породы.

Крутящий момент  $M_4$ , величина которая зависит от силы сопротивления по боковой поверхности между разрушенной горной породой и стенками скважины, определяется по выражению:

$$M_4 = k_2 \cdot \mu \cdot \rho \cdot h^2 \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot n}{\cos \gamma \cdot 60} \cdot R \cdot t, \quad (3.22)$$

где  $K_2$ - коэффициент, учитывающий сопротивление горной породы по боковой поверхности (о стенки скважины),  $K_2 = 0,1 \div 0,5$ .

Пятая составляющая суммарного крутящего момента  $M_5$ , определяется по формуле:

$$M_5 = A = \frac{2 \cdot R \cdot \omega^2}{30 \cdot \mu}, \quad (3.23)$$

Данная составляющая, в ходе исследования автором явилась незначительным показателем и поэтому не принята к сведению при подсчете суммарного крутящего момента.

С учетом всех этих составляющих величин  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  суммарный крутящий момент (3.17) определяется по следующему выражению:

$$M_{\Sigma} = \mu \cdot \left( C_{oc} + \rho \cdot h \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot n}{240} \cdot t \right) \frac{R}{2} + k_1 \cdot tg(\gamma + \varphi) \cdot \rho \cdot h \cdot \frac{\pi \cdot d^2 \cdot n}{240} \cdot \frac{2R}{3} \cdot t + \\ + k_2 \cdot \mu \cdot \rho \cdot h^2 \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot n}{\cos \gamma \cdot 60} \cdot R \cdot t \quad (\text{Нм}) \quad (3.24)$$

$\mu$  – коэффициент трения;

$C_{oc}$  – осевая нагрузка [Н];

$R$  – радиус шнека (м);

$\kappa_1$  – опытный коэффициент, учитывающий увеличение крутящего момента, затрачиваемого на разрушение горной породы ( $\kappa_1=1,1\div 1,2$ );

$\kappa_2$  – коэффициент, учитывающий сопротивление горной породы по боковой поверхности (о стенки скважины),  $\kappa_2=0,1\div 0,5$ ;

$\rho$  – удельный вес горной породы [ $\text{Н/м}^3$ ];

$d$  – диаметр рабочего шнека (м);

$h$  – толщина горной породы, срезаемой за один оборот (м);

$n$  – частота вращения бурильного вала (об/мин);

$\gamma$  – угол наклона оси резца (град);

$\varphi$  – угол трения (град);

$t$  – продолжительность рейса (с).

По этой методике представляется возможным определение суммарного крутящего момента при бурении скважин открытым шнеком в немерзлых породах средней крепости с непрерывным транспортированием разрушенной породы на поверхность.

Приведенные значения коэффициентов составляющих методик, определялись в лабораторных исследованиях в условиях односвязных пород, а исследования в условиях распространения многолетнемерзлых пород не проводились.

По Р.А. Ганджумяну и А.Г. Калинину [29], мощность, расходуемая при шнековом вращательном бурении скважин, определяется из следующего выражения:

$$N_{\text{вр}} = \frac{1}{30 \cdot \eta} \cdot \pi \cdot n \cdot (M_{\text{р}} + M_{\text{т}}) \quad (3.25)$$

$$M_{\text{р}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_c \cdot D_{\partial} \quad (3.26)$$

$$M_T = 250 \cdot D_\partial^3 \cdot H_{ш} \cdot \frac{\rho^1 \cdot g}{K_p} \quad (3.27)$$

$$\rho_c = 5000 \cdot \frac{1}{n} \cdot V_{\text{мех}} \cdot D_\partial \cdot \sigma_{\text{мб}} \cdot k_k \quad (3.28)$$

Где:  $n$  – частота вращения шнековой колонны, мин<sup>-1</sup>;  $\rho_c$  – полное сопротивление, преодолеваемое механизмом вращения, Н;  $D_\partial$  – диаметр долота, м;  $M_p$  – момент сопротивления при разрушении породы долотом, Нм;  $M_T$  – момент сопротивления при вращении заполненного разрушенной породой шнека и транспортировании породы, Нм;  $K_k$  – коэффициент учитывающий полноту контакта площади передней грани долота (0,5÷0,7);  $K_p$  – коэффициент разрыхления породы (1,1÷1,2);  $H_{ш}$  – длина шнековой колонны, м;  $\rho^1$  – относительная плотность горной породы;  $\sigma_{\text{мб}}$  – предел прочности породы при механическом бурении;

Из анализа приведенных расчетных формул видно, что мощность буровой установки зависит от многих факторов, в частности: от физико-механических свойств горных пород, коэффициента трения лопастей шнека с разрушенной породой о стенки скважины, технологических режимов бурения, параметров породоразрушающего инструмента и других.

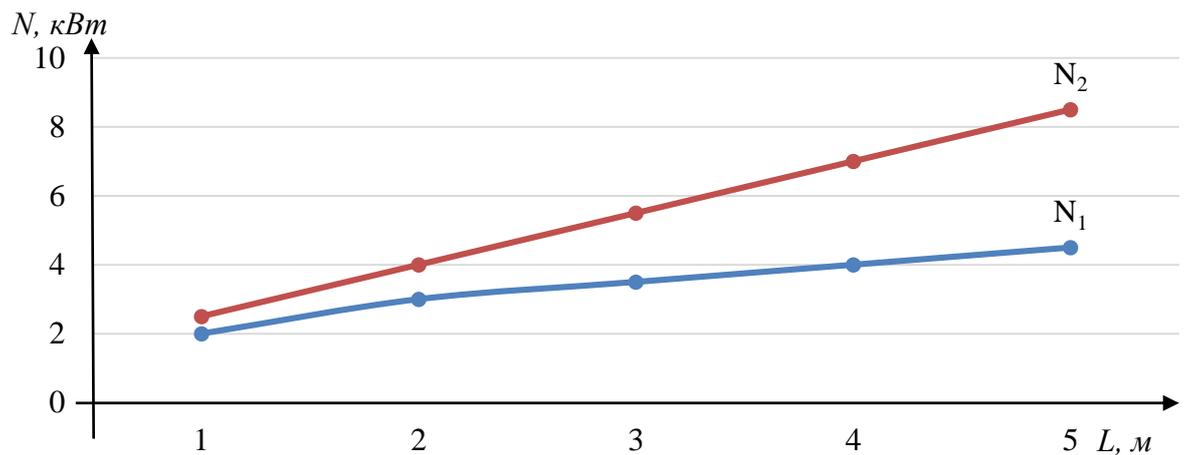
Ввиду многофакторности процесса бурения, получение аналитического выражения и расчет затрат потребляемой мощности возможны только экспериментальным путем.

В ходе натурных испытаний, контрольно-измерительными приборами измеряли следующие основные параметры: частоту вращения бурового инструмента  $n$ ; осевую нагрузку  $C_{oc}$  и расход мощности привода буровой установки  $N$ .

Наблюдение за динамикой изменения затрат мощности двигателя буровой установки проводилось прибором ИМДЦ (индикатор мощности двигателя цифровой). Определение мощности привода этим прибором производится с

погрешностью 3% путем измерения ускорения коленчатого вала двигателя буровой установки. Мощность двигателя прямо пропорциональна крутящему моменту и оборотам коленчатого вала, поэтому, зная ускорение можно вычислить мощность, передаваемую на привод вращателя. Ускорение замерялось с трехкратной повторностью и фиксацией среднего значения.

Полученные показатели расхода мощности привода буровой установки представлены на *рис.3.18, 3.19 и 3.20*.

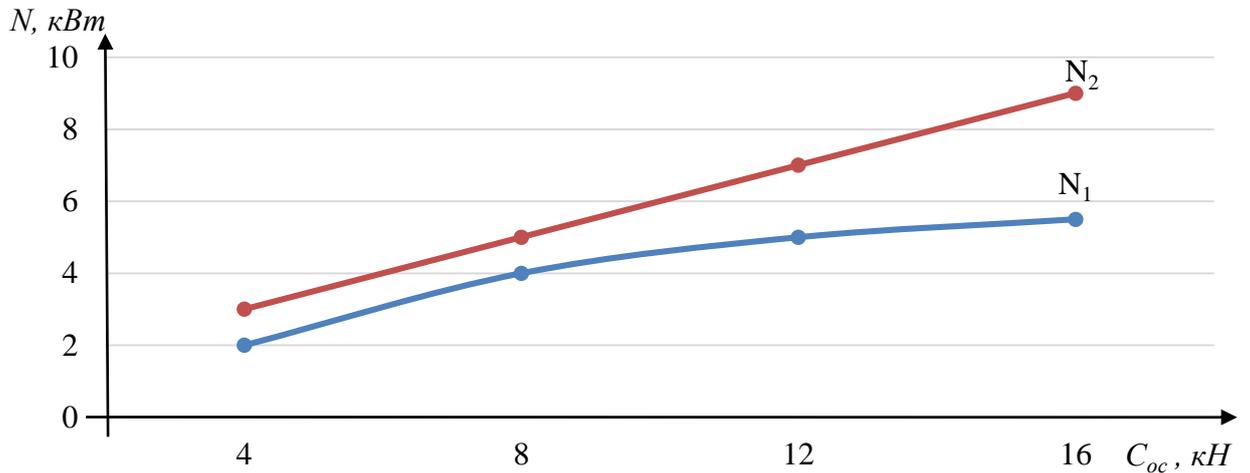


**Рис.3.18.** Динамика расхода мощности от глубины скважины  $N=f(L_{скв})$  На графике:  $N_1$  – опытный образец бурового снаряда;  $N_2$  – стандартный шнек.

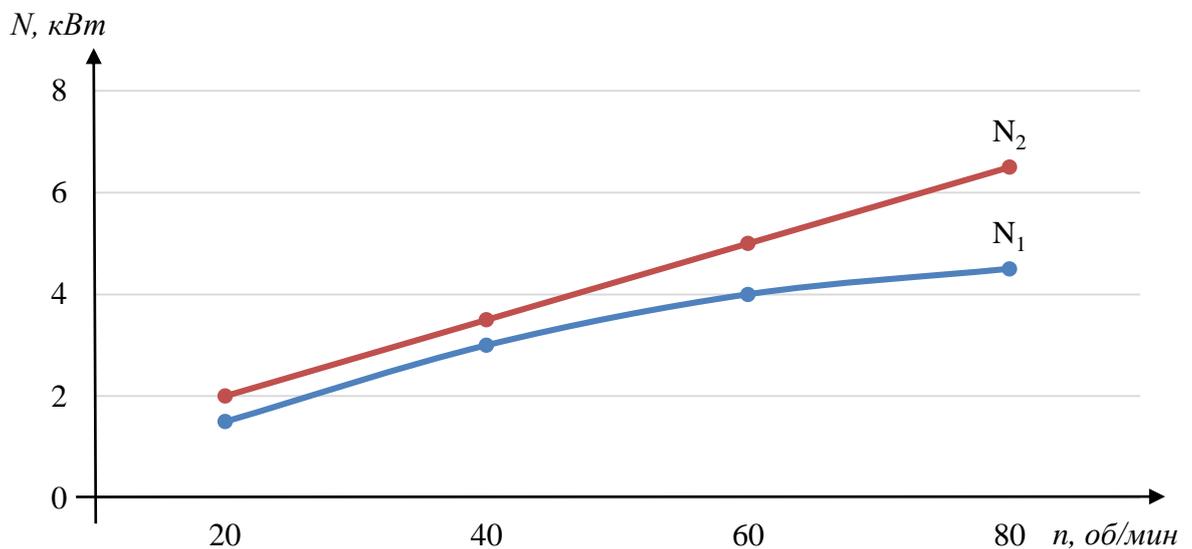
Результаты экспериментальных исследований расхода мощности привода буровой установки (*рис.3.18*) опытным образцом бурового снаряда и стандартным шнеком от глубины скважины свидетельствуют о том, что с увеличением глубины бурения скважины в мерзлых породах потребляемая мощность существенно возрастает. При этом, более интенсивный прирост потребляемой мощности с увеличением глубины скважины происходит при бурении стандартным шнеком. Это связано с тем, что в процессе бурения мерзлые породы подвергаются растеплению (оттайке), с последующим их прилипанием и смерзанием на буровом инструменте, а при бурении стандартным шнеком в открытом стволе еще и к стенкам скважины. Такое явление снижает транспортирующую способность стандартного шнека, из-за переуплотнения

межвиткового пространства поступающими породами увеличивая потребляемую мощность.

Результаты измерения динамики расхода мощности буровой установки при бурении скважин в зависимости от режимов бурения (осевой нагрузки  $C_{oc}$  и частоты вращения  $n$ ), приведены на *рис.3.19* и *3.20*.



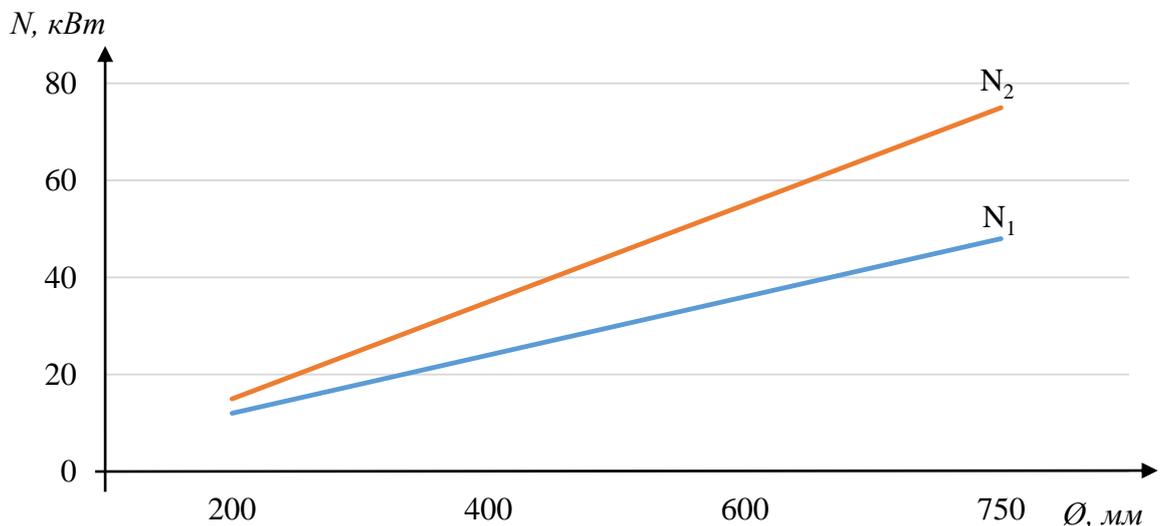
**Рис.3.19.** Динамика расхода мощности от осевого усилия  $N=f(C_{oc})$ , на графике:  $N_1$  – опытный образец бурового снаряда;  $N_2$  – стандартный шнек.



**Рис.3.20.** Динамика расхода мощности от частоты вращения  $N=f(n)$ , на графике:  $N_1$  – опытный образец бурового снаряда;  $N_2$  – стандартный шнек.

Установлена закономерность уменьшения затрат мощности на процесс бурения при бурении шнеко-аккумуляторным снарядом  $\varnothing 170$  мм. по сравнению с бурением стандартным шнеком на 15-20% с увеличением осевой нагрузки  $C_{oc}$  и частоты вращения  $n$  (рис.3.19 и 3.20). Это объясняется тем, что расход мощности в процессе бурения в первую очередь зависит от разности длины шнекового транспортера и от различия условий транспортирования пробы в открытом стволе скважины и в трубе. Рост потребляемой мощности с увеличением глубины бурения традиционным шнеком определяется за счет чрезмерной интенсификации расхода на очищение забоя скважины и транспортирование разрушенной породы шнеком по всему стволу скважины.

При подсчете затрат мощности, наиболее простой в применении является формула (3.24) разработанная Р.А. Ганджумяном и А.Г. Калинином [29]. По этой формуле определен характер изменения мощности, расходуемая при шнековом вращательном бурении скважин в зависимости от диаметра бурового снаряда  $N=f(\varnothing)$  рис.3.21.



**Рис.3.21.** Характер изменения расхода мощности от частоты вращения  $N=f(\varnothing)$ , на графике:  $N_1$  – шнеко-аккумуляторный буровой снаряд;  $N_2$  – стандартный шнек.

Из графика (*рис.3.21*) видно, что увеличение диаметра шнекового бурения закономерно ведет к существенному росту затрат мощности привода буровой установки, притом наиболее интенсивно при бурении стандартным шнеком из-за возрастающей длины шнека –  $H_{ш}$ . При увеличении диаметра бурового снаряда в процессе бурения скважины увеличиваются моменты сопротивления при разрушении забоя скважины и при вращении заполненного шнека и транспортировании разрушенной породы по всему открытому стволу скважины, которые приводят к уменьшению КПД двигателя, чрезмерно увеличивая расход мощности буровой установки. В случае с нашим шнеко-колонковым снарядом, момент сопротивления при вращении заполненного разрушенной породой укороченного шнека и транспортирование по внутренней поверхности колонковой трубы снаряда, значительно меньше, что позволяет сохранить КПД двигателя буровой установки и снизить расход мощности.

Полученные в ходе проведенных исследований зависимости (*рис.3.18, 3.19, 3.20*) расхода мощности привода буровой установки от глубины  $N=f(L)$  и режимов бурения  $N=f(C_{ос}, n)$  объясняются тем, что в процессе бурения стандартный шнек находится в постоянном контакте со стенкой скважины. С увеличением объема поступающих пород усиливается коэффициент трения о стенки скважины, что требует соответствующего увеличения осевой нагрузки, которая в свою очередь приводит к чрезмерному повышению расхода мощности буровой установки. В разработанном буровом снаряде, когда укороченный шнек (3-4 витка) работает внутри не вращающейся трубы, повышается производительность шнекового транспортера при малом расходе мощности буровой установки. Это все свидетельствует о целесообразности применения бурового снаряда в котором шнек ограниченной длины располагается внутри трубы и обеспечивает циклический способ (рейсовый) бурения скважин в условиях многолетнемерзлых пород.

## Выводы

Результаты проведенных экспериментальных исследований процесса бурения шурфо-скважин в условиях криолитозоны, позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Определена общая структурно-функциональная схема и разработана конструкция шнеко-аккумулирующего бурового снаряда, который позволяет бурить скважины большого диаметра с поинтервальным отбором пробы, что обеспечивает высококачественную представительность пробы при разведке россыпных месторождений.

2. Необходимо при подсчете объема пробоприемной камеры бурового учесть коэффициент наполнения  $K_n$  для предупреждения чрезмерного наполнения камеры и обеспечения необходимого свободного пространства в колонковой трубе при максимальном интервале проходки.

3. Натурные испытания опытного образца шнеко-аккумулирующего снаряда с диаметром 170 мм. позволили проверить работоспособность разрабатываемого бурового снаряда большого диаметра, внести соответствующие корректировки по дальнейшему совершенствованию конструкции и оптимизации технологии бурения шурфо-скважин в условиях мерзлых пород.

4. Проведенные экспериментальные исследования механической скорости  $V_{мех}$  бурения позволили установить оптимальный режим работы бурового снаряда в зависимости от осевой нагрузки  $V_{мех}=f(C_{ос})$  и частоты вращения  $V_{мех}=f(n)$ .

5. Полученные в ходе натурных испытаний зависимости механической скорости от параметров бурения (осевой нагрузки и частоты вращения) достаточно объективно отражают высокие технические показатели опытного образца бурового снаряда. Это объясняется расположением укороченного шнека внутри невращающейся трубы снаряда.

6. При бурении разработанной нами конструкцией шнеко-аккумулирующего бурового снаряда с поинтервальным (рейсовым) отбором пробы, в котором шнек ограниченной длины расположен внутри не вращающейся трубы, достигается не только повышение качества опробования, но и по результатам экспериментальных исследований значительное снижение расхода мощности привода буровой установки в процессе бурения.

7. По результатам натурных испытаний опытного образца спроектирована конструкция бурового снаряда и на заводе ОАО «Алмазы Анабара» изготовлен новый шнеко-аккумулирующий буровой снаряд диаметром 750 мм. с поинтервальным отбором пробы для бурения шурфо-скважин при разведке алмазов на производственных участках ОАО «Алмаза Анабара».

8. Дальнейшие совершенствования шнеко-аккумулирующего способа бурения шурфо-скважин при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых в условиях криолитозоны связаны с исследованиями температурного режима процесса бурения, транспортирования и отбора проб мерзлых пород, а также разработки технологических приемов борьбы с процессом оттайки-замерзания разрушенной породы в буровом снаряде. Необходимо отметить, что в процессе бурения опытным образцом бурового снаряда, в котором разрушенная порода транспортируется укороченным шнеком внутри трубы, исключается прямой контакт транспортируемой разрушенной породы с положительной температурой со стенкой скважины, тем самым снижает процесс оттайки стенки скважины, образования сальников и, самое главное прилипания и смерзания пробы к стенкам скважины.

## ГЛАВА 4.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

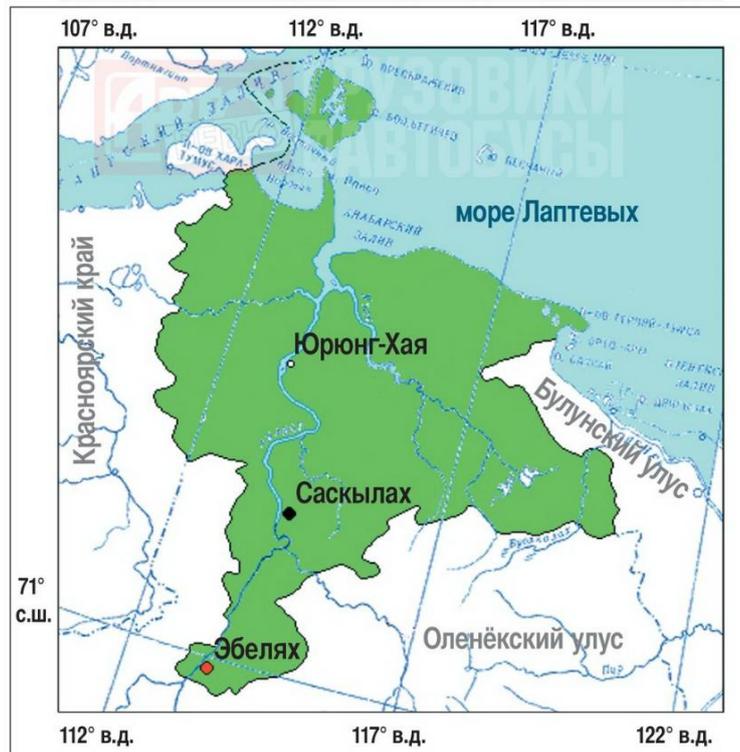
#### 4.1. Геолого-технические условия проходки шурфов на россыпных месторождениях ОАО «Алмазы Анабара»

Район эксплуатационных и геологоразведочных работ россыпных месторождений алмазов производственный участок – прииск «Маят», *рис.4.1*, расположен в Анабарском улусе Республики Саха (Якутия) на берегу р. Маят *рис.4.2* – правого притока р. Анабар.



*Рис.4.1. Прииск «Маят».*

Климат района характеризуется резко континентальным с продолжительным (7-8 мес.) зимним периодом и умеренно тёплым коротким летним периодом (2-2,5 мес.). Средняя температура в зимние периоды составляет  $-35,5^{\circ}\text{C}$ , летние  $+11,7^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура  $-14^{\circ}\text{C}$ . Уровень снежного покрова в среднем составляет 1,5 м. Для района лесотундры характерна сезонная смена направлений воздушных течений.



*Рис.4.2. Район расположения производственных участков ОАО «Алмазы Анабара»*

В районе отмечается повсеместное развитие многолетнемерзлых пород. Почвенный покров развит слабо. Площадь района работ расположена в зоне лесотундры.

Постоянные автодороги в районе отсутствуют. Перевозки в зимнее время производятся по автозимникам, проложенным главным образом по рекам. В летний период перевозки осуществляются водным транспортом по реке Анабар, самолетами, вертолетами. Автозимники функционируют с конца декабря до начала мая.

Район работ расположен на северо-восточной окраине Сибирской платформы в зоне сочленения двух крупных структур - Анабарской антеклизы и Лено-Анабарского прогиба.

Коренные породы района представлены отложениями Анабарской свиты среднего кембрия ( $E_{2an}$ ). В составе свиты преобладают доломиты мелко-среднезернистые.

Отложения четвертичного возраста широко развиты в районе и в генетическом отношении представлены аллювиальными, полигенными покровными, делювиально-пролювиальными и озерно-болотными образованиями. Мощность их меняется от 0,5-2,0 до 20,0-28,0 м.

Алмазоносными из них являются верхнечетвертичные осадки и современные четвертичные образования.

Верхнечетвертичные осадки, слагающие аллювий I-II надпойменных террас и выполняющие днища переуглубленных долин характеризуются повышенной алмазоносностью. Представлены русловыми галечно-песчано-глинистыми образованиями, пойменными илами и суглинками. По результатам оценочных и разведочных работ промышленные россыпи алмазов в верхнечетвертичных отложениях установлены в долинах руч. Кула и Олом – левых притоков р. Маят и в долине р. Моргогор.

К современным четвертичным образованиям относятся аллювий русла, низкой и высокой поймы р. Маят и Моргогор. Аллювий представлен гравийно-галечным материалом с редкой примесью валунов и разнозернистыми песками с включением гальки и гравия.

Аллювий русла состоит из песчано-гравийно-галечного материала с примесью валунов и глыб (до 10%).

Средняя мощность аллювиальных отложений, слагающих пески промышленных россыпей р. Маят и р. Моргогор составляют - 1,5 м.

Проходка разведочных шурфов осуществляется буровзрывным способом с механическим бурением шпуров и с интервалом проходки 0,5-0,6 м.

Форма шурфов прямоугольная, длинная сторона располагается поперек долины. Углубку шурфов производят в соответствии с принятой методикой отбора рядовых проб.

С учетом опыта ранее проведенных геологоразведочных работ по россыпям р. Маят и р. Моргогор проектируются шурфы с переменным сечением. Сечение шурфа по торфам принимается равным 2,0 м<sup>2</sup> (1,3×1,5 м).

Пески с учетом обеспечения расчетного объема для обеспечения представительности опробования рядовой пробы проходятся сечением от 3,0 м<sup>2</sup> (россыпь Моргогор) до 4,0 м<sup>2</sup> (россыпь р. Маят). Для достижения требуемого сечения по пескам в подошве торфов в интервале высоты 0,6 м производится плавное расширение сечения шурфа.

Уборка породы из шурфа до глубины 2,5 м вручную на выброс, а в дальнейшем – механическим двуручным воротком в бадьях емкостью 0,03 м<sup>3</sup>, заполненных на 10 см ниже ее верхней кромки. Выгрузка породы производится при установленном предохранительном полке.

При проходке шурфов вручную на забое работает один человек и двое – на ручном воротке при откатке (выгрузке) породы и обеспечении спуска-подъема шурфовщика или геолога.

Крепление устья шурфов глубиной свыше 3,0 метров подлежат обязательному креплению. Каждый шурф глубиной более 3,0 м будет крепиться на глубину 1,0 метр с выводом крепи на 0,3 метра на поверхность, то есть объем крепления на 1 шурф составит 1,3 метра.

#### **4.2. Изготовление шнеко-аккумулирующего бурового снаряда диаметром 750 мм. с поинтервальным отбором проб**

Завершающим этапом нашего исследования по разработке конструкции бурового снаряда и технологии бурения скважин большого диаметра в условиях криолитозоны, является конструирование и изготовление производственного варианта шнеко-аккумулирующего бурового снаряда.

При конструировании шнеко-аккумулирующего снаряда главным фактором является определение необходимого объема пробоприемной камеры  $V_k$  колонковой трубы в зависимости от диаметра и максимального интервала

проходки скважины, для определения оптимальных параметров конструкции бурового снаряда.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что объем пробоприемной камеры  $V_k$  зависит от конструктивных особенностей бурового снаряда (диаметра долота, трубы, количества витка шнека и др. параметров), максимального интервала проходки скважины  $l_{np}$  по методике разведки полезных ископаемых, от коэффициента разрыхления горной породы  $K_p=1,1\div 1,6$ , а также от коэффициента наполнения  $K_n$  для предупреждения чрезмерного наполнения камеры и обеспечения необходимого свободного пространства в колонковой трубе при максимальном интервале проходки.

Объем извлекаемой пробы определяется по следующему выражению:

$$V_{np} = \pi \cdot r_{скв}^2 \cdot l_{np} \cdot K_p \quad (4.1)$$

где:  $r_{скв}$  – радиус скважины, м;  $l_{np}$  – рейсовая проходка, м;  $K_p$  – коэффициент разрыхления горной породы (1,1÷1,6).

Для подсчета объема пробоприемной камеры разработанного шнеко-аккумулирующего бурового снаряда нами предлагается следующая расчетная формула:

$$V_k = (V_1 + V_2) \cdot K_n \quad (4.2)$$

где:  $V_k$  – общий объем камеры бурового снаряда, м<sup>3</sup>;  $V_1$  – объем пробоприемника, м<sup>3</sup>;  $V_2$  – объем шнека, м<sup>3</sup>;  $K_n$  – коэффициент наполнения (зависит от длины рейсовой проходки, но не более 1,0). При этом,  $V_{np} \leq V_k$ .

Объем пробоприемника  $V_1$  определяем по следующему выражению:

$$V_1 = (\pi \cdot r_{\text{BT}}^2 \cdot h) - (\pi \cdot r_{\text{шт}}^2 \cdot h) = \pi \cdot h \cdot (r_{\text{BT}}^2 - r_{\text{шт}}^2) \quad (4.3)$$

где:  $r_{\text{BT}}$  – внутренний радиус трубы, м;  $r_{\text{шт}}$  – радиус буровой штанги, м;  $h$  – высота трубы и штанги, м.

Объем шнека бурового снаряда  $V_2$  вычисляем по следующей формуле:

$$\begin{aligned} V_2 &= (\pi \cdot (r_{\text{ш}}^2 - r_{\text{шт}}^2) \cdot n_p \cdot l_p) - (\pi \cdot (r_{\text{ш}}^2 - r_{\text{шт}}^2) \cdot n \cdot h_p) = \\ &= \pi \cdot (r_{\text{ш}}^2 - r_{\text{шт}}^2) \cdot n_p \cdot (l_p - h_p) \end{aligned} \quad (4.4)$$

где:  $r_{\text{ш}}$  – радиус шнека, м;  $r_{\text{шт}}$  – радиус буровой штанги, м;  $n_p$  – количество реборды;  $l_p$  – шаг между ребордами, м;  $h_p$  – толщина реборды, м;

Подставляя выражения (4.3) и (4.4) в формулу (4.2) получаем следующее выражение определения объема пробоприемной камеры бурового снаряда:

$$V_{\text{к}} = \left( (\pi \cdot h \cdot (r_{\text{BT}}^2 - r_{\text{шт}}^2)) + (\pi \cdot (r_{\text{ш}}^2 - r_{\text{шт}}^2) \cdot n_p \cdot (l_p - h_p)) \right) \cdot K_{\text{н}} \quad (4.2)$$

По предложенной формуле (4.2) рекомендуется определить необходимый объем пробоприемной камеры в зависимости от диаметра и максимального интервала проходки скважины, для определения оптимальных параметров конструкции разработанного бурового снаряда.

Подставляя исходные значения параметров предполагаемой шурфоскважины с учетом диаметра бурового снаряда и максимальной длины рейсовой проходки  $l_{\text{пр}}$  по методике разведки россыпных месторождений, которая составляет 1 м., в формулу (4.1) и (4.2) вычисляем объем извлекаемой пробы  $V_{\text{пр}}$  и общий объем камеры бурового снаряда  $V_{\text{к}}$ :

$$V_{\text{пр}} = \pi \cdot r_{\text{скв}}^2 \cdot l_{\text{пр}} \cdot K_{\text{р}} = 3,14 \cdot 0,375^2 \cdot 1 \cdot 1,4 = 0,62 \text{ м}^3$$

Объем пробоприемника  $V_1$  определяем по формуле (4.3):

$$V_1 = \pi \cdot h \cdot (r_{\text{вт}}^2 - r_{\text{шт}}^2) = 3,14 \cdot 1,5 \cdot (0,33^2 - 0,084^2) = 0,55 \text{ м}^3$$

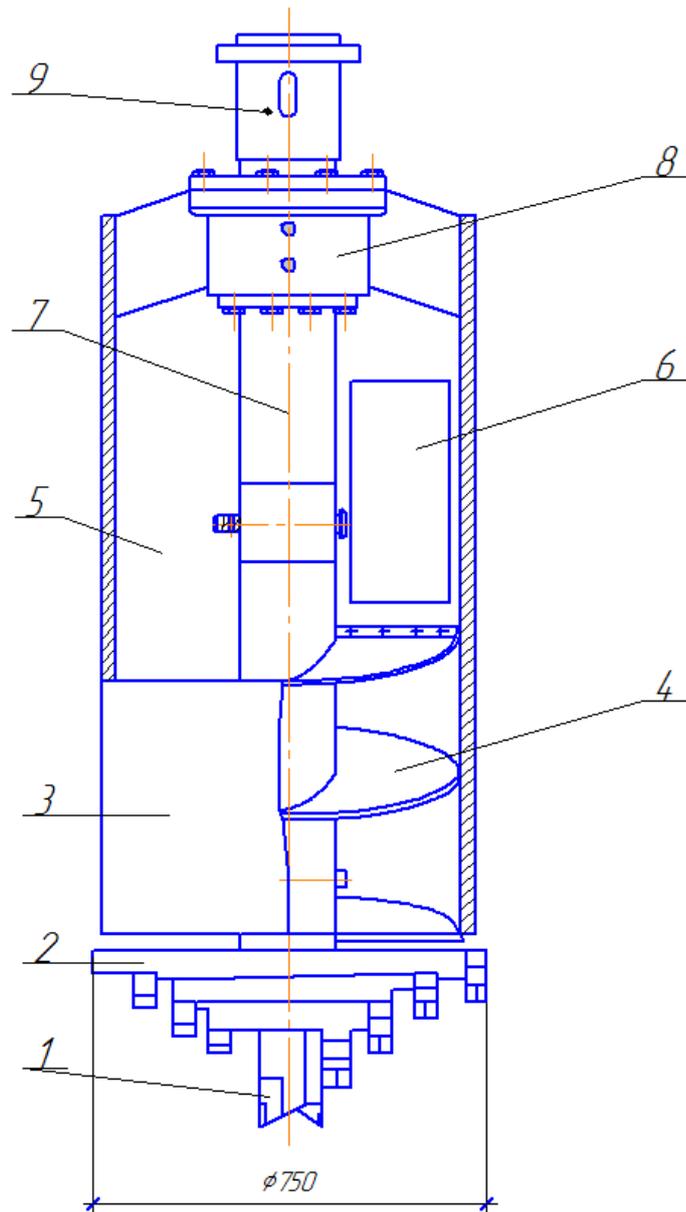
Объем шнекового транспортера  $V_2$ , определяем по формуле (4.4):

$$\begin{aligned} V_2 &= \pi \cdot (r_{\text{ш}}^2 - r_{\text{шт}}^2) \cdot n_p \cdot (l_p - h_p) \\ &= 3,14 \cdot (0,33^2 - 0,084^2) \cdot 2 \cdot (0,36 - 0,03) = 0,25 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

По формуле 4.2. определяем общий объем камеры бурового снаряда  $V_k$ :

$$V_k = (V_1 + V_2) \cdot K_H = (0,55 + 0,25) \cdot 1,0 = 0,8 \text{ м}^3$$

Разработанная методика конструирования, а также полученные результаты в ходе проведенных экспериментальных исследований опытного образца бурового снаряда  $\text{Ø}170\text{мм.}$  и предложенная расчетная формула (4.2) позволили разработать конструкцию шнеко-аккумулирующего бурового снаряда диаметром  $750\text{мм.}$  для бурения шурфо-скважин (рис.4.4).



**Рис.4.4.** Конструкция шнеко-аккумулирующего бурового снаряда. 1 – резцы опережающего долота; 2 – долото; 3 – камера бурового снаряда (труба); 4 – шнек; 5 – пробоприемная камера (пробоприемник); 6 – вспомогательное окно; 7 – буровая штанга; 8 – подшипниковый узел; 9 – переходник.

По разработанным нами чертежам на механическом заводе ОАО «Алмазы Анабара» изготовлен производственный вариант шнеко-колонкового бурового снаряда диаметром 750мм. с поинтервальным отбором разрушенной породы (рис.4.5.) для бурения шурфо-скважин при разведке россыпных месторождений в условиях криолитозоны.



*Рис.4.5. Шнеко-аккумулирующий буровой снаряд  $\text{Ø}750$  мм.*

Главными узлами бурового снаряда являются стандартные буровые породразрушающие инструменты (долота) и шнековый транспортер (рис.4.6). При конструировании шнекового транспортера, геометрические параметры в первую очередь зависят от физико-механических свойств пород разрабатываемого месторождения. При проектировании шнека по мерзлым породам, отношение шага между лопастями к наружному диаметру принимается равным 0,4 - 0,6, а отношение внутреннего диаметра шнекового транспортера к наружному 0,25 - 0,40. В горных массивах повышенной

влажности отношение шага шнека к наружному диаметру принимается равным 0,6 - 1,0. Иногда, по необходимости при конструировании шнека применяют переменный шаг лопастей, постепенно уменьшающийся по направлению от долота к соединительной муфте снаряда [9, 10].



*Рис.4.6. Шнек и долота бурового снаряда.*

Учитывая горно-геологические, сложные мерзлотные и климатические условия разведываемого участка россыпных месторождений ОАО «Алмазы Анабара» в буровом снаряде по разработанной методике предусмотрено на первом этапе внедрения, использование двух видов стандартного породоразрушающего инструмента (долота). Первый породоразрушающий инструмент предназначен для бурения скважин в породах до IV категории по буримости типа БТКП-Т с резцами РТП-45 (рис.4.7). Вторым породоразрушающим инструментом типа БТКК-Т с резцами РТК-50 (рис.4.8) для бурения скважин в породах выше IV категории по буримости.



***Рис.4.7.** Бур конусно-усиленный БТКП-Т. Предназначен для бурения пород до IV категории по буримости (мерзлые до V категории) с прослоями до 0,7 м – до VI категории.*



***Рис.4.8.** Бур конусно-скальный БТКК-Т, предназначен для бурения пород с IV по VI категории по буримости.*

Подшипниковая опора (рис.4.9) бурового снаряда, представляет собой 3 соединенные посредством сварки к буровой штанге закрытые бесшариковые

упорные подшипники, которые предназначены для свободного вращения колонковой трубы при внедрении бурового снаряда в скважину и усиливают момент трубы при подъеме и при оказании давления на буровой снаряд.



*Рис.4.9. Подшипниковая опора бурового снаряда.*

В буровом снаряде для извлечения выбуренной породы по проекту сконструированы вспомогательные окна (*рис.4.10*) в противоположной стороне друг от друга. Результаты стендового испытания показали что, при большом диаметре снаряда не исключается возможность использования открытых окошек. При такой конструкции намного ускорится процесс извлечения в случае прилипания и заклинивания в шнековом транспортере разрушенных пород из бурового снаряда.



*Рис. 4.10. Вспомогательное окно.*

Для повышения эффективности транспортирования поступающих пород шнеком, обязателен выступ части первой лопасти шнека из трубы (рис.4.11).



*Рис.4.11. Выступающая часть шнекового транспортера.*

Разработанный шнеко-аккумулирующий буровой снаряд с поинтервальным отбором проб имеет следующие преимущества:

- используется относительно упрощенная конструкция бурового снаряда (стандартные буровые инструменты);

- шнековый транспортер расположен внутри колонковой трубы, при этом разрушенная порода не затирается в стенки скважины и обеспечивается качественный отбор пробы в полном объеме;
- ограниченная длина шнекового транспортера (2-3 витка) в колонковой трубе снижает расход мощности привода буровой установки на вращательное бурение;
- поинтервальный (рейсовый) отбор разрушенной породы, исключая потери и разубоживание соседними интервалами, обеспечивает высокое качество и представительность пробы в данном интервале;
- снижаются осложнения транспортировки мерзлой разрушенной породы, которые характерны при работе стандартного шнека в открытом стволе скважины, связанные с процессом прилипания, смерзания льдистой разрушенной породы на ребордах шнека и стенке скважины при температурных колебаниях на забое и в стволе скважины;
- расширяются возможности оптимизации рационального режима бурения ( $C_o$ ,  $n$ ): увеличение частоты вращения  $n$  при ограничении и стабилизации осевой нагрузки  $C_o$ ;
- возможны как технологические, так и валовые опробования месторождения;

### **4.3. Оценка технико-экономической эффективности и рекомендации по внедрению в производство**

Критерий минимума стоимости одного метра проходки скважины является общепризнанным и наиболее распространенным критерием оптимизации процесса бурения скважин различной глубины и назначения, характеризующим его с технической и экономической точек зрения [106].

Стоимость проходки одного метра скважины складывается из следующих затрат: заработной платы рабочего персонала, от категории буримости горных пород, удельного расхода истирающих материалов (при алмазном и твердосплавном бурении), а также от стоимости одного часа работы буровой и т.д.).

Поскольку бурение скважины разработанным шнеко-аккумулирующим снарядом основано на технологии шнекового бурения, для оценки средней экономической эффективности его применения при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых, сравниваются стоимости 1 п.м. проходки шурфа буровзрывным (БВР) и бурения скважин ударно-канатным способом (УКБ), а также стоимость 1 п.м. бурения скважины большого диаметра шнековым способом в условиях мерзлых грунтов Якутии.

В *таблице 4.1.* представлена прогнозная оценка технико-экономической эффективности разработанного шнеко-аккумулирующего бурового снаряда диаметром 750мм. по данным 2014 года ОАО «Алмазы Анабара».

Прогнозная оценка технико-экономической эффективности бурения  
шнеко-колонковым буровым снарядом

№	Показатели	Ед. изм.	Буровзрывной способ (БВР) (сечение 3 м <sup>2</sup> )	Ударно-канатное бурение (Ø650мм.)	Шнеко-аккумуляирующее бурение Ø750мм.
1	Средняя производительность	п.м./мес.	280	320	480
2	Стоимость 1 п.м.	т.р.	8,8	7,2	4,3
3	Стоимость 1000 п.м.	т.р.	8 800	7 200	4 300
3	Прогнозная экономическая эффективность при применении шнеко-аккумуляирующего снаряда на 1000 п.м.	т.р.	4 500	2 900	

Бурение шурфоскважин разработанным шнеко-аккумуляирующим буровым снарядом при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых (алмазов, золота, олова и т.д.) в условиях криолитозоны обеспечит значительное повышение технико-экономической эффективности разведки по сравнению с существующими способами: проходкой шурфов (БВР, на пожар и т.д) и бурением скважин ударно-канатным способом.

Для внедрения в производство разработанного бурового снаряда предлагается использование буровой установки отечественного производства БКМ-2032 (рис.4.12), хорошо зарекомендовавшего себя в суровых зимних условиях Республики Саха (Якутия) при строительных работах: возведение свай, опоры мостов и др.

Машина предназначена для бурения скважин в породах до VI категории, включая многолетнемерзлые. Максимальная глубина бурения составляет 20 метров при диаметре 1,2 м.



*Рис.4.12. Буровая установка БKM-2032, на базе вездехода МТЧ-4*

В качестве базового автомобиля для монтажа навесного оборудования используется шасси МТЧ-4 (для бездорожий) или автомобиль КамАЗ 53228 (БKM-2012) [86].

Преимущества бурильно-крановой машины (БKM) относительно других буровых установок:

- возможность бурения под разным углом;
- доступность бурения множества точек с одной позиции машины;
- возможность бурения в труднодоступных местах;
- возможность бурения на сложных ландшафтах;
- возможность работы в сложных климатических условиях;
- бурение скважин с келли технологией, что дает больший эффект при спуско-подъемных и вспомогательных операциях [55].

Наличие поворотной платформы дает возможность увеличивать рабочую зону и получать несколько скважин с одной установки машины, не меняя позиции и позволяет экономить до 22% времени на бурильных работах, что снижает себестоимость работы.

## Выводы

1. На основе полученных данных экспериментальных исследований, спроектирован и изготовлен производственный вариант шнеко-аккумуляторного бурового снаряда  $\varnothing 750$  мм. для бурения шурфоскважин при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых в условиях криолитозоны. Буровой снаряд позволяет бурить скважины с поинтервальным отбором пробы, обеспечивая ее высокую представительность.

2. По результатам экспериментальных исследований опытного образца шнеко-аккумуляторного снаряда с диаметром 170 мм., предложена расчетная формула для подсчета необходимого объема пробоприемной камеры в зависимости от максимального интервала проходки скважины  $l_{np}$  и диаметра скважины, для определения оптимальной конструкции (высоты трубы, длины шнека и др. параметров) бурового снаряда.

3. Для внедрения в производство разработанного бурового снаряда диаметром 750 мм. рекомендуется использование буровой установки серии БКМ-2032 или БКМ-2012, хорошо зарекомендовавшей себя в суровых климатических условиях Республики Саха (Якутия).

4. При внедрении в производство шнеко-аккумуляторного бурового снаряда прогнозируется значительный экономический эффект, около 5 млн. руб. на 1000 п.м., по сравнению с основным способом (проходка шурфов с БВР) разведки россыпных месторождений в ОАО «Алмазы Анабара».

5. С целью дальнейшего расширения области применения шнеко-аккумуляторного бурового снаряда при разведке россыпных месторождений целесообразно продолжить работы по совершенствованию транспортирования и извлечения разрушенной породы, разработке новых специальных конструкций породоразрушающих инструментов комбинированного действия для эффективного разрушения мерзлых пород.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В диссертационной работе изложены научно обоснованные технические и технологические решения по определению конструктивных и режимных параметров шнеко-аккумулирующего бурового снаряда для бурения шурфоскважин при разведке россыпных месторождений на Северо-Востоке России в условиях распространения многолетнемерзлых пород (криолитозоны).

Основные выводы и результаты исследования, достигнутые в ходе написания диссертации приведены ниже:

1. На разведке россыпных месторождений полезных ископаемых в районах распространения многолетнемерзлых пород поиск принципиально новых методов, технических средств и технологий разведки россыпных месторождений является актуальной задачей геологоразведочной отрасли.
2. В основе осложненных условий бурения скважин в многолетнемерзлых породах лежит температурный фактор, определяющий эффективность процесса разрушения и транспортировки мерзлых горных пород и устойчивость стенки скважины.
3. Поставлена и решена задача разработки нового способа и технологических средств бурения скважин большого диаметра для замены малопродуктивных и дорогостоящих шурфопроходческих способов разведки россыпных месторождений полезных ископаемых в условиях криолитозоны.
4. Проведены научные экспериментальные исследования на опытном образце бурового снаряда, подтвердившие работоспособность разработанной нами новой конструкции шнеко-аккумулирующего бурового снаряда.
5. В ходе проведения натурных испытаний выявлены зависимости механической скорости от режимных параметров процесса бурения

$V_{max}=f(n, C_{oc})$  и расхода мощности буровой установки от глубины скважины и диаметра бурового снаряда  $N=f(L_{скв}, \emptyset)$ .

6. Установлена зависимость объема пробоприемной камеры разработанного шнеко-колонкового бурового снаряда от интервала опробования (рейсовой проходки)  $V_{np}=f(l_{np})$ , для определения оптимальных параметров конструкции бурового снаряда.

7. Научно обоснованы рекомендации по совершенствованию конструкции породоразрушающего инструмента (долота) при бурении скважин в условиях многолетнемерзлых пород, обеспечивающее эффективное объемное разрушение мерзлых пород с наименьшим процессом теплообразования в скважине.

8. Выявлена зависимость выделяемой теплоты на забое скважины от радиуса расположения резцов  $T=f(r)$  породоразрушающего инструмента (долота) при резании мерзлой породы.

9. Предложена расчетная формула для подсчета необходимого объема пробоприемной камеры в зависимости от максимального интервала проходки скважины  $l_{np}$  и диаметра скважины, для определения оптимальной конструкции (высоты трубы, длины шнека и др. параметров) бурового снаряда.

10. Разработанная и изготовленная конструкция шнеко-аккумулирующего бурового снаряда диаметром 750мм. с поинтервальным отбором разрушенной породы, принята для внедрения в производство на разведке россыпных месторождений алмазов ОАО «Алмазы Анабара» Республики Саха (Якутия).

11. Замена шурфопроходческих работ бурением шурфоскважин разработанным нами буровым снарядом позволит значительно повысить производительность, получить большой экономический эффект, обеспечить безопасность и более комфортные условия рабочих. При этом, средний экономический эффект от замены проходки шурфов и ударно-

канатного бурения бурением шурфоскважин шнеко-аккумулирующим буровым снарядом с диаметра 750мм. при разведке россыпных месторождений в ОАО «Алмазы Анабара» составит около 5 млн. руб. на 1000 п.м.

12. Определены дальнейшие цели и задачи по совершенствованию конструкции разработанного бурового снаряда и технологии бурения шурфо-скважин при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых в условиях криолитозоны, связанные с исследованиями температурного режима процесса бурения, транспортирования и отбора пробы из снаряда, а также разработки технологических приемов борьбы с процессом оттайки и смерзания разрушенной породы в буровом снаряде.

**ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Арифудин Б. А. Методика определения мощности на шпинделе вращателя буровых станков / Б. А. Арифудин, В. Т. Кардыш // в кн. Методика и техника разведки. – Л.: ОНТИ ВИТР, 1979, №30.
2. Артемьев К. А. Основы теории копания грунта скреперами / К. А. Артемьев. – М.: Машгиз, 1963. – 128 с.
3. Артемьев К. А. К выбору формы лезвия буровых коронок для мерзлого грунта / К. А. Артемьев, И. И. Гришнин, О. П. Матюшенко // Строительные и дорожные машины. – 1970. – № 6. – С. 4-6.
4. Баловнев В. И. Новые методы расчета сопротивлений резанию грунтов : учеб.- метод. пособие / В. И. Баловнев. – М. : Мосрусиздат, 1963. – 140 с.
5. Барабатский И. И. О рациональной форме лопастей долот режущего действия / И. И. Барабатский, Я. В. Куцняк // Нефтяное хозяйство. – 1984. – № 3. – С. 13-17.
6. Басов И. Г. Исследование влияния формы режущей части инструмента на износостойкость при разрушении мерзлых грунтов / И. Г. Басов, В. Б. Лещинер // Исследование землеройных машин: сб. – Томск: Изд-во ТПУ, 1977. – С. 39-44.
7. Басов И. Г. Влияние физических свойств мерзлых грунтов на показатели прочности и разрушения резанием / И. Г. Басов, В. Б. Лещинер, Г. И. Митерев. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1983. – 21 с.
8. Башкатов Д. Н. Методика определения оптимальных параметров бурового шнека / Д. Н. Башкатов // Известия вузов. Геология и разведка. – 1962. – №10. – С. 35-41.
9. Башкатов Д. Н. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин / Д. Н. Башкатов, Ю. А. Олоновский. – М.: Недра, 1968. – 192 с.
10. Башкатов Д. Н. Экспериментальные исследования по усовершенствованию технологии шнекового бурения / Д. Н. Башкатов, Ю. А. Олоновский //

- Бюллетень научно-технической информации. – 1965. – №2(55). – С. 160-167.
11. Бейсебаев А.М. Бурение скважин и горно-разведочные работы/ Туякбаев Н.Т., Федоров Б.В. –М.: Недра, 1990. -303с.
  12. Борисович В. Т. Бурение скважин большого диаметра / В. Т. Борисович, Р. В. Зеленцов, В. В. Чунусов. – М.: Недра, 1977. – 216 с.
  13. Бриль С. К. Машины для рытья ям (конструкция, теория, расчет) / С. К. Бриль. – М.: Машиностроение, 1964. – 132 с.
  14. Брылин В. И. Бурение скважин на россыпи: учеб. пособие / В. И. Брылин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – С. 3-65.
  15. Брылин В.И. Бурение скважин специального назначения: учеб. пособие/ В.И. Брылин. – 3-е издание. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 255с.
  16. Брылов С. А. Бурение скважин большого диаметра установкой ЛБУ-50 / С. А. Брылов, Л. Г. Грабчак, А.А. Шеленков, А. И. Кабанцев // Разведка и охрана недр. – 1973. – № 7. – С. 52-55.
  17. Брылов С. А. Бурение скважин большого диаметра / С. А. Брылов, Л.Г. Грабчак, Н.И. Куличихин, В.В. Олейник. – М.: ВИЭМС, 1973. – 190 с.
  18. Брылов С. А. Колонковый снаряд для проходки шурфов / С. А. Брылов, Л. Г. Грабчак, В. И. Несмотряев // Геология и разведка. – 1973. – № 9. – С. 61-68.
  19. Брылов С. А. Пути совершенствования шнековых шурфобуров / С. А. Брылов, Л. Г. Грабчак, В. А. Плохих // Геология и разведка. – 1973. – № 3. – С. 36-41.
  20. Брылов С. А. Технология бурения скважин большого диаметра / С. А. Брылов и др. //Геология и разведка. – 1972. – № 4. – С. 48-55.
  21. Брылов С. А. Современная технология и механизация горно-разведочных работ / С. А. Брылов, Ш. Б. Багдасаров, Л. Г. Грабчак. – М.: Недра, 1976. – С. 285-289.

22. Бугаков Ю. Д. Развитие техники и технологии буровых работ / Ю. Д. Бугаков // Разведка и охрана недр. – 1984. – № 8. – С. 33-41.
23. Бугаев В. Г. Исследование процесса, разработка конструкции режущего инструмента и обоснование режимов вращательного бурения скважин : дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2004. – 307 с.
24. Бухаров А.О. Совершенствование технологии бурения шурфов в валунно-галечниковых отложениях : дис. ... канд. техн. наук/ А. О. Бухаров. – М. , 1984. – 122 с.
25. Волков А. С. Машинист буровой установки : учеб. и справ. пособие / А. С. Волков. – М.: ВИЭМС, МПР России, 2003. – 728 с.
26. Волков Д. П. Разработка мерзлых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями дискофрезерными рабочими органами / Д. П. Волков, Б. В. Осипенко // Строительные и дорожные машины. – 1988. – № 9. – С. 3-5.
27. Вотяков И. Н. Общее мерзлотоведение / И. Н. Вотяков и др. – М.: Наука, 1974. – 290 с.
28. Гамбаров А. М. О критерии оптимальности процесса бурения / А. М. Гамбаров // Вопросы вычислительной техники: сб. тр. / Ин-т кибернетики АН Азербайджанской ССР. – Баку, 1967. – Т. 4. – С. 101-106.
29. Ганджумян Р.А. Расчеты в бурении: справ. пособие/ А.Р. Ганджумян и др./ под редакцией А.Г. Калинина, - М: РГГРУ, 2007. -668 с.
30. Грабчак Л. Г. Об оптимальном угле резания при бурении в мягких породах / Л. Г. Грабчак, А. Н. Попов // Известия вузов. Геология и разведка. – 1976. – №5. – С. 144-148.
31. Грабчак Л. Г. Основы теории, исследование процессов и оптимизация технологии бурового способа проведения геологоразведочных шурфов и вентиляционных скважин большого диаметра / Л. Г. Грабчак: автореф. дис. д-ра техн. наук. – М., 1974. – 42 с.
32. Грабчак Л. Г. Бурение шурфов / Л. Г. Грабчак. – М., 1973. – 68 с.

33. Грабчак Л. Г. Бурение шурфов и скважин самоходными и передвижными установками / Л. Г. Грабчак и др. – М.: Недра, 1979. – С. 91-112.
34. Грабчак Л. Г. Горноразведочные работы / Л. Г. Грабчак. – М.: Высш. шк., 2003. – 661 с.
35. Грабчак Л. Г. Горнопроходческие работы / Л. Г. Грабчак и др. – М.: Высш. шк., 2003. – 201 с.
36. Грабчак Л. Г. Моделирование процесса разрушения горных пород / Л. Г. Грабчак // Геология и разведка. – 1967. – № 6. – С. 48-56.
37. Грабчак Л. Г. Экономическая эффективность бурового способа проходки шурфов / Л. Г. Грабчак. – М.: ВИЭМС, 1973. – 178 с.
38. Грабчак Л. Г. Технология бурения скважин как научная дисциплина, ее предмет, содержание и место в горной науке / Л. Г. Грабчак, Д. Н. Башкатов // Методика и техника разведки. – 1995. – № 5. – С. 39-51.
39. Грабчак Л. Г. Проведение горноразведочных выработок / Л. Г. Грабчак, С. А. Брылов. – М.: Высш. шк., 1988. – 213 с.
40. Грабчак Л. Г. Горно-разведочные буровые работы / Л. Г. Грабчак, С. А. Брылов, В. И. Комащенко. – М.: Недра, 1989. – 238 с.
41. Грабчак Л. Г. Транспорт при геологоразведочных работах / Л. Г. Грабчак, С. А. Брылов, В. А. Федорченко. – М.: Недра, 1992. – 228 с.
42. Грабчак Л. Г. Опыт ликвидации аварий при бурении стволов / Л. Г. Грабчак, Н. П. Жиленко. – ЦБНТИ. – 1974. – № 1 (91). – 189 с.
43. Грабчак Л. Г. Зависимость скорости бурения шурфа шнекобуром от осевого давления / Л. Г. Грабчак, А. И. Кабанцев. – М.: ВИЭМС, 1970. – 178 с.
44. Грабчак Л. Г. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Процессы горных работ» / Л. Г. Грабчак, Б. Н. Кузовлев. – М.: МГРИ, 1984. – 188 с.
45. Грабчак Л. Г. О внедрении бурового способа / Л. Г. Грабчак, Б. Н. Кузовлев // Геология и разведка. – 1987. – № 11. – С. 26-35.

46. Грабчак Л. Г. Проведение горноразведочных выработок и основы разработки месторождений полезных ископаемых / Л. Г. Грабчак и др. – М.: Изд-во акад. горных наук, 1997. – 578 с.
47. Грабчак Л. Г. Горнопроходческие машины и комплексы / Л. Г. Грабчак и др. – М.: Недра, 1990. – 367 с.
48. Грабчак Л. Г. Бурение разведочных шурфов / Л. Г. Грабчак и др. // Разведка и охрана недр. – 1972. – № 4. – С. 38-49.
49. Грабчак Л. Г. Опыт бурения скважин большого диаметра установкой ЛБУ-50 / Л. Г. Грабчак и др. // Специальные работы в промышленном строительстве: сб. – 1972. – Сер. V, вып. 3(69). – С. 44-55.
50. Грабчак Л. Г. Затраты мощности на бурение шурфов шнековыми бурами / Л. Г. Грабчак, А. Н. Попов // Геология и разведка. – 1974. – №4. – С. 37-46.
51. Грабчак Л. Г. Опыт бурения шурфов / Л. Г. Грабчак, А. Н. Попов, В. А. Федорченко // ВИЭМС. – 1973. – № 5. – С. 55-68.
52. Грабчак Л. Г., Экспериментальные исследования процесса бурения шурфов шнековыми бурами / Л. Г. Грабчак, А. Н. Попов, В. А. Федорченко // Известия вузов. Геология и разведка. – 1973. – № 7 – С. 57-68.
53. Грабчак Л.Г., Горнопроходческие машины и комплексы: учебник для ВПО / Л.Г. Грабчак, В.И. Несмотряев и др.// - Волгоград: ИД «Ин-Фолио», 2012. – 336 с.
54. Грабчак В. Л. Обоснование оптимальных параметров процесса бурения геологоразведочных шурфов в моренных отложениях: дис. ... канд. техн. наук / В. Л. Грабчак. – М., 2009. – 137 с.
55. Добровольский Г. Б. Крепление скважин большого диаметра / Г. Б. Добровольский. – М. : Недра, 1988. – 240 с.
56. Дудкевич А. Г. Совершенствование технологии бурения скважин большого диаметра литым инструментом со сменными породоразрушающими элементами: автореф. дис. канд. техн. наук / А. Г. Дудкевич. – М.: МГРИ, 1988. – 221с.

57. Ершов Э.Д. Основы геокриологии/ Ч.1, М.: Изд. МГУ, 1995. 368 с.
58. Зеленцов О. В. Применение самоходных буровых станков для проходки шурфов в скальных породах при инженерных изыскания / О. В. Зеленцов, Б.М. Ребрик // в сб. Материалы научно-технической конференции по инженерным изысканиям. – 1967.
59. Иванов В. П. Бурение скважин большого диаметра / В. П. Иванов. – М.: Углетехиздат, 1947. – 259 с.
60. Инструкция по применению Классификации запасов к россыпным месторождениям полезных ископаемых. –М.: 1982, 48с. (Государственная комиссия по запасом полезных ископаемых при Совете Министров СССР).
61. Калинин А. Г. Технология бурения разведочных скважин / А. Г. Калинин и др. – М.: Техника, 2004. –405 с.
62. Калинин А. Г. Справочник инженера-технолога по бурению глубоких скважин / А. Г. Калинин, Р. А. Ганджумян, А. Г. Мессер. – М.: Недра, 2005. – 808 с.
63. Калинин А. Г. Разведочное бурение : учеб. пособие / А. Г. Калинин и др. – М.: Недра, 2000. – 748 с.
64. Каркашадзе Г.Г. Механическое разрушение горных пород: Учеб. Пособие для вузов. –М.: Изд. МГГУ, 2004. -222с.
65. Карпиков А. П. Бурение горно-разведочных и технических выработок : учеб.-справ. пособие / А. П. Карпиков, Б. Н. Кузовлев, А. В. Толмачев. – М.: МГИУ, 2003. – 102 с.
66. Карху А.В., Скрябин Р.М., Тимофеев Н.Г. Совершенствование техники и технологии бурения скважин большого диаметра в условиях многолетнемерзлых пород/А.В. Карху и др.// «Горная промышленность», - М., 2013, №2 (108). – С. 142-146.
67. Козловский А. Е. Оптимизация процесса бурения: структура и элементы управления / А. Е. Козловский. – М., 2000. – 187 с.

68. Козловский Е. А. Механизация и оптимизация процессов бурения разведочных скважин / Е. А. Козловский, А. Д. Дьяков, П. А. Петров. – М.: Недра, 1980. – 349 с.
69. Копытко Ю. Н. Шнековые буровые станки отечественного производства / Ю. Н. Копытко, Е. С. Бубнов, Ю. А. Маломед // Шнековое бурение: сб. – М.: Госгеолтехиздат, – 1960. – 255 с.
70. Кренделев В. П. Совершенствование техники бурения скважин при разведке россыпных месторождений / В. П. Кренделев, В. М. Минаков, В. А. Орьев // Разведка и охрана недр. – 1986. – № 10. – С. 47-60.
71. Кренделев В. П. Современное состояние и пути усовершенствования техники разведки россыпных месторождений / В. П. Кренделев, Б. П. Макаров // Труды ЦНИИГРИ. – 1967. – Вып. 69. – С. 35-48.
72. Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение (геокриология) / В.А. Кудрявцев// М.: Изд-во МГУ, 1978.
73. Куличихин Н. И. К вопросу о выборе рациональной формы инструмента при бурении шурфов в крепких породах / Н. И. Куличихин и др. // Геология и разведка. – 1972. – № 5. – С. 41-55.
74. Лапин Н. А. Определение параметров и режима работы вертикального шнекового транспортера / Н. А. Лапин // Известия вузов. Геология и разведка. – 1966. – №2. – С. 128-150.
75. Лапин Н. А. Теоретические и экспериментальные исследования процесса шнекового бурения скважин и методика расчета геометрических параметров и режимов работы вертикальных шнековых транспортеров: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГРИ, 1966. – 211 с.
76. Линьков С.А. Разработка конструкции и обоснование параметров рабочего органа для бурения скважин в мерзлых грунтах: дис. ... канд. техн. наук. – Омск.: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, 2007. – 185 с.

77. Минаков В. М. Бурение скважин большого диаметра в многолетнемерзлых россыпях / В. М. Минаков и др. // Разведка и охрана недр. – 1985. – № 1. – С. 67-77.
78. Минаков В. М. Влияние температурного режима в скважинах большого диаметра на бурение и качество опробования при разведке мерзлых россыпей / В. М. Минаков, И. В. Морозов // Геология и разведка. – 1991. – № 3. – С. 73-85.
79. Минаков В. М. Бурение скважин большого диаметра в многолетнемерзлых породах установкой УБМ-20А / В. М. Минаков и др. // Разведка и охрана недр. – 1986. – № 3 – С. 77-89.
80. Некрасов Н. А. Вечная мерзлота Якутии. – Якутск, 1984. – 119 с.
81. Неплевский М. О. Обоснование оптимальных параметров процесса бурения скважин большого диаметра в осадочных породах шнеком накопительного типа: дис. ...канд. техн. наук / М. О. Неплевский. – М., 2003. – 125 с.
82. Орешкин О. А. Обоснование параметров технологии бурения шахтных стволов в условиях многолетнемерзлых пород: дис. ... канд. техн. наук / О. А. Орешкин. – М., 2004. – 158 с.
83. Перетолчин В. А. Вращательное и шарошечное бурение скважин на карьерах / В. А. Перетолчин. – М.: Недра, 1983. – 175 с.
84. Применение установок, использующих технологию келли-штанг для бурения разведочных шурфов // В.Л. Грабчак/ Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. – М.: МГГРУ, 2006. – С. 18-111.
85. Ребрик Б. М. Бурение инженерно-геологических скважин: справ. / Б. М. Ребрик. – М.: Недра, 1990. – 245 с.
86. Руководство технической эксплуатации буровой установки БКМ-2012, ОАО «Стройдормаш» - 2010г.

87. Седов В. Т. Теплообмен при бурении мерзлых пород. - Л.: Недра, 1990. - 127 с.
88. Ситников Н. Б. Сравнительный анализ критериев оптимизации при вращательном бурении скважин / Н. Б. Ситников, Н. Б. Петров, И. А. Бердов // Известия вузов. Горный журнал. – 1972. – № 4. – С. 134-138.
89. Ситников Н.Б. Моделирование и оптимизация процесса бурения геологоразведочных скважин: дис.... доктора. техн. наук /Н.Б. Ситников. – Екатеринбург, 2000. – 350 с.
90. Соловьев Н. В. Ресурсосберегающие технологии бурения геологических скважин / Н. В. Соловьев, Д. Н. Башкатов // Геология и разведка. – 1988. – № 1. – С. 85-102.
91. Соловьев Н.В. Бурение разведочных скважин/ В.В. Кривошеев, Д.Н. Башкатов и др.; Под общей редакцией Н.В. Соловьева. –М.: Высш. Шк., 2007. -904с.
92. Софронов С.Т. Разрушение горных пород/ С.Т. Софронов, В.С. Марков. – Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1996. -163с.
93. Скрябин Р. М. Технология и техника вращательного бурения скважин большого диаметра в многолетнемерзлых породах / Р. М. Скрябин, Н. Г. Тимофеев // Отечественная геология. – 2011. – № 6. – С. 77-82.
94. Скрябин Р. М. Разрушение горных пород резанием/ Р. М. Скрябин, Н. Г. Тимофеев// Научное обозрение – 2011. – №.5 – С. 56-64.
95. Скрябин Р. М. Разработка бурового снаряда для бурения скважин большого диаметра (Ø500 мм. и более) на разведке россыпных месторождений Севера / Р. М. Скрябин, Н. Г. Тимофеев // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. – 2012. – Т. 9, №1. – С. 85-90.
96. Скрябин Р. М. О методике расчета затрат мощности при бурении шурфоскважин на разведке россыпных месторождений в условиях

- криолитозоны / Р. М. Скрыбин, Н. Г. Тимофеев // «Разведка и охрана недр», №12, 2013г. С.56-59.
97. Сулакшин С. С. Способы, средства и технология получения представительных образцов пород и полезных ископаемых при бурении геологоразведочных скважин : учеб. пособие / С. С. Сулакшин. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 284 с.
98. Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин/А.И. Спивак, А.Н. Попов// Учебник для ВУЗов. -4-е изд., перераб. И доп. –М. Недра, 1986. 208с.
99. Терминологический словарь по бурению скважин / Голиков С.И., Костин Ю.С., Калинин А.Г. – М.: Геоинформмарк, 2005. – 255 с.
100. Тимофеев Н. Г. Буровой способ проходки разведочных шурфов / Н. Г. Тимофеев // Новый университет. Технические науки. – Йошкар-Ола. – 2011. – №3. – С. 40-45.
101. Федоров В. С. Проектирование режимов бурения / В. С. Федоров. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 233 с.
102. Цытович Н.А. Механика мёрзлых грунтов. М.: Высш. школа,1973. 448 с.
103. Шевченко А. Н. Выбор рационального типа бурового инструмента и системы очистки скважин при бурении мерзлых пород : дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Шевченко. – Иркутск, 2007. – 128 с.
104. Шейков М. Л. Сопротивление сдвигу мерзлых грунтов. Лабораторные исследования механических свойств мерзлых грунтов / М. Л. Шейков // Материалы по лабораторным исследованиям механических свойств мерзлых грунтов : сб. – М.-Л., 1936. – С. 85-104.
105. Шерстов В. А. Проведение подземных горно-разведочных выработок при разведке россыпных и рудных месторождений области многолетней мерзлоты / В. А. Шерстов. – Якутск : Изд-во ЯГУ, 1997. – 100 с.

106. Хаустов В. Л. Оценка критериев оптимальности процесса бурения скважин / В. Л. Хаустов // Известия вузов. Геология и разведка. – 1970. – № 9. – С. 163-166.