Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт нефти и газа
Кафедра бурения нефтяных и газовых скважин

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ _____
подпись инициалы, фамилия
« _____» _____ 20 ___ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

по направлению «Бурение нефтяных и газовых скважин»

Выбор разрушающего инструмента для вскрытия терригенных отложений

Научный руководитель
профессор, д.т.н. _____ Н. Г. Квеско

Выпускник гр. ГБ12-01 _____ А.А. Блохин

Красноярск 2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Выбор разрушающего инструмента для вскрытия терригенных отложений» содержит 87 страниц, 34 рисунка, 13 таблиц, использованных источников 39.

НЕФТЬ, ГАЗ, ПОРОДОРАЗРУЩАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ, ШАРОШЕЧНОЕ ДОЛОТО, ДОЛОТО С ФИКСИРОВАННЫМИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИМИ РЕЗЦАМИ, PDC, IADC

Объект исследования – породоразрушающий инструмент.

Цель работы:

- изучение конструкции долот;
- изучение механизма разрушения горной породы различными типами долот;
- анализ работы долот на Ванкорском месторождении;
- предложить альтернативную программу долот для бурения скважин на Ванкорском месторождении.

В выпускной квалификационной работе изучены конструкции долот и сопоставлены с условиями бурения; также рассмотрены классификации долот по стандартам Всесоюзного научно-исследовательского института буровой техники (ВНИИБТ) и Международной ассоциации буровых подрядчиков (IADC); изучен механизм разрушения горной породы различными типами долот; разобрана методика выбора долот для конкретных условий бурения.

В итоге, подготовлено описание процесса подбора долот для конкретных условий бурения и предложена собственная долотная программа для бурения скважин на Ванкорском месторождении.

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовался текстовый редактор Microsoft Word, таблицы и графики выполнялись в Microsoft Excel; рисунки – графические программы Adobe Photoshop и Microsoft Paint. Презентация подготовлена с помощью Microsoft Power Point.

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат……...…..…2
Содержание……..3
Введение…….…5
1 Характеристика осадочных терригенных пород…….....8
1.1 Осадочные горные породы и их составные части……..…….....8
1.2 Гранулометрический состав пород…….9
1.3 Текстурная характеристика породы……10
2 Основные закономерности разрушения горных пород при бурении……11
3 Общие сведения о долотах……13
4 Шарошечные долота……..18
4.1 Конструкция ……..18
4.2 Классификация ВНИИБТ…….....20
4.3 Долота с фрезерованным вооружением……..24
4.4 Долота с твердосплавными вставками……27
4.5 Гидравлика долот……..28
4.6 Опора долот……....30
4.7 Классификация по коду IADC……..32
4.8 Описание износа шарошечных долот……..33
5 Долота с фиксированными алмазосодержащими резцами (PDC)…….37
5.1 Общие сведения о долотах PDC……...37
5.2 Конструкция ……..38
5.3 Классификация ВНИИБТ……46
5.4 Классификация по коду IADC……..48
5.5.Гидравлика долот ……49
5.6 Технология изготовления матричных долот PDC……..51
5.7 Технология изготовления стальных долот PDC…….....52
5.8 Сравнение стальных и матричных долот….....53
5.9 Описание износа……54

6 Порядок подбора долот для конкретных условий бурения……55
6.1 Анализ литологии разреза…….....55
6.2 Анализ условий работы и режимов бурения……..57
6.3 Подбор долот……63
6.4 Программа отработки долот……65
7 Подбор долот на примере Ванкорского месторождения……68
7.1 Опыт работы компании Schlumberger на Ванкорском месторождении…...68
7.2 Общая информация о месторождении…….…...73
7.3 Литология и стратиграфия……....76
7.4 Выбор долотной программы……79
Заключение……84

ВВЕДЕНИЕ

Буровые долота являются ключевым элементом любого бурового комплекса. Экономическая эффективность бурового проекта во многом определяется эксплуатационными показателями буровых долот. Как показывает практика, за счет правильного подбора буровых долот можно получить экономию капитальных затрат при строительстве глубоких нефтяных и газовых скважин до 30-40% от общей суммы затрат по проекту строительства.

Рынок буровых долот в России в последние годы претерпевает существенные, как качественные, так и количественные изменения.

Важным фактором, характеризующим российский рынок, является усиление конкурентной борьбы среди поставщиков буровых долот. Сегодня на российском рынке присутствуют почти все мировые производители долот. Конкурентное соперничество между ними в этих условиях приобретает особую остроту. Любой буровой подрядчик сегодня стоит перед реальным выбором при решении использовать долота той или иной компании-производителя или продавца.

Одна из основных проблем нефтегазодобывающей промышленности России – качественное ухудшение сырьевой базы. Основные месторождения Урала, Западной Сибири и Поволжья вышли на поздние стадии разработки со снижающейся добычей нефти. Выработка их запасов достигла 54%, а доля трудно извлекаемых увеличилась до 55-60%. Обеспечить достаточную рентабельность их освоения можно только за счет сокращения сроков строительства скважин путем внедрения инноваций в технологию бурения, использования сервисного обслуживания и современного породоразрушающего инструмента с улучшенными эксплуатационными показателями.

Многообразие физико-механических свойств горных пород, различные глубины их залегания, а также использование различных способов бурения вызывают необходимость применения разных конструкций и типов долот.

Механические и абразивные свойства разбуриваемых горных пород варьируются в широких пределах. Целевое назначение долот также различно. Следовательно, условия их работы, требования к ним разнообразны и для их выполнения необходима гамма долот.

На сегодняшний день на российском рынке доля буровых долот PDC, используемых при бурении, составляет более 70%, соответственно оставшаяся доля приходится на шарошечные долота.

Спрос на долота с резцами PDC объясняется тем, что этот тип долот более эффективен в процессе разрушения породы, чем шарошечные. Все значительные экономические показатели, связанные с повышением эффективности бурения скважин, достигнуты благодаря активному внедрению этого типа породоразрушающего инструмента. В первую очередь это касается Западной Сибири, так как вместе с переходом на бурение PDC долотами существенно сократились сроки строительства скважин.

Выбор долота является этапом, определяющим результативность и эффективность технологического процесса бурения скважин.

В данной выпускной квалификационной работе проведено сравнение шарошечных долот и долот с фиксированными алмазосодержащими резцами.

Целью данной выпускной квалификационной работы является описание технически обоснованного процесса корректного подбора линейки долот для бурения скважин различного назначения (преимущественно эксплуатационных на нефть и газ).

Использование описанных методов позволит повысить грамотность технологического персонала бурового подрядчика непосредственно в полевых условиях и поможет оперативно принять верное решение при необходимости выбора долот для спуска в скважину или планирования программы отработки долот.

Чтобы реализовать поставленную цель, в выпускной квалификационной работе решены следующие задачи (для трехшарошечных долот и долот с фиксированными алмазосодержащими резцами):

- изучить классификацию долот;
- изучить строение (конструкцию) долот;
- изучить технологии изготовления;
- изучить механизм разрушения горной породы различными типами долот;
- определить зависимость конструкции долот и условия бурения;
- провести анализ схем очистки забоя;
- провести сравнительный анализ работы различных типов долот на конкретном примере;

Так как в данной выпускной квалификационной работе речь идет о долотах для сплошного бурения, то долота для колонкового бурения и специальных целей затронуты не будут. Также не рассматриваются долота для работы с продувкой воздухом.

1 Характеристика осадочных (терригенных) пород

1.1 Осадочные горные породы и их составные части

Осадочные горные породы (ОГП) представляют собой тонкую оболочку поверхности Земли, которую можно образно назвать «плесенью» (по биологической составляющей), либо «ржавчиной» (по участию H_2O). В целом на долю ОГП приходится лишь десятая часть земной коры и 0,1 % от общего объема Земли. В то же время они покрывают до 75 % ее территории, а толщина осадочной оболочки геоида в среднем составляет 2,2 км (на континентах 4,2 и в океанах 0,3 км). На отдельных площадях она может превышать 20 км, а с ОГП в целом связано более 90 % всех осваиваемых полезных ископаемых, включая практически 100 % горючих (нефть, газ, уголь).

Состав ОГП, с самых общих позиций, представлен в таблице 1.1. При их высоком разнообразии, основным распространением (не включая вулканические отложения) пользуются алевропелиты (около 50 %), песчаники (25 %) и карбонаты (около 20 %).

Таблица 1.1 – Основные составные части осадочных горных пород

<table>
<tr><th>По месту образования (относительно источника материала)</th><th colspan="2">По механизму образования</th><th>Примеры пород</th></tr>
<tr><td>Ксеногенные (гр. xenos – чужой): наложенные</td><td colspan="2">Вулканогенные</td><td>Туфы, туффиты</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Аллотигенные (гр. allos – иной, другой): перенесенные извне, как правило, в результате механической дифференциации</td><td rowspan="2">Обломочные: кластолиты (англ. clast – об- ломок) и глини- стые или пелито- вые (гр. pelos – глина)</td><td>Терригенные, образованные на суше (лат. terra – земля)</td><td rowspan="2">Песчаники, алевролиты, аргилли- ты</td></tr>
<tr><td>Эдафогенные, образованные на дне океана (гр. edaphos – почва)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Аутигенные (гр. autos – сам): образовавшиеся на месте, либо при химической дифференциации</td><td colspan="2">Хемогенные (седиментационные и постгенетические)</td><td>Соли, метасоматические доломи- ты</td></tr>
<tr><td colspan="2">Органогенные</td><td>Угли, биогенные известняки</td></tr>
</table>

Главным объектом изучения в нефтегазовой литологии являются коллекторы – слои или комплексы слоев с пустотно-поровым (трещинным) пространством, в котором возможно перемещение флюидов под действием сил гравитации и (или) при перепаде давления. На долю терригенных коллекторов приходится более половины мировых разведанных запасов нефти и при- мерно ¾ запасов газа. В Западно-Сибирской нефтегазоносной мегапровинции эти значения близки к 100 %.

1.2 **Гранулометрический состав пород**

Терригенные породы являются продуктом первичного разрушения исходных образований посредством физического и (или) химического выветривания. При транспортировке материала, преимущественно под воздействием силы тяжести и в водной среде, происходит его дифференциация механического характера. Результатом сложного процесса, который часто не поддается расшифровке ввиду отсутствия признаков промежуточных этапов, являются непосредственно наблюдаемые или закрепленные в геологической летописи ОГП. Нередко время, которое понадобилось для их формирования, составляет лишь первые проценты от общей длительности соответствующего интервала геологической хронологии. Размерность частиц, слагающих породу, и соотношение выделенных фракций – несомненно ведущие параметры, характеризующие терригенные отложения. В значительной степени это определяется и подкрепляется возможностью количественно охарактеризовать данные признаки – физическими методами, микроскопическим изучением, снятием параметров с электрокаротажных кривых и др. Тем самым они наиболее воспроизводимы и объективны среди комплекса признаков, характеризующих терригенные горные породы. Типы горных пород по их гранулометрической размерности представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Типы горных пород по их гранулометрической размерности

Линейный размер частиц *S*, мм			Шкала φ Ф= -$\log_2 S$	Породы			Названия в английской литературе			Рекомен. обозначения	Преобладающий способ
	2	2,00	-1	Гравий, гравелит			Granule	Gravel			Волочением, качени-
1,0	1	1,00	0	Пески, песчаники	грубозернистый		Very coarse		Sand		Сальтацией
	1/2	0,50	1		крупнозернистый		Coarse				
	1/4	0,25	2		среднезернистый		Medium				
	1/8	0,125	3		мелкозернистый		Fine				
0,1	1/1	0,0625	4		тонкозернистый		Very fine				
	1/3	0,0312	5	Алевриты, алевролиты	крупнозернистый		Coarse		Silt		Во взвешенном состоя
	1/64	0,0156	6		средне-зернистый	визуально трудно различимы: описываются как мелко-	Medium				
0,01	1/128	0,0078	7		мелко-зернистый		Fine				
	1/256	0,0039	8		тонко-зернистый		Very fine				
	…	…	…	Глина, аргиллит			Clay				Коллоидная сус-

1.3 **Текстурная характеристика породы**

Текстура породы, определяемая взаимным расположением слагающих ее компонентов (частиц), является важным признаком как для установления обстановки осадконакопления (решение геологической задачи), так и для определения физических характеристик, в первую очередь проницаемости породы (сугубо практический вопрос, связанный с изучением ФЕС – фильтрационно-емкостных свойств).

Для терригенных отложений в общем плане можно выделить три основных типа текстур: массивные (нужно иметь в виду, что визуально неслоистая порода зачастую обнаруживает четкую текстуру при более глубоком изучении – например, при шлифовке или под микроскопом), слоистые и слоеватые, т. е. с неотчетливой «недоразвитой» слоистостью. [1]

2 **Основные закономерности разрушения горных пород при бурении**

Основной вид деформации, под действием которой породы в процессе бурения разрушаются – вдавливание. При статическом вдавливании разрушение породы происходит циклично и свойственно хрупким, прочным горным породам. В хрупких, но менее прочных горных породах разрушение также носит цикличный, но менее скачкообразный характер. Разрушение малопрочных пород носит плавный характер. При динамическом вдавливание (ударах), горные породы могут разрушаться при напряжениях, меньших, чем критические, соответствующих пределу прочности. Таким образом, горная порода может разрушаться как при действии статических, так и динамических нагрузок. Сила удара в процессе динамического разрушения зависит от нагрузки и скорости ее приложения. Эффект разрушения в значительной мере зависит от формы твердого тела, которым разрушают горную породу. Все эти и некоторые другие факторы оказывают влияние на объемную работу разрушения.

Удельная контактная работа определятся отношением полной работы к площади контакта разрушающего инструмента. Объемная работа разрушения при динамическом вдавливании в несколько раз выше, чем при статическом.

Порода, составляющая поверхность забоя и подлежащая разрушению, находится в условиях неравномерного всестороннего сжатия, создаваемого давлением столба бурового раствора, заполняющего скважину, и боковым давлением горных пород. Сама поверхность забоя неоднородна и не представляет гладкую поверхность: отдельные частицы породы возвышаются над общим уровнем поверхности. При действии разрушающего инструмента на породу эти частицы первыми воспринимают давление и передают его соседним частицам. Некоторые из них дробятся, другие выламываются, третьи почти прямолинейно проталкиваются в направлении движения разрушающего инструмента.

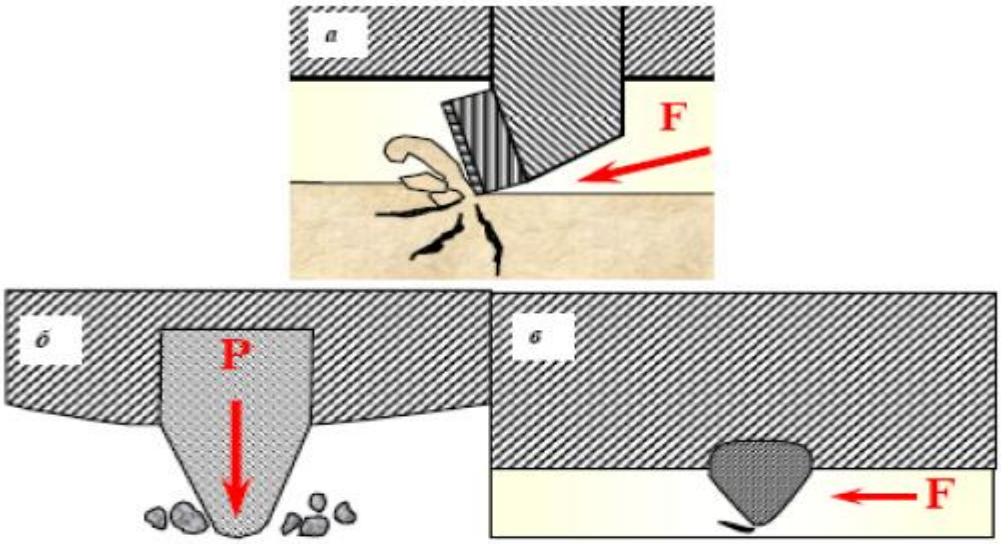
При бурении нефтяных и газовых скважин основным инструментом, при помощи которого разрушается горная порода, является долото.

Долото проникает в породу и разрушает её вследствие следующих перемещений:

1) Поступательного сверху вниз под действием осевой нагрузки на долото;
2) Вращательного, осуществляемого гидравлическим забойными двигателем, электробуром или ротором посредством бурильных труб.

Горная порода разрушается долотом путем резания, скалывания или дробления (рис.1.1). При резании осевая нагрузка действует непрерывно и её можно считать статической. В процессе скалывания и дробления приложенное усилие действует на забой прерывно, что вызывает дополнительные динамические нагрузки на забой (удары).

Резание может осуществляться лопастными долотами. Скалывание происходит при использование лопастных и шарошечных долот. Дробление осуществляется только шарошечными долотами. Алмазные долота разрушают породу путем истирания и резания.



а) резание; б) дробление; в) истирание

Рисунок 2.1 - Схема разрушения горной породы на забое

3 **Общие сведения о долотах**

Долото – породоразрушающий инструмент (ПРИ), предназначенный для разрушения горной породы на забое при бурении скважины.

Общепринятая классификация ПРИ подразумевает разделение по принципу разрушения горной породы, назначению, конструктивному исполнению и типу материала породоразрушающих элементов.

К примеру, Дмитриев А.Ю.: в учебном пособии «Основы технологии бурения скважин» предлагает следующий вариант классификации ПРИ:

По принципу разрушения горной породы:

- дробяще-скалывающего действия - применяется для разбуривания неабразивных и абразивных пород средней твердости, твердых, крепких и очень крепких;
- истирающе-режущего действия – применяется для бурения в породах средней твердости, а так же при чередовании высокопластичных маловязких пород с породами средней твердости и даже твердыми;
- режуще-скалывающего действия – применяется для разбуривания вязких, пластичных и малообразивных пород небольшой твердости.

По назначению:

- для бурения сплошным забоем (без отбора керна) – буровые долота;
- для бурения по кольцевому забою (с отбором керна) – бурголовки;
- для специальных работ в пробуренной скважине (выравнивание и расширение ствола) и в обсадной колонне (разбуривание цементного камня и т.д.).

По конструктивному исполнению:

- лопастной;
- шарошечный;
- секторный (алмазные долота).

По материалу породоразрушающих элементов:

- со стальным вооружением;

- с твердосплавным вооружением;

- с алмазным вооружением;

- с алмазно-твердосплавным вооружением.[2]

Конструктивные особенности бурового породоразрушающего инструмента исходят из реализации способа воздействия на горную породу. Наибольшее распространение в практике буровых работ получили долота следующих типов:

– шарошечные долота дробяще-скалывающего и дробящего действия для бурения пород любой твердости. В зависимости от конструктивного исполнения при разрушении горной породы производится ударное, или сдвигающее и ударное воздействие на забой вооружением шарошки;

– алмазные и твердосплавные буровые долота истирающе-режущего действия для бурения твердых, но хрупких пород. Особенно эффективны алмазные долота при бурении крепких пород на больших глубинах;

– лопастные долота режуще-скалывающего действия для бурения мягких и пластичных пород роторным способом.

В зависимости от числа рабочих органов шарошечные долота бывают одно-, двух-, трех-, четырех-, шести- и многошарошечные. Наиболее распространен трехшарошечный вариант долота. Конструкция такого долота отличается наилучшей вписываемостью в круглое сечение скважин трех конических шарошек, обеспечивающих оптимальное центрирование и устойчивость долота.[3]

Что касается долот режущего действия с алмазосодержащими резцами, то в литературе встречаются различные названия долот этого типа. В данной работе будет использоваться термин «долота с фиксированными алмазосодержащими резцами», как наиболее точно отражающий принцип работы долот типа PDC и отвечающий требованиям, предъявляемым к породоразрушающему инструменту, используемому при бурении глубоких нефтяных, газовых, геологических и другого назначения скважин.

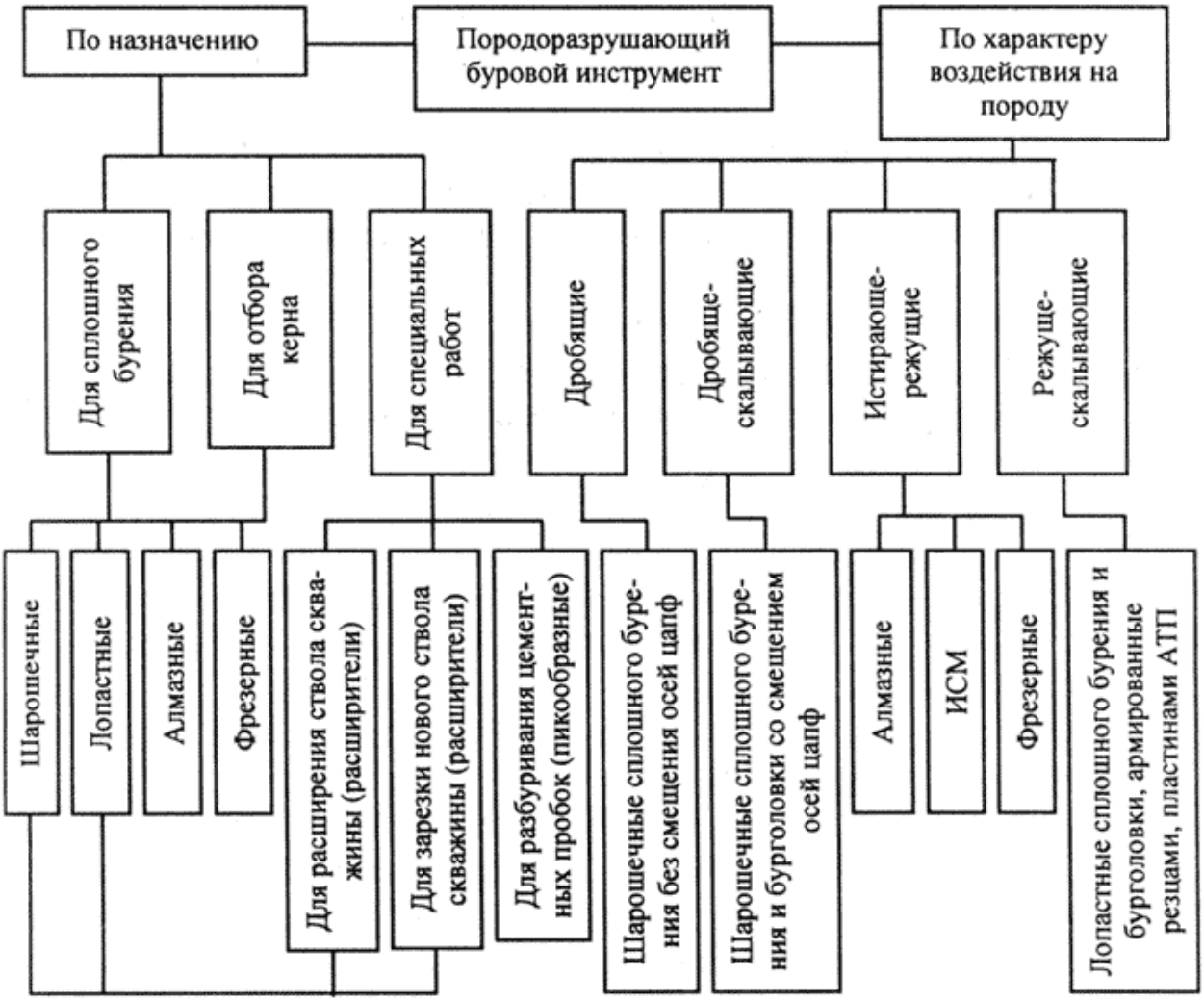


Рисунок 3.1 - Классификация породоразрушающего инструмента

Породоразрушающий инструмент, прежде всего, предназначен для концентрированной передачи энергии горной породе с целью ее разрушения, поэтому условия работы буровых долот настолько жесткие, сложные и трудно контролируемые, что в машиностроении трудно найти инструмент, работающий в аналогичных условиях. Реализуемая через долото мощность, приходящаяся на 1 см его диаметра, может достигать 5-10 кВт, статическая осевая нагрузка — 10-15 кН. Динамическая осевая нагрузка может превышать статическую в 1,5 — 2 раза. [4]

Различные виды нагрузок (динамические и статические, крутящий момент, продольные, поперечные и крутильные колебания) приводят к тому, что элементы долот в процессе бурения испытывают практически все виды напряжений, достигающих иногда предела текучести и прочности материала. Поэтому их конструкция должна быть рассчитана на экономически

обоснованный срок службы, так как долото является инструментом одноразового использования. Однако, одна из причин быстрого распространения долот PDC – возможность восстановления инструмента путем замены изношенных резцов, что при отслеживании износа долота и своевременной реставрации делает его фактически многоразовым.

Одним из основных технико-экономических показателей работы долота является проходка на долото – количество метров, пройденное долотом до его полного износа. Прохода на долото при заданной механической скорости пропорциональна долговечности долота. В целом же долговечность долота (и его элементов) зависит от следующих факторов:

– совершенства конструкции;

– качества изготовления;

– условий и режима отработки;

– усталостной прочности и ударной вязкости;

– коррозионной стойкости и износостойкости инструментальных материалов.

Термостойкость – одно из главных свойств, которыми должен обладать материал для изготовления элементов долот, так как тонкие поверхностные слои элементов вооружения и опоры разогреваются до 800— 1000 °С по причине практически полного перехода реализуемой механической энергии при разрушении горной породы и в узлах трения долот в тепловую.

Конструкция долота и особенно конструкция промывочного узла определяют качество очистки забоя, влияют на механическую скорость бурения и на ресурс долота. Также долото должно формировать ствол скважины цилиндрической формы (что особенно важно для качественного разобщения пластов) с сохранением её диаметра, исключать заклинивание инструмента при СПО и т.д. Кроме того, механические и абразивные свойства разбуриваемых горных пород могут варьироваться в широких пределах в процессе бурения одной скважины. Ко всему этому добавляется абразивная и коррозионная активность окружающей среды (разрушаемая горная порода, буровой раствор

со шламом и химическими реагентами, минерализованные пластовые воды), повышенные пластовые давления (до 100 МПа) и температура (до 150-250 °С).

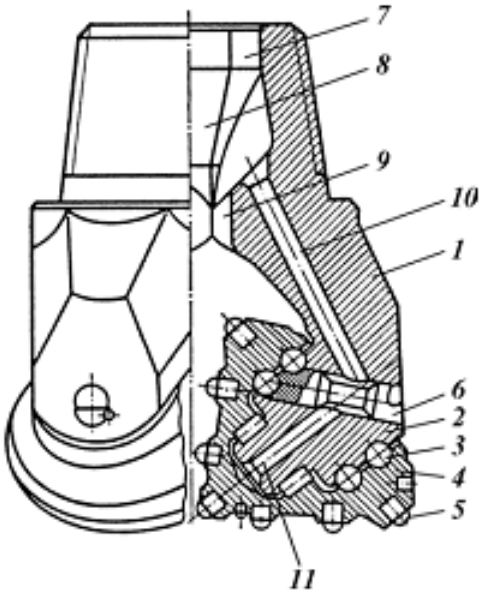
Все вышеуказанные требования к долотам довольно разнообразны, поэтому для проведения буровых работ потребуется широкая гамма долот.

4 ШАРОШЕЧНЫЕ ДОЛОТА

4.1 Конструкция шарошечного долота

Шарошечное долото - породоразрушающий инструмент, у которого основным рабочим органом является шарошка — стальная конусообразная деталь, свободно посаженная на ось и несущая на своей поверхности зубцы, штыри. Оно представляет собой своеобразный механизм, у которого вращение его корпуса преобразуется во вращательное движение шарошек вокруг их оси, в результате чего происходит поражение забоя зубцами, периодически вступающими с ним в контакт. [5]

Основные конструктивные элементы представлены на рисунке 4.1.1:



1 – лапа; 2 – цапфа; 3- подшипник; 4 – шарошка; 5 – зубчатый венец; 6 – палец; 7 – внутренняя полость долота; 8 – цилиндрическое промывочное (продувочное) отверстие; 10, 11 – отверстия для охлаждения подшипников и защиты от засорения шламом

Рисунок 4.1.1 - Конструкция трехшарошечного долота

Непосредственное влияние на процесс разрушения горной породы оказывают следующие конструктивные параметры долота:

– смещение осей шарошек – горизонтальное смещение продолжения оси шарошки от центра долота (представлено на рисунок 4.1.2): чем меньше, тем на более твердые породы рассчитано долото;

– угол наклона осей шарошек: в западных странах это – угол между линией перпендикулярной к оси шарошки и вертикальной осью долота (представлен на рисунке 4.1.3), в России подразумевается угол между самой осью шарошки и вертикальной осью долота;

– угол конусной поверхности шарошек (представлен на рисунке 4.1.4).

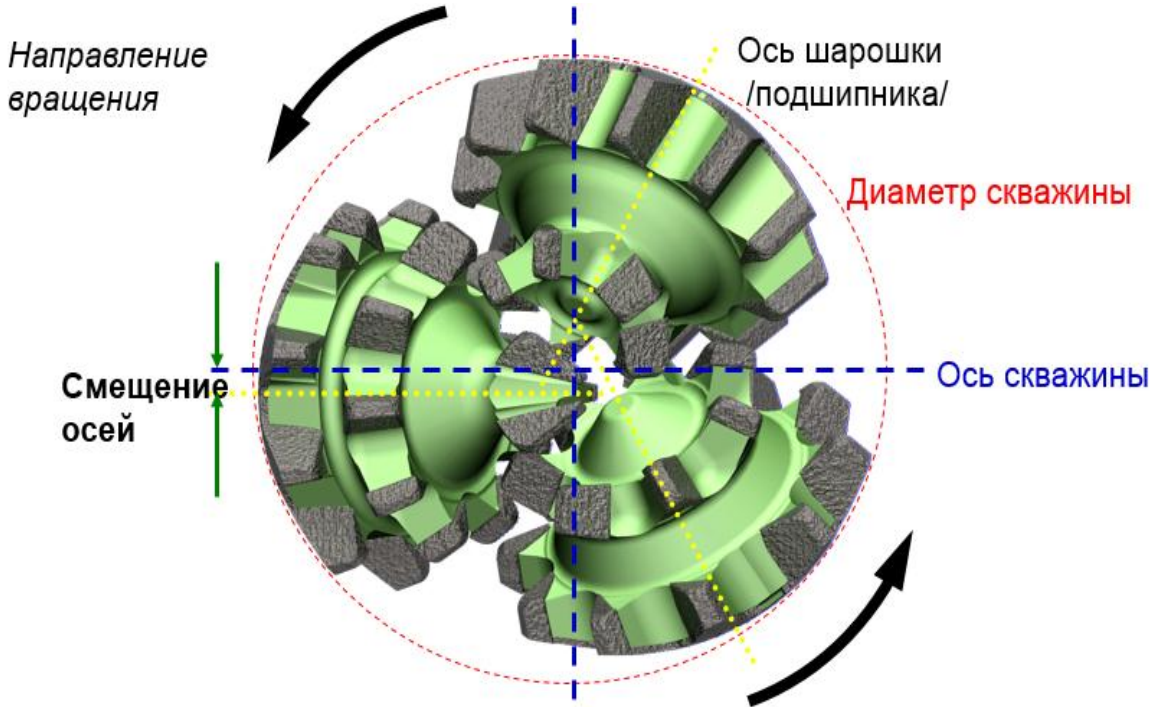


Рисунок 4.1.2 – Смещение осей шарошек

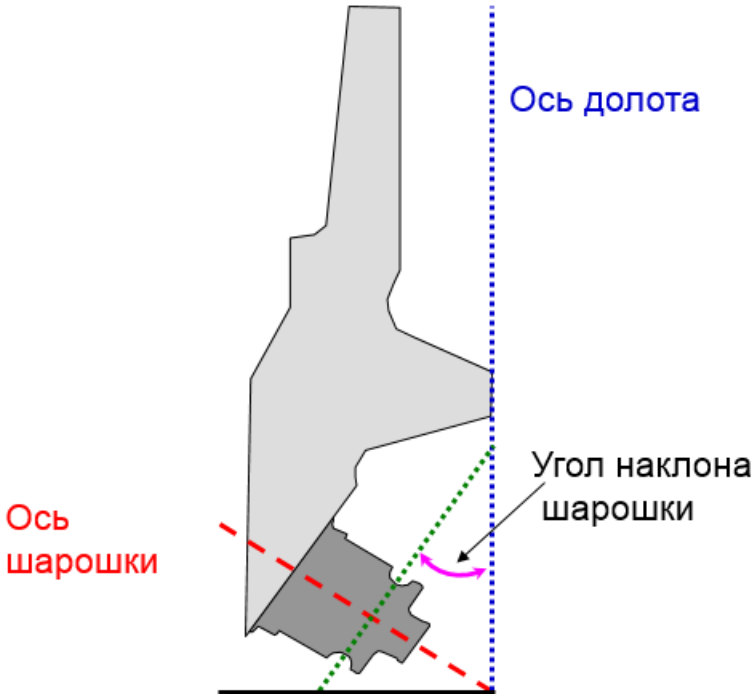


Рисунок 4.1.2 – Угол наклона шарошки

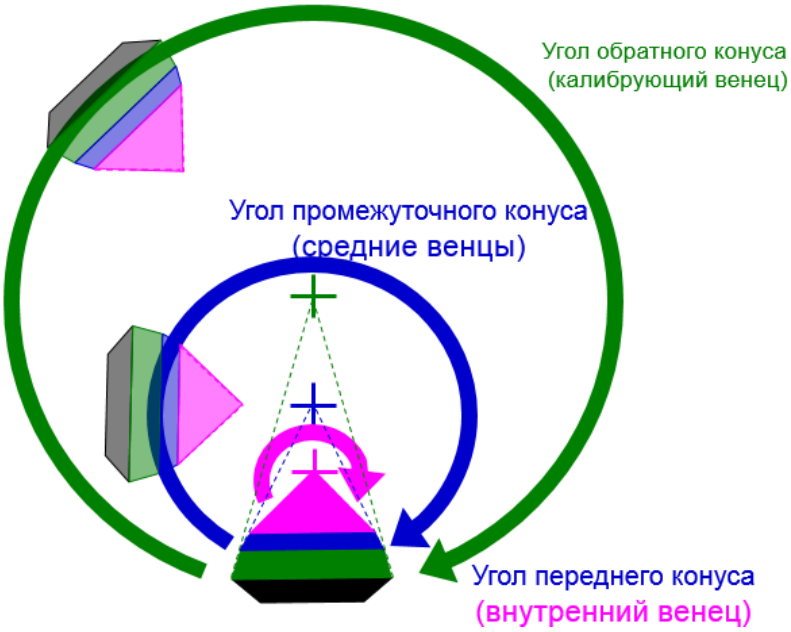


Рисунок 4.1.4 – Геометрия конуса шарошек

4.2 **Классификация ВНИИБТ**

На рисунке 4.3.2 приведена схема классификации шарошечных долот в соответствии со стандартами ВНИИБТ. В таблице 2.1 приведено соответствие типов и областей применения шарошечных долот исполнениям шарошек.

Области рационального применения, указанных в таблице 4.2.1 типов шарошечных долот, сведены в таблицу 4.2.2. [6]

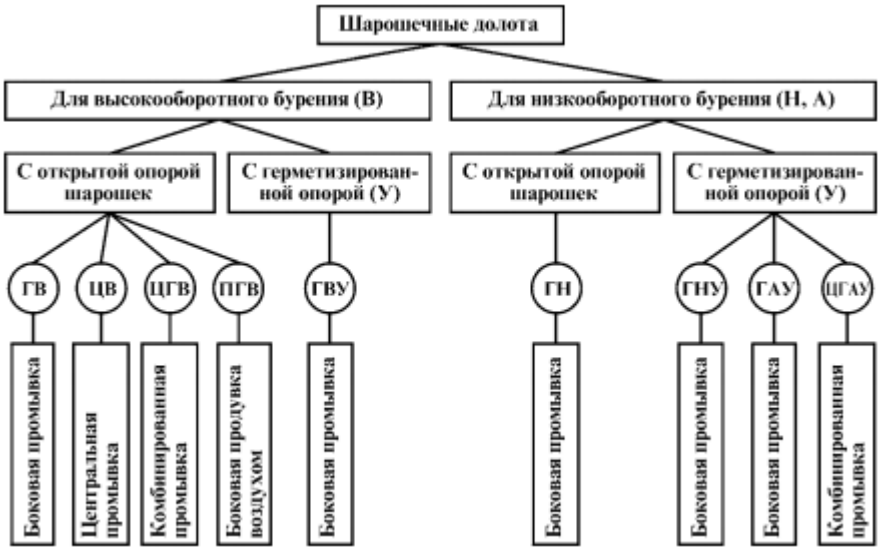


Рисунок 4.1.1 – Схема классификации шарошечных долот

Таблица 4.2.1 – Типы и области применения долот с фрезерованными зубьями и вставными твердосплавными зубками

Тип	Область применения	Исполнение
М	Бурение мягких пород	С фрезерованными зубьями
МЗ	Бурение мягких абразивных пород	Со вставными твердосплавными зубками
МС	Бурение мягких пород с пропластками пород средней твердости	С фрезерованными зубьями
МСЗ	Бурение мягких абразивных пород с пропластками пород средней твердости	С фрезерованными зубьями и вставными зубками
С	Бурение пород средней твердости	С фрезерованными зубьями
СЗ	Бурение абразивных пород средней твердости	Со вставными зубками
СТ	Бурение пород средней твердости с пропластками твердых пород	С фрезерованными зубьями
Т	Бурение твердых пород	С фрезерованными зубьями
ТЗ	Бурение твердых абразивных пород	Со вставными зубками
ТК	Бурение твердых пород с пропластками крепких пород	С фрезерованными зубьями и вставными зубками
ТКЗ	Бурение твердых абразивных пород с пропластками крепких пород	Со вставными зубками

Окончание таблицы 4.2.1

Тип	Область применения	Исполнение
К	Бурение крепких пород	Со вставными зубками
ОК	Бурение очень крепких пород	Со вставными зубками

Таблица 4.2.2 – Области рационального применения разных типов шарошечных долот для глубокого бурения

Тип долота	Горные породы, при разбуривании которых эффективен этот тип долота
М	Глины серые и темно-серые, плотные, тонкослоистые, слоистые и неслоистые, оскольчатые, известковистые и неизвестковистые, часто песчанистые и слюдистые, иногда с пиритом и конкрециями сидеритов, с пачками и прослоями песков, алевролитов и песчаников тонкозернистых, плотных и рыхлых, полимиктовых, глинистых, слюдистых, прослоями доломитизированных мергелей, известняков, иногда слюдистых аргиллитов, местами известковистых и доломитов. Глины с прослоями мелко- и тонкозернистого песка, вулканического пепла, ракушечные известняки, песчаники.
МЗ	Чередование аргиллитов известковистых и неизвестковистых, местами окремнелых, алевролитов, иногда окварцованных, песчаников мелко- и среднезернистых, кварцевых с известково-ангидритовым цементом, глинистых сланцев. Переслаивание, флишевое чередование глин плотных, известковистых и неизвестковистых, песчанистых, слюдистых, фукоидных, алевролитов и песчаников мелкозернистых, кварцевых, глауконитовых, глинистых, карбонатных и некарбонатных, слюдистых с прослоями мергелей и мергелистых известняков. Чередование глин, песков, песчаников с известково-глинистым цементом. Известняки органогенные, пелитоморфные, массивные, трещиноватые, с прослоями разнозернистых песчаников, кварц-глауконитовых слюдистых глин и алевролитов.
МС	Глины местами аргиллитоподобные, песчанистые, слюдистые, опоковидные, пиритизированные, аргиллиты слоистые, слюдистые, иногда углистые, с прослоями песчаников разнозернистых, кварцевых, глинистых, конгломератов, сцементированных известково-глинистым материалом, алевролитов неравномерно глинистых, известковистых и известняков.
МСЗ	Чередование аргиллитов известковистых и неизвестковистых, слюдистых с алевролитами известковистыми и песчаниками, мелкозернистыми, кварцевыми, известковистыми, слабослюдистыми, встречающиеся кремни карбонатизированные. Переслаивание песчаников мелкозернистых и равнозернистых, трещиноватых, кварцевых, иногда глинистых, местами с мелкой галькой, алевролитов тонкослоистых, кварцевых, глинистых, участками пиритизированных и сидеритизированных и аргиллитов плотных, тонкослоистых, оскольчатых, иногда известковистых, местами переходящих в мергель, сидеритизированных, с включением пирита и обуглившихся растительных остатков, встречающиеся известняки мелкокристаллические, глинистые, переходящие в мергель. Пестроцветные глины и алевролиты с прослоями известняков. Алевролиты, аргиллиты, песчаники различного состава с прослоями песчанистых доломитов, реже – глинистых сланцев. Конгломераты разногалечные, местами крупные валунные с прослоями песчаников и глин. Известняки органогенно-обломочные, глинистые, доломитизированные, иногда с включениями кремния, с прослоями доломитов, мергелей, ангидритов, аргиллитов, реже – песчаников.
С	Переслаивание, флишевое чередование глин, песчаников, песков, алевролитов, реже – аргиллитов, отдельных горизонтов конгломератов и прослоев мергелей. Глины темно-серые до черных и светло-зеленые, обычно плотные, тонкослоистые, иногда грубослоистые и комковатые, фукоидные, опоковидные, аргиллитоподобные, песчанистые, алевритистые, известковистые и неизвестковистые, слюдистые, иногда загипсованные, битуминозные, с гнездами пирита. Песчаники различной плотности, иногда рыхлые, от мелкозернистых до грубозернистых, кварцево-глауконитовые, кварцевые, полимиктовые, часто известковистые и глинистые, иногда с гнездами пирита и битума. Алевролиты плотные и рыхлые, слюдистые, известковистые. Пески слабоуплотненные, мелкозернистые, алевритистые. Аргиллиты слоистые, сланцеватые, известковистые и неизвестковистые. Мергели песчанистые, местами глинистые. Конгломераты разногалечные, местами крупновалунные. Известняки и доломиты пелитоморфные, мелкокристаллические, стилолитизированные, местами брекчиевидные, трещиноватые, кавернозные.

Окончание таблицы 4.2.2

Тип долота	Горные породы, при разбуривании которых эффективен этот тип долота
С	Переслаивание, флишевое чередование глин, песчаников, песков, алевролитов, реже – аргиллитов, отдельных горизонтов конгломератов и прослоев мергелей. Глины темно-серые до черных и светло-зеленые, обычно плотные, тонкослоистые, иногда грубослоистые и комковатые, фукоидные, опоковидные, аргиллитоподобные, песчанистые, алевритистые, известковистые и неизвестковистые, слюдистые, иногда загипсованные, битуминозные, с гнездами пирита. Песчаники различной плотности, иногда рыхлые, от мелкозернистых до грубозернистых, кварцево-глауконитовые, кварцевые, полимиктовые, часто известковистые и глинистые, иногда с гнездами пирита и битума. Алевролиты плотные и рыхлые, слюдистые, известковистые. Пески слабоуплотненные, мелкозернистые, алевритистые. Аргиллиты слоистые, сланцеватые, известковистые и неизвестковистые. Мергели песчанистые, местами глинистые. Конгломераты разногалечные, местами крупновалунные. Известняки и доломиты пелитоморфные, мелкокристаллические, стилолитизированные, местами брекчиевидные, трещиноватые, кавернозные, глинистые, иногда слабодоломитизированные, с прослоями глин и аргиллитов, ракушечные известняки, мел писчий, рыхлый. Каменная соль крупнокристаллическая с прослоями глин, ангидритов, доломитов, известняков.
СЗ	Переслаивание глин плотных, слоистых, иногда аргиллитоподобных, в различной степени песчанистых, известковистых, часто загипсованных, с включениями гипса и ангидрита, с песчаниками от мелко- до крупнозернистых, кварцевыми полимиктовыми, слюдистыми, известковистыми, глинистыми, аргиллитами слюдистыми, иногда окремнелыми, алевролитами кварцевыми, песчанистыми, слюдистыми, известковистыми. Прослои конгломератов, глинистых сланцев, роговиков, мергелей, туффиты.
СТ	Известняки и доломиты мелкозернистые и разнозернистые, иногда брекчиевидные, массивные, часто мелкокавернозные и трещиноватые, неравномерно глинистые, участками окремнелые, доломиты часто известковистые. Переслаивание глин алевритистых, часто сильно загипсованных, алевролитов, песчаников средне- и крупнозернистых, кварцевых, слабосцементированных, аргиллитов, тонкоплитчатых, известковистых, ангидритов кристаллических, гипсов, мергелей. Соль каменная крупнокристаллическая, с прослоями глин, мергелей, ангидритов, доломитов.
Т	Известняки и доломиты. Известняки органогенно-обломочные, обломочные, мелко-тонкозернистые, пелитоморфные, местами перекристаллизованные, массивные, трещиноватые, мелкокавернозные, часто доломитизированные, в различной степени окремнелые, изредка пиритизированные, с прослоями глин и включениями ангидритов и гипсов. Доломиты мелко- и тонкозернистые и пелитоморфные, плотные и неравномернопористые, иногда массивные, прослоями мелкокавернозные, трещиноватые, изредка глинистые, ангидритизированные, загипсованные, с включениями ангидрита и кремния. Переслаивание глин и глинистых сланцев песчанистых, слюдистых, алевролитов кварцевых, глинистых, углистых, песчаников мелко- и крупнозернистых, иногда пористых, кварцевых, полимиктовых, слюдистых, углистых, встречаются конгломераты и гравелиты.
ТК	Известняки и доломиты. Известняки органогенно-обломочные, пелитоморфные, тонкозернистые, прослоями перекристаллизованные, пористо-кавернозные, часто доломитизированные, окремнелые, ангидритизированные, битуминозные, иногда с прослоями мергелей, горючих сланцев. Доломиты мелко- и тонкозернистые, перекристаллизованные, плотные, неравномерно пористые, иногда массивные, мелкокавернозные, с включениями ангидрита и кремния. Аргиллиты сланцевые, скорлуповатые, алевролиты и песчаники кварцевые, углистые, мелко- и равнозернистые, иногда с прослоями каменного угля и углистых сланцев.
ТЗ, ТКЗ	Известняки органогенные, органогенно-обломочные, тонкозернистые, пелитоморфные, участками окремнелые, иногда глинисто-битуминозные, доломитизированные, трещиноватые и кавернозные. Доломиты тонкозернистые, участками окремнелые, с включениями гипса, прослои глин тонкослоистых и мергелей. Аргиллиты, иногда окремнелые, алевролиты и песчаники мелкозернистые, кварцевые, глинистые сланцы, роговики, андезиты, андезито-базальты.
К, ОК	Кварцитовидные песчаники с прожилками кварца. Андезиты, андезито-базальты. Песчаники мелкозернистые, кварцевые с прослоями аргиллитов, известняков. Аргиллиты тонкослоистые, неравномерно алевритистые, углистые с прослоями углей. Алевролиты тонкослоистые, углисто-глинистые. Известняки и доломиты окремнелые. Сланцы углисто-глинистые, филитизированные.

4.3 **Долота с фрезерованным вооружением**

В долотах типов «М», «МС», «С» и «Т», предназначенных для разрушения малоабразивных пород, шарошки оснащены фрезерованными зубьями, наплавляемыми зерновым твердым сплавом. Эти зубья различаются по следующим параметрам:

- угол заострения;
- высота над корпусом шарошки;
- величина притупления.

Наплавочный материал данных зубьев состоит из композиции зерен твердого сплава, а так же боле мелких частиц карбида вольфрама и наносится на поверхности зуба (боковые, торцевые и поверхности притупления (рисунок 2.7)). Это способствует увеличению стойкости вооружения и долота в целом, обеспечивает высокую механическую скорость бурения за счет длительного сохранения породоразрушающей поверхности фрезерованных зубьев. [7]

Рисунок 4.3.1 – Вооружение шарошек долот типов М, МС, С и Т

Рисунок 4.3.2 – Фрезерованные зубья шарошек, наплавленные зерновым твердым сплавом

В долотах, предназначенных для бурения в мягких породах, высота зубьев и их шаг по венцам максимальны. Соответственно, в долотах для бурения очень крепких пород они – минимальны. Это же правило распространяется и на твердосплавные зубки (описание в разделе 2.4).

При проектировании долот с фрезерованным вооружением используются следующие принципы:

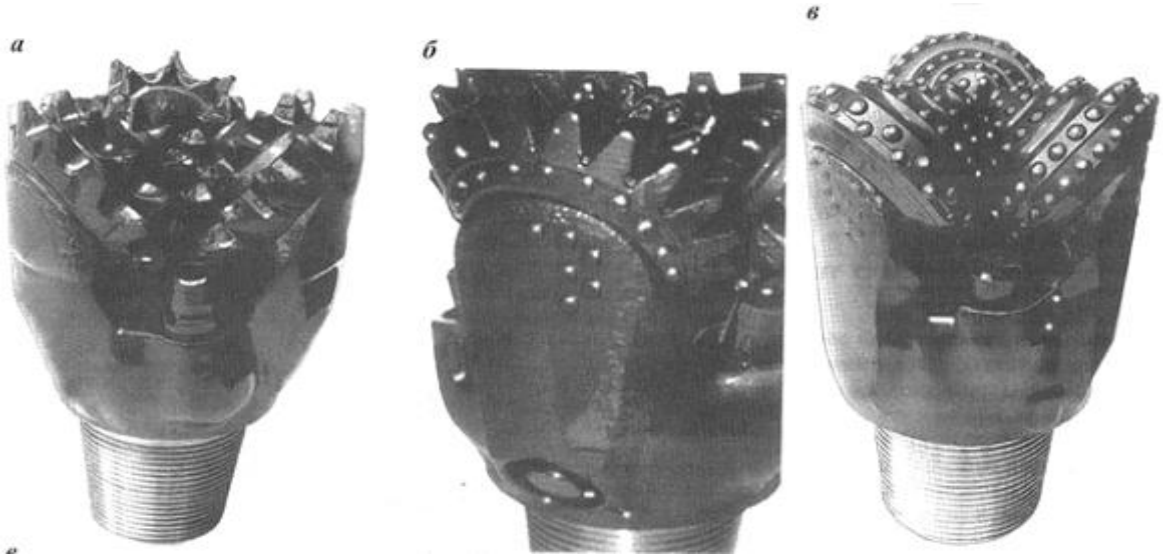
– для бурения мягких пород (типа М) закладывается максимальное смещение осей шарошек относительно оси долота и максимальный угол наклона осей шарошек к оси долота (57°) с целью усиления ударно-сдвигающего воздействия зубьев на породу;

– для бурения пород средней твердости (типа С) берется среднее смещение осей шарошек и соответствующий угол наклона осей шарошек к оси долота (54°) с целью получения как скалывающего воздействия, так и достаточно высокого ударно-сдвигающего воздействия зубьев на породу.

– для бурения твердых пород (типа Т) оси шарошек без смещения с целью получения чисто ударного воздействия зуба на породу, что обеспечивает минимальный износ, характерный для «чистого» качения по забою;

– принцип разношагового расположения зубьев на их венцах, обусловливающий снижение рейкообразования на забое скважины.

Существенно повысить стойкость долота, как от износа по диаметру, так и его работы в целом можно путем применения конструктивных решений, таких как, армирование спинок лап фрезерованных долот наплавкой козырька и набегающего ребра зерновым твердым сплавом, запрессовкой твердосплавных зубков или же комбинировать наплавку и запрессовку одновременно, что обеспечит полное перекрытие спинки по высоте. Обратные конусы шарошек с фрезерованными зубьями также наплавляются зерновым твердым сплавом, а по заказу потребителей они армируются вставными твердосплавными зубками с целью повышения износостойкости долота по диаметру (представлены на рисунке 4.3.3).



а – с фрезерованным вооружением с наплавкой козырька и набегающего ребра зерновым твердым сплавом; б – с фрезерованным вооружением с наплавкой козырька и набегающего ребра зерновым твердым сплавом и запрессовкой твердосплавных зубков; в – со штыревым вооружением с наплавкой козырька зерновым твердым сплавом и запрессовкой твердосплавных зубков

Рисунок 4.3.3 – Долото трехшарошечное

4.4 **Долота с твердосплавными вставками**

В долотах типов «МЗ», «МСЗ», «СЗ», «ТЗ, «К» и «ОК», предназначенных для разрушения абразивных пород, шарошки оснащаются твердосплавными вставными зубками с различной породоразрушающей поверхностью, диаметром, величиной выступания над телом шарошки. В качестве материала для их изготовления применяются твердые сплавы с высокими прочностными свойствами и противоизносными показателями.

Формы зубков долот со штыревым твердосплавным вооружением существуют совершенно разные: клиновидные, сферические, конические и др., что обеспечивает возможность обоснованного выбора долот применительно к конкретным геолого-техническим условиям бурения (представлены на рисунке 4.4.2).

Рисунок 4.4.1 – Вооружение шарошек долот типов МЗ, МСЗ, СЗ, ТЗ, К и ОК

Рисунок 4.4.2 – Зубки различных форм долот со штыревым твердосплавным вооружением

4.5 **Гидравлика долот**

Важнейшей для производительного бурения является гидравлика долота, независимо от его типа.

Гидравлика долота выполняет четыре основных функции:

- способствует эффективному разрушения пород;
- удлиняет эффективную жизнь режущей структуры и подшипников;
- снижает вероятность зашламования долота;
- позволяет получить максимальную механическую скорость бурения.

Для качественной очистки забоя важную роль играет расположение и конструкция промывочных каналов долота. Изготавливаются они в следующих вариациях (с указанием в шифре долота соответствующих букв):

- с центральной промывкой (Ц), применяется в основном в долотах малого диаметра – через центральное отверстие в корпусе;

- с боковой гидромониторной промывкой (Г) – через боковые отверстия, минуя шарошки, непосредственно на поверхность забоя; на выходе промывочных отверстий устанавливаются сменные насадки-сопла: твердосплавные – для долот серий АУ, НУ и удлиненные из высокостойкого чугуна – для серий ВУ, Н и В; диаметры внутренних отверстий в насадках – от 6,4 до 22,2 мм;

- с комбинированной – центральной и боковой промывкой (ЦГ);

- с асимметричной промывкой – с двумя боковыми и одной центральной насадками, с образованием на одной из лап значительно увеличенного пространства для восходящего потока бурового раствора.

Непосредственно сами насадки можно разделить на 3 категории:

– стандартные насадки (рисунок 4.5.1, а);

– удлиненные насадки (рисунок 4.5.1, б);

– расширяющиеся насадки (диффузоры) (рисунок 4.5.1, в).

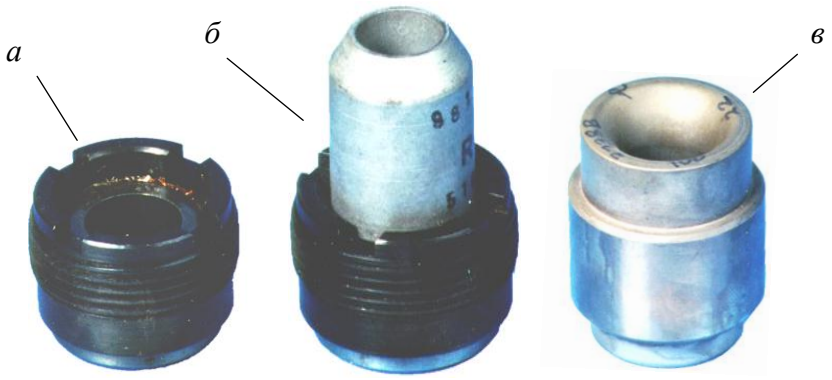


Рисунок 4.5.1 – Типы насадок

Для создания эффективной гидравлики рекомендуется придерживаться следующих рекомендаций:

– использовать удлиненные насадки и\или удлиненные промывочные узлы (за исключением случаев зашламования долота);

– использовать векторные насадки и центральные сопла при тенденции долота к зашламованию;

– использовать ассиметричные насадки для создания перекрестных потоков на забое;

– использовать расширяющиеся центральные сопла во избежание эрозии шарошек.

4.6 **Опора долот**

Опоры шарошек – наиболее ответственные узлы шарошечного долота, стойкость которых чаще всего определяет долговечность долота в целом. Опоры воспринимают радиальные и осевые нагрузки (по отношению к цапфе).

Беговые дорожки цапфы и шарошки и тела качения без сепараторов составляют опору шарошки. Помимо подшипников качения опора может включать подшипники скольжения (антифрикционные втулки) и торцевую пяту (антифрикционный диск). Полость опоры заполняется консистентной смазкой.

Опоры шарошек в зависимости от типаразмера долот конструируются из различных сочетаний шариковых и роликовых подшипников качения и подшипников скольжения.

Шариковые подшипники легче разместить в ограниченных размерах шарошки, они слабо реагируют на возможные перекосы осей шарошек и цапф. Однако из-за проскальзывания шариков по боковым дорожкам эти подшипники быстро нагреваются и требуют интенсивного охлаждения.

Роликовые подшипники могут воспринимать большую, чем шариковые подшипники нагрузку, но труднее вписываются в ограниченные размеры шарошек. Они весьма чувствительны к перекосам осей шарошек и цапф и при износе роликов нередко шарошки заклиниваются на цапфах.

Подшипники скольжения способны воспринимать наибольшие нагрузки. Однако эффективны они только при невысоких частотах вращения долота,

когда трущиеся поверхности шарошек и цапф и соседних подшипников качения сильно не нагреваются.

В каждой системе опор обязательно имеется один шариковый подшипник, называемый замковым радиально-упорным подшипником двухстороннего действия. Он удерживает шарошку на цапфе и воспринимает усилия, направленные вдоль и перпендикулярно к оси цапфы. Устанавливается этот подшипник в последнюю очередь, через цилиндрический канал в цапфе, затем в этот канал вставляется стержень (палец) и его наружная часть приваривается к телу цапфы.

Подшипники шарошек в процессе бурения смазываются и охлаждаются буровым раствором, проникающим к ним по зазору между основанием шарошки и упорной поверхностью в цапфе. Поэтому в буровой раствор добавляются специальные реагенты, улучшающие его смазочные свойства.

В последние годы все большее применение находят долота с герметизированной маслонаполненной опорой, у которых специальная смазка поступает к подшипникам из эластичного баллона имеющемуся в лапе и цапфе каналу. Проникновению буровому раствору в полость такой опоры и утечки смазки препятствует жесткая уплотнительная манжета. Долговечность таких долот при ограниченной частоте оборотов на порядок и более превосходит долговечность долот с открытой опорой.

Опоры шарошек изготавливают с различной комбинацией подшипников качения и скольжения, определяющей серию долота. При изготовлении опор только на подшипниках качения в шифр долота вводится буква В. При изготовлении опор с одним радиальным и одним или двумя упорным подшипниками скольжения (при остальных подшипниках качения) в шифр долота вводится буква Н. При изготовлении такого долота с системой маслонаполнения и торцевым резиновым кольцом с тарельчатым поджимающим металлическим каркасом или эластичным радиальным кольцом в шифр долота вводятся буквы НУ. При изготовлении опор на двух или более радиальных подшипниках скольжения с одним или двумя упорными

подшипниками скольжения, шариковым (замковым) подшипником, с герметизацией маслонаполненной опоры радиальным резиновым уплотнительным кольцом в шифр долота вводятся буквы АУ. [8]

4.7 Классификация шарошечных долот по коду IADC

IADC (International Association of Drilling Contractors**)** - Международная ассоциация буровых подрядчиков — основана на четырехсимвольном коде, отражающем конструкцию долота и тип горных пород, для бурения которых оно предназначено. Первые три символа – цифровые, четвертый – буквенный. Последовательность цифровых символов определяется как «серия-тип-опора/калибрующая поверхность». Четвертый буквенный символ определяется как «дополнительные характеристики».

Первая цифра кода – серия вооружения долота (1-8).

Восемь категорий серий вооружения соответствуют общей характеристике горных пород, для бурения которых предназначено долото. Серии от 1 до 3 определяют долота с фрезерованным вооружением, а серии от 4 до 8 – долота с твердосплавным вооружением. Увеличение цифры серии внутри групп означает увеличение твердости пород, для которых предназначено долото.

Вторая цифра кода – тип вооружения (1-4). Каждая серия разделена на 4 типа в зависимости от твердости разбуриваемых пород. Тип 1 означает долота для бурения наиболее мягких пород в пределах серии, а тип 4 относится к наиболее твердым породам в пределах серии.

Третья цифра (1-7) характеризует конструкцию опоры и наличие (или отсутствие) твердосплавных вставок калибрующих поверхностях шарошек. Категории 8 и 9 – резервные, для возможного использования в будущем.

Четвертый буквенный символ кода – «дополнительные характеристики» (необязательный). 16 букв используются для обозначения специальных конструкций вооружения, опор, промывочных устройств и защиты корпусов долот. В случаях, когда конструкция долота имеет более одной из дополнительных характеристик, указывается наиболее существенная из них. [9]

КЛАССИФИКАЦИЯ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ ПО КОДУ IADC

1		2		3							4 (необязательный)	
Серия		Категория пород		Характеристики опоры							Дополнительные характеристики	
				1	2	3	4	5	6	7		
Фрезерованное вооружение	1	Мягкие	1	открытая (негерметизированная) опора	1 + для бурения с продувкой воздухом	1 + твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек	герметизированная опора на подшипниках качения	4 + твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек	герметизированная опора на подшипниках скольжения	6 + твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек	A	долота для бурения с продувкой воздухом
			2								B	специальная конструкция уплотнений
			3								C	центральная насадка
			4								D	специальная конструкция вооружения, минимизирующая отклоние ствола скважины
	2	Средние	1								E	удлиненные насадки
			2								G	усиленная защита козырьков лап наплавкой или твердосплавными зубками
			3								H	долота для направленного или горизонтального бурения
			4								J	гидромониторные долота для бурения с набором кривизны
	3	Твердые	1								L	калибрующие накладки на спинках лап, армированные твердосплавными зубками
			2								M	долота для бурения с забойными двигателями
			3								S	стандартные долота с фрезерованным вооружением
			4								T	двухшарошечные долота
Твердосплавное вооружение	4	Мягкие	1								W	усовершенствованное вооружение
			2								X	зубки преимущественно клиновидной формы
			3								Y	зубки конической формы
			4								Z	другие формы зубков
	5	Средне-мягкие	1									
			2									
			3									
			4									
	6	Средние	1									
			2									
			3									
			4									
	7	Твердые	1									
			2									
			3									
			4									
	8	Очень твердые	1									
			2									
			3									
			4									

БУРИНТЕХ

Рисунок 4.7.1 – Классификация шарошечных долот по коду IADC

4.8 **Описание износа шарошечных долот**

Рассмотрена методика описания износа шарошечных долот в соответствии со стандартами Международной ассоциации буровых подрядчиков, как наиболее часто применяемая на сегодняшний день и наиболее полно описывающая состояние долота, чем методика ВНИИБТ.

Структура системы оценки и описания отработанных шарошечных долот по IADC включает в себя восемь позиций, представленных в таблице 2.4.

Таблица 4.8.1 - Описание износа шарошечных долот по IADC

Режущая структура				Опора	Потеря диаметра	Примечания	
Внутренние венцы	Наружные венцы	Характер износа	Место	Подшипниковый узел	диаметр 1/16	Другой износ	Причина подъема
I – 1	O – 2	D – 3	L – 4	B – 5	G – 6	O – 7	R – 8

Позиция 1: (I) – внутренние венцы. Описывает состояние режущих элементов (уменьшение высоты вооружения), не касающихся стенок скважины. В ячейку заносится значении в соответствии с линейной шкалой 0-8, описывающей износ режущих элементов (0 – нет износа, 0%; 8 – полный износ, 100%).

Позиция 2: (O) – наружные венцы. Описывает состояние режущих элементов (уменьшение высоты вооружения), касающихся стенок скважины. Значение аналогично позиции 1.

Позиция 3: (D) – характеристика износа. Используются 2-х буквенные коды для описания основных типов износа режущих структур долота, указанные в таблице 4.8.2.

Позиция 4: (L) – местоположение. Используется для описания позиции описываемого износа на режущей структуре долота. Возможные значения:

– G – калибрующие, касающиеся стенок скважины;

– N – нос – острые концы шарошек;

– M – центр – режущие венцы между калибрующими и носом шарошек;

– A – все венцы;

– порядковые номера шарошек. Чтобы правильно определить номера шарошек, необходимо иметь ввиду, что как правило шарошка №1 содержит наиболее центральный режущий элемент. Однако, некоторые долота могут иметь одинаковые центральные элементы на шарошках №1 и №3. В этих случаях шарошкой №1 будет та, на которой расстояние между венцами А и Б

наибольшее, шарошки №2 и №3 нумеруются по часовой стрелке, глядя на режущую поверхность долота. [10]

Таблица 4.8.2 – Коды износа режущих структур долота

BC – разрушение шарошки	LN* – потеря насадки
BT – слом режущих элементов	LT – выпадение режущих элементов
BU – зашламование	NO – нет износа
CC – трещины шарошек	OC – эксцентричный износ долота
CD – задиры на шарошках	PB* – сжатое долото
CI – касание шарошек	PN* – забитая насадка
CR – «кернование», потеря носовых вставок вооружения	RG – закругленные калибрующие
CT – сколы режущих элементов	SD* – повреждение козырька лапы
ER – эрозия	SS – самозаточка зуба
FC – плоский износ зубков	TR – попадание резцов венца (ов) при каждом обороте долота на одно и тоже место на забое
HC – перегрев тв/спл. вставок	WO* – размывы корпуса
JD – работа по металлу	WT – нормальный износ режущих элементов
LC – потеря шарошек	
* Применяется только для описания износа в позиции 7 (O).	

Позиция 5: (B) – подшипниковые узлы. В графе указывается состояние подшипника и сальника для каждой из трех шарошек. Принимаемые значения:

– для открытой опоры в качестве оценки применяется линейная шкала от 0 до 8, измеряющая использованную часть жизни подшипника.

– для герметизированной опоры используются буквенные обозначения: E – рабочий сальник; F – полный износ; N – неопределимо. Для выяснения эффективности элементов герметизированного подшипника необходимо проверить следующее: возможность вращения шарошки; отдача при вращении; скрип сальника; посторонние внутренние звуки; утечка смазки; заострение козырька лапы долота; зашламование; открытые зазоры на соединении с лапой; износ роликов. А конкретно, если подшипник в рабочем состоянии, следует использовать код – «E»; если вышли из строя и подшипник и сальник необходимо использовать код – «F»; если какая-либо часть подшипника обнажена или потеряна, он уже не эффективен, следует использовать код «F»; рекомендуется использовать код «N» – если нет возможности определить состояние описываемых элементов.

Позиция 6: (G) – потеря диаметра. Описывает состояние вооружения только по венцам, касающимся стенок скважины, основываясь на измерениях калибрующим кольцом номинального размера. Износ фиксируется в 1/16 долях дюйма, при этом составляет 2/3 от зазора между калибрующим кольцом и вставками по обратным конусам шарошек – там, где они ближе всего к наружному диаметру.

Позиция 7: (O) – другие характеристики износа. Как и в позиции 3 используются коды, приведенные в таблице 2.5.

Позиция 8: (R) – причина подъёма долота. Используются буквенные коды для описания основных причин подъема долота, указанные в таблице 4.8.3.

Таблица 4.8.3 – Коды причин подъёма долота

BHA – замена КНБК	LIH – оставлено на забое
CM – замена раствора	LOG – геофизические работы
CP – отбор керна	PP – повышение давления на насосе
DMF – проблемы с ВЗД	PR – падение механической скорости.
DP – закупорка бурильных труб	RIG – ремонт буровой
DSF – проблемы с бурильной колонной	TD – расчетная глубина
DST – испытания инструмента	TQ – повышенный момент вращения
DTF – проблемы с оборудованием в составе КНБК	TW – поломка, откручивание инструмента
FM – смена пород	WC – погодные условия
HP – проблемы со скважиной	WO – промыв инструмента
HR – предел часов работы долота	

Грамотное, внимательное и корректное описание износа поможет принять верное решение о дальнейшем неограниченном применении долота, либо об ограничении применения с целью недопущения аварийных ситуаций. [10]

5. ДОЛОТА С ФИКСИРОВАННЫМИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИМИ РЕЗЦАМИ

5.1 **Общие сведения о долотах PDC**

Долото с фиксированными алмазосодержащими резцами – породоразрушающий инструмент, рабочим органом которого является основание с поликристаллическими композитными вставками.

Долота PDC разрушают горную породу с помощью режущего действия в отличии от разрушения породы дроблением, что происходит при использовании трехшарошечных долот. Эти долота были разработаны, в основном, для бурения мягких и средних пород, где раньше использовались трехшарошечные долота. В мягких породах долота с резцами PDC демонстрировали скорость проходки, более чем в три раза превышающую аналогичную скорость при использовании других долот. Это достигается за счет режущего механизма долот PDC и их большей долговечности в связи с отсутствием в их конструкции движущихся частей, которые могут быстро изнашиваться. Количество энергии для удаления одной единицы объема значительно меньше, чем тот же показатель для шарошечных долот и долот, армированных натуральными алмазами.

Во время процесса разрушения горной породы резцом PDC, твердосплавное основание, находящиеся сразу за алмазным слоем, изнашивается быстрее, чем поликристаллические алмазы. В результате этого образуется заостренное алмазное лезвие, которое продолжает оставаться острым на протяжении всего ресурса работы резца. Хотя резец PDC показывает прекрасное сопротивление абразивному износу, он очень чувствителен к ударной нагрузке.

5.2 **Конструкция долот PDC**

Основные конструктивные элементы отображены на рисунке 5.1:

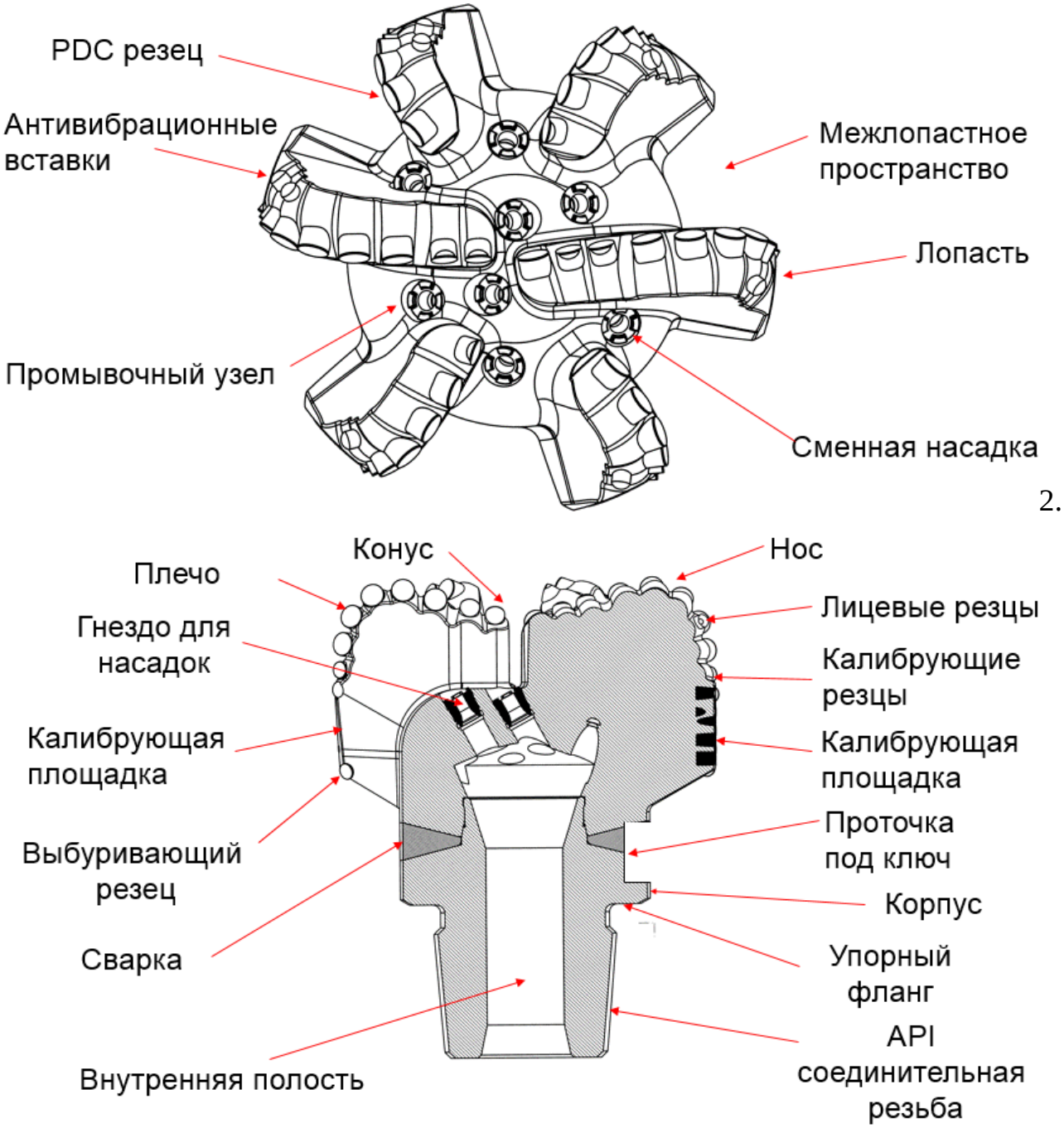


Рисунок 5.2.1 – Конструкция долота PDC

В числе основных достоинств долот PDC – отсутствие в их конструкции движущихся частей, высокая износостойкость, самозатачивающее действие резцов и низкая требуемая осевая нагрузка на долото.

Конструктивное многообразие долот с фиксированными алмазосодержащими резцами достигается благодаря изменению диаметра резцов и их количества, количества лопастей, профиля долота и материала корпуса. Как будет показано далее, структура вооружения напрямую зависит от профиля долота.

Вариации профиля непосредственно влияют на:

– стабильность работы долота;

– управление направлением бурения;

– плотность посадки резцов;

– долговечность долота;

– механическую скорость бурения;

– очистку и охлаждение долота.

Более того, проектирование долота – это поиск компромисса между максимальным числом резцов (увеличение срока жизни долота), минимальным количеством лопастей (улучшенная гидравлика и высокая механическая скорость проходки) и наиболее коротким профилем (высокая стабильность долота и улучшенная очистка).

Профиль долота PDC делится визуально и технически на несколько элементов (рисунок 5.2.2).

Внутренний конус – геометрический центр долота.

Нос – активная рабочая зона долота, закругление от конуса.

Плечо – зона от точки касательной к наружному закруглению носа до начала резцов по наружному диаметру долота.

Наружный диаметр – мягкий переход между плечевой поверхностью и калибрующими резцами.

Калибрующие резцы (калибрующая поверхность) – обрабатывают стенки скважины и стабилизируют долото.

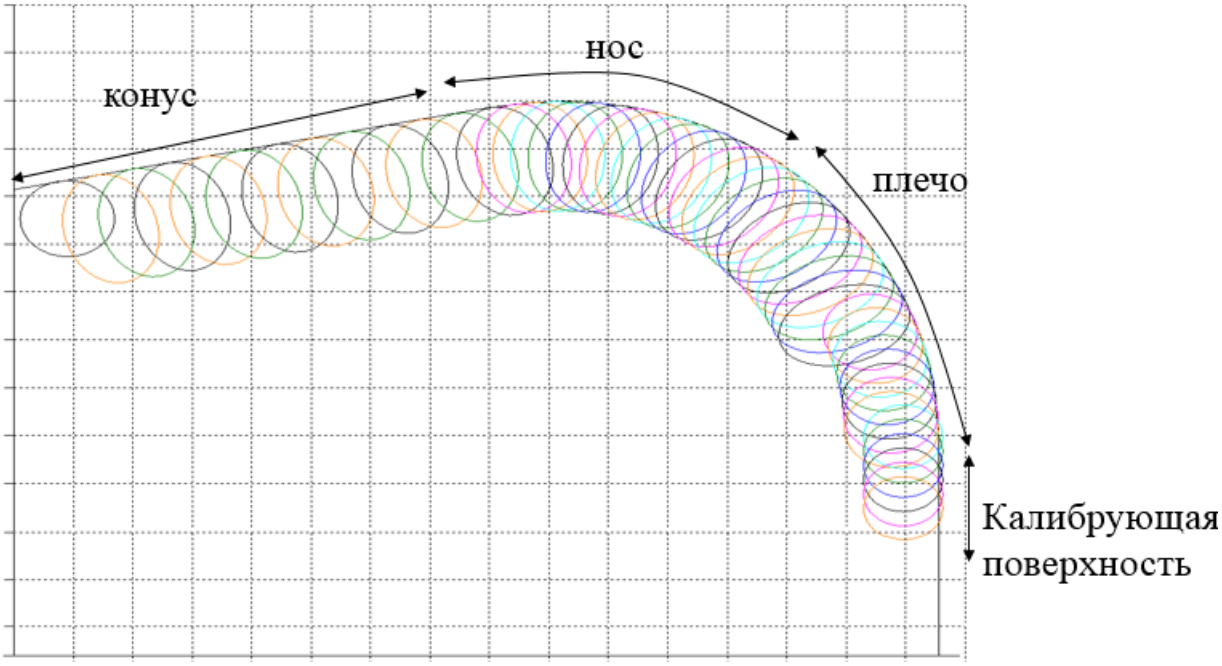


Рисунок 5.2.2 – Компоненты профиля долота

Внутренний конус различается по углу раскрытия от глубокого (~90°, рисунок 5.2.3, а) до мелкого (~150°, рисунок 5.2.3, б).

Глубокий конус имеет следующие преимущества:

– высокая стабильность долота;

– повышенное содержание алмазов.

Однако появляются недостатки:

– сложность управления направлением бурения;

– хуже очистка;

– снижение агрессивности.

Преимущества мелкого конуса:

– управляемость направлением бурения;

– улучшение очистки;

– повышение агрессивности.

Недостатки мелкого конуса:

– снижение стабильности;

– уменьшение объёма алмазов.

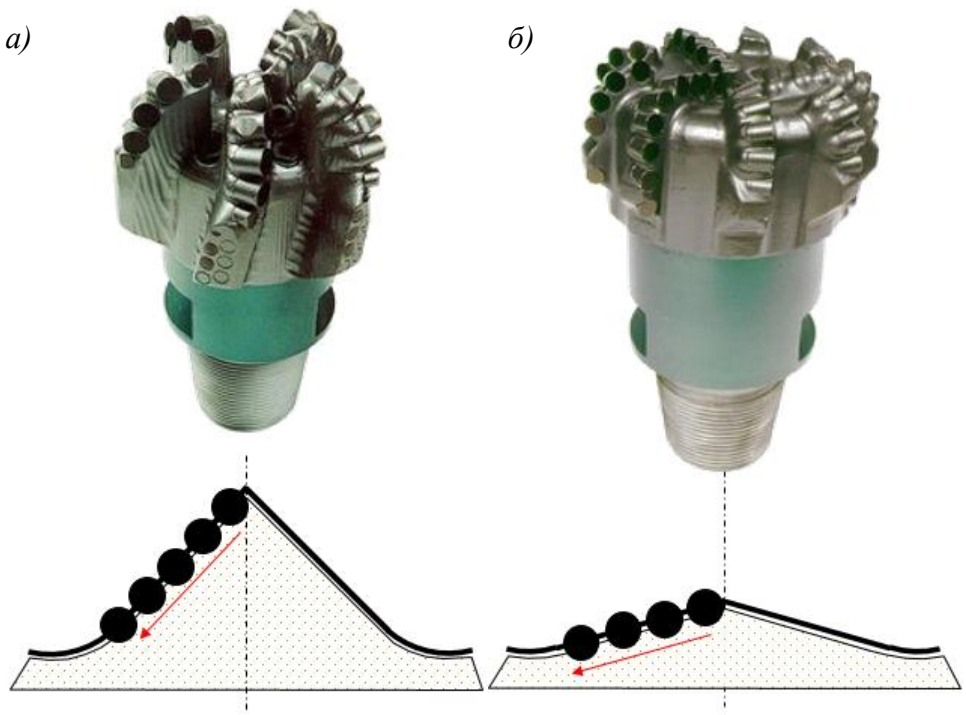


Рисунок 5.2.3 – Внутренний конус долота PDC

Конструктивные вариации носа долота заключаются в изменении радиуса носа (рисунок 5.2.5) и/или его расположения, характеризующегося расстоянием до оси долота (рисунок 5.2.6).

Главным образом модификация носа долота влияет на изменение распределения нагрузок на резцы (за счёт увеличения количества резцов на лопасти, либо вовлечения большего количества резцов во взаимодействие с породой). Зависимости изменений такие:

Большой радиус (R) создаёт площадку, достаточную для оптимального распределения нагрузки при бурении крепких и перемежающихся пород (рисунок 5.2.4, а).

Короткий (острый) радиус (r) обеспечивает повышение удельных нагрузок на резцы и желателен при бурении мягких однородных пород (рисунок 5.2.4, б).

Расположение ближе к оси даёт большую площадь для посадки плечевых резцов, что благоприятно для бурения мягких абразивных пород (рисунок 5.2.6, а).

Расположение дальше от оси позволяет равномерно распределить нагрузку на резцы, что благоприятно для бурения более твёрдых пород (рисунок 5.2.6, б).

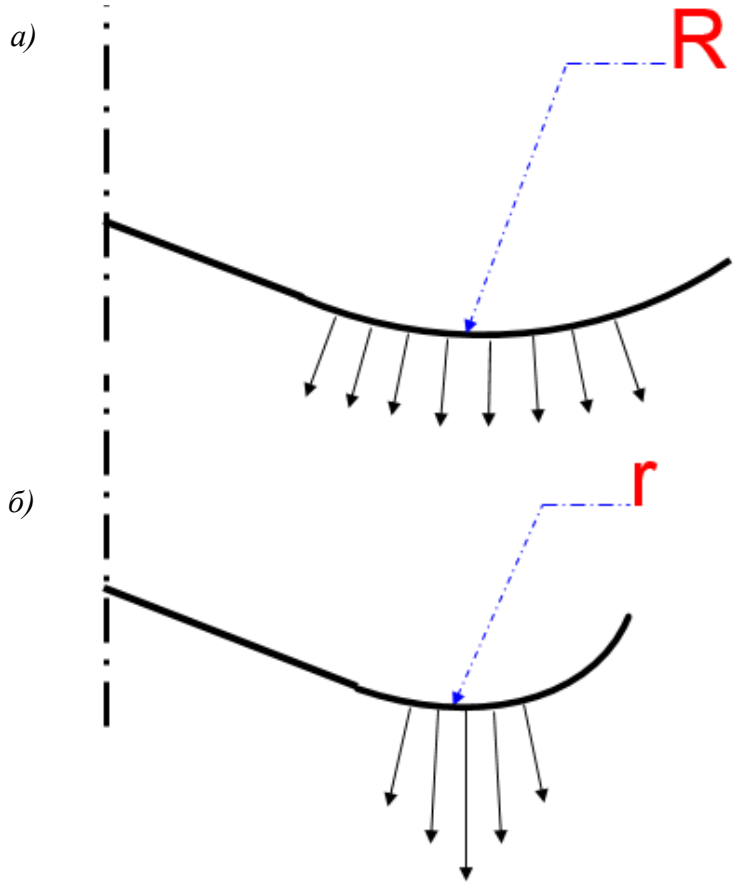


Рисунок 5.2.4 – Изменение радиуса носа долота PDC

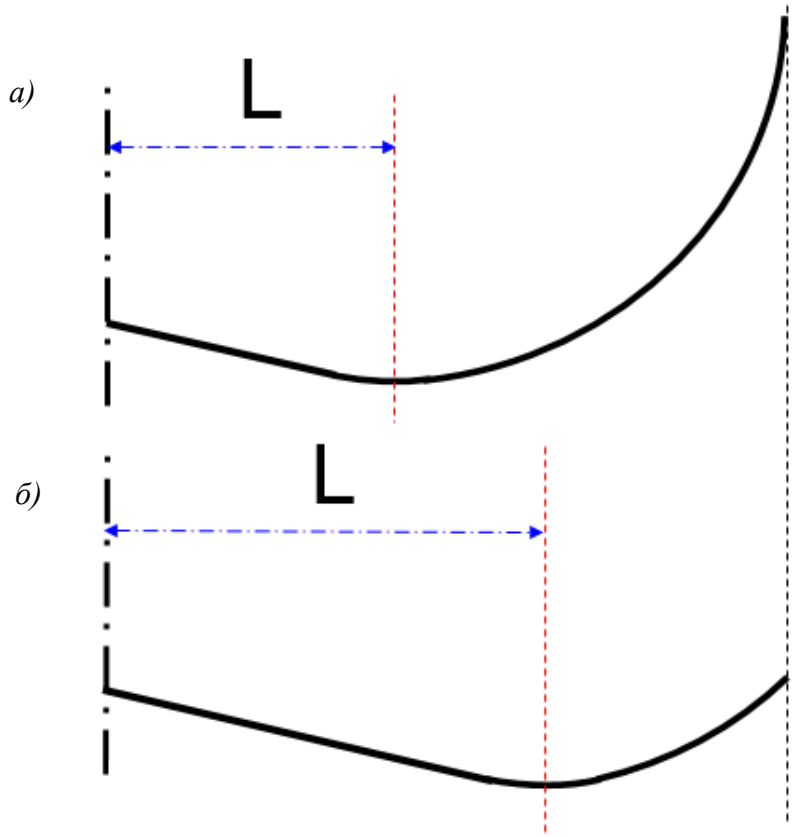


Рисунок 5.2.5 – Изменение расположения носа долота PDC

Таким образом, выделяют 4 основных типа профиля долот с фиксированными алмазосодержащими резцами (рисунок 3.5):

– плоский;

– короткая парабола;

– средняя парабола;

– длинная парабола.

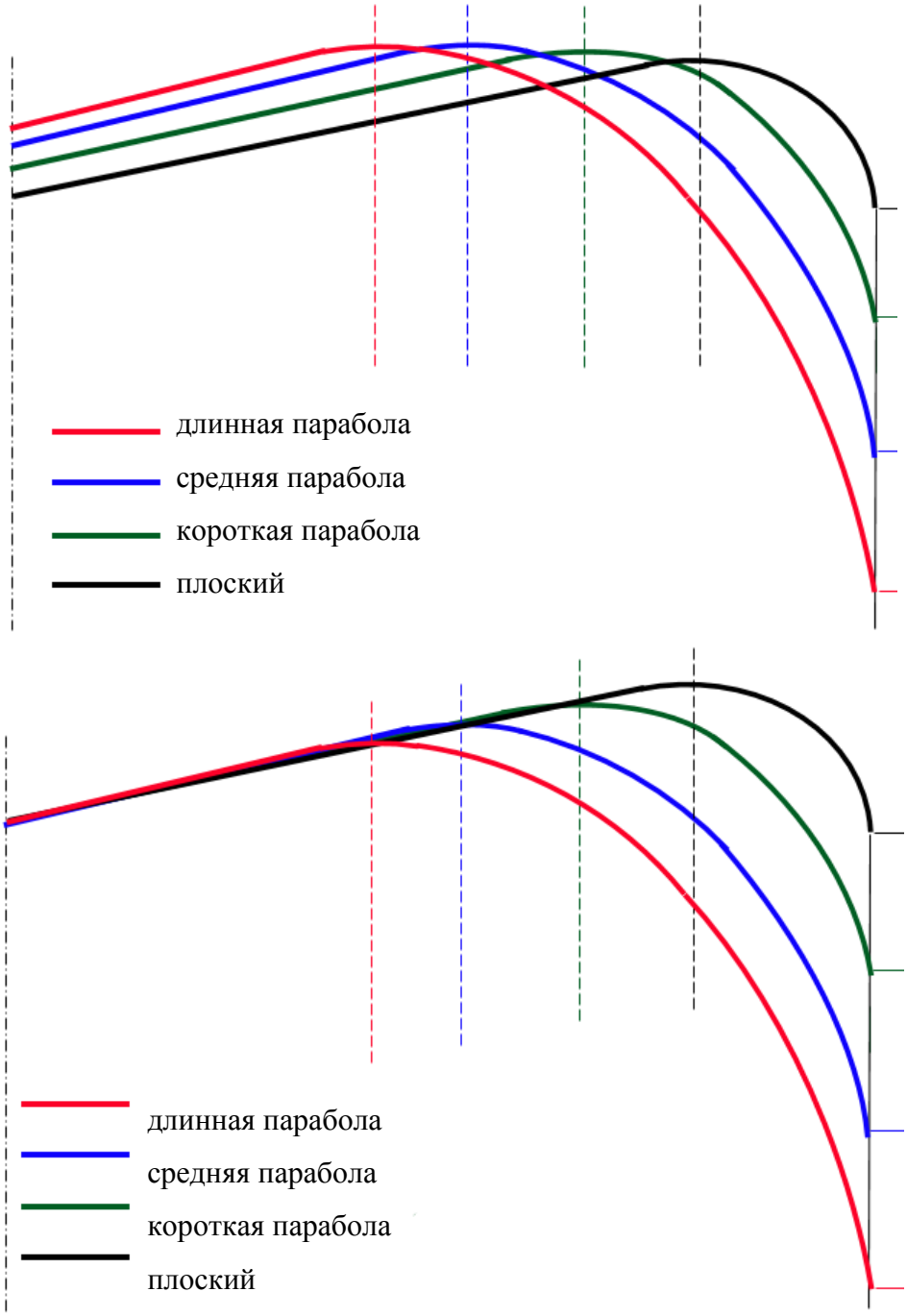


Рисунок 5.2.6 – Профили долота PDC

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что сферой применения долот с плоским профилем является бурение крепких мало абразивных пород. Долота же с длинным параболическим профилем предназначены для бурения мягких абразивных пород.

Кроме профиля на эффективность работы долота влияет структура вооружения: обратный угол резания; вылет (высота посадки) резцов; ориентация резцов.

Обратный угол резания характеризует угол атаки породы. Его увеличение даёт повышение ударной прочности и износостойкости резца. Снижение – повышает механическую скорость. Угол выбирается в соответствии с условиями бурения.

Типовые значения углов приняты следующие:

– 5-10° (рисунок 5.2.7, а): очень мягкие – глины, сланцы; высокие скорости бурения;

– 15-20° (рисунок 5.2.7, б): универсален; мягкие породы – сланцы; дольше жизнь резца; абразивные породы;

– 30° (рисунок 5.2.7, в): крепкие породы; типично для калибрующих резцов.

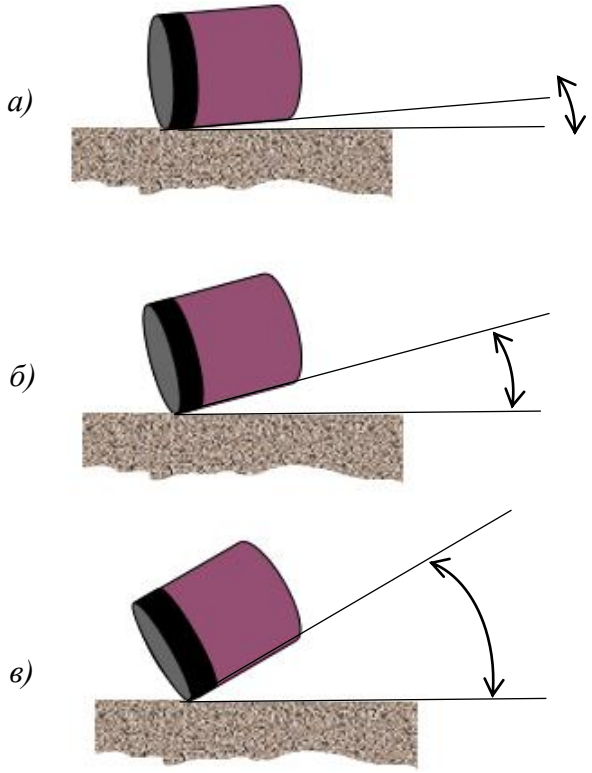


Рисунок 5.2.7 – Изменение обратного угла резания

Среди прочих параметров, описывающих структуру вооружения, следует обратить внимание на радиальную и угловую позицию резца, на боковой угол и высоту посадки.

Радиальная позиция – расстояние от центра долота до центра алмазного стола резца (рисунок 5.2.8, а).

Угловая позиция – угол между опорной 0° линией и линией, соединяющей центры резца и долота(рисунок 5.2.8, б)

Боковой угол – равен «0» когда проекция плоскости алмазного стола совпадает с линией радиуса долота (рисунок 5.2.8, в).

Высота посадки (вылет резца) – вертикальное расстояние от поверхности долота до центра алмазного стола (рисунок 5.2.8, г).

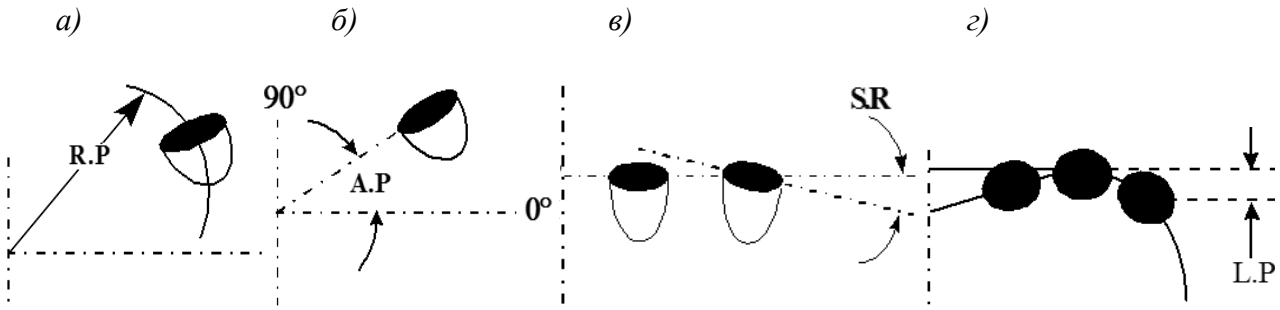


Рисунок 5.2.8 - Посадка и ориентация резцов долота PDC

Все перечисленные выше показатели закладываются в компьютерную программу, создающую геометрическую модель долота с учётом объёмов и динамики работы каждого резца. [11]

5.3 **Классификация ВНИИБТ**

Алмазный буровой инструмент (АБИ) в соответствии с требованиями ГОСТ 26474–85 изготавливается пяти типов [1]:

М – для бурения мягких пород;

МС – для бурения мягких пород с пропластками пород средней твердости;

С – для бурения пород средней твердости;

СТ – для бурения пород средней твердости с пропластками твердых пород;

Т – для бурения твердых пород.

По конструктивному исполнению алмазный породоразрушающий инструмент подразделяются на инструмент матричного вида и со стальным корпусом. В долотах матричного вида природные, синтетические и другие породоразрушающие элементы закреплены в износостойком матричном слое способом порошковой металлургии. В долотах со стальным корпусом породоразрушающие элементы из композиционного материала, изготовленного на основе природных, синтетических алмазов и алмазно-твердосплавных материалов в виде пластин и цилиндров, закреплены в стальном корпусе с помощью пайки или запрессовки.

В шифре АБИ матричного вида, оснащенных природными и синтетическими алмазами, используются следующие обозначения:

– первая буква указывает вид инструмента (Д– долото алмазное для бурения сплошным забоем; К – бурильная головка алмазная для бурения с отбором керна, используемая совместно с керноотборным инструментом);

– вторая (третья и четвертая) буква указывает на конструктивные особенности и способ армирования (Р – мелкие торовидные выступы на торцевой рабочей поверхности, Т – ступенчатая форма рабочей торцевой поверхности, И – импрегнированный способ армирования, АП – алмазная пластина, В – зарезное долото, С – синтетические алмазы, Ф – долотофрезер для прорезания окна в обсадной колонне);

– цифры обозначают номинальный диаметр долота, наружный и внутренний диаметр бурильной головки (мм);

– буквы после размера указывают тип АБИ, цифры – модификацию.

В шифре АБИ со стальным корпусом используются следующие обозначения:

– буква У указывает, что изготовителем является Дрогобычский долотный завод;

– обозначение ИСМ (Институт сверхтвердых материалов) используется в долотах, изготовителем которых является Опытный завод ИСМ АН Украины;

– цифры обозначают основные размеры инструментов (номинальный диаметр долота, наружный и внутренний диаметры бурильной головки);

– буква после цифр обозначает тип АБИ;

– дополнительные буквы в шифре инструмента обозначают: А – долото зарезное, РГ – режущее гидромониторное.

В настоящее время изготовлением долот алмазных и лопастных с твердосплавной износостойкой матрицей, оснащенных природными и синтетическими поликристаллическими алмазами типа СВС-П, а также алмазно-твердосплавными пластинами и резцами типа АПТ и АТР, поликристаллическими синтетическими термостойкими алмазами типа ПСТА и комбинированным вооружением типа АТП+ПСТА рабочих поверхностей, занимаются ряд российских предприятий, обзор которых приведен далее в дипломной работе.

5.4 **Классификация IADC**

Код состоит из четырех символов, обозначающих тип корпуса долота, тип горных пород, режущую структуру, тип профиля долота. Первый символ – буквенный, остальные – цифровые (таблица 3.1).

Первый буквенный символ кода обозначает материал корпуса долота (S, M, D).

Второй цифровой символ кода (1-8) характеризует тип горных пород, для которых предназначено долото. Категория 5 отсутствует.

Третий цифровой символ кода характеризует режущую структуру (диаметр, тип резцов).

Для горных пород категорий 1-4 долота оснащаются PDC резцами диаметром 8-19 мм, для горных пород категорий 6-8 – натуральными, термостойкими поликристаллическими алмазами, их комбинацией и импрегнированными алмазами.

Четвертый цифрой символ кода – профиль долота. [12]

Таблица 3.1 – Классификация долот PDC по IADC

<table>
<tr><td>1</td><td colspan="2">2</td><td colspan="4">3</td><td colspan="4">4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Тип корпуса</td><td colspan="2" rowspan="2">Тип горных пород</td><td colspan="4">Диаметр резцов PDC</td><td colspan="4">Тип профиля</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="8">S – стальной
M – матричный
D – алмазный</td><td>Очень мягкие</td><td>1</td><td rowspan="4">-</td><td rowspan="4">19</td><td rowspan="4">13</td><td rowspan="4">8</td><td rowspan="8">Короткий «рыбий хвост»</td><td rowspan="8">Короткий профиль</td><td rowspan="8">Средний профиль</td><td rowspan="8">Длинный профиль</td></tr>
<tr><td>Мягкие</td><td>2</td></tr>
<tr><td>Средне-мягкие</td><td>3</td></tr>
<tr><td>Средние</td><td>4</td></tr>
<tr><td>Отсутствует</td><td>5</td><td colspan="4">Тип алмазов</td></tr>
<tr><td>Средне-твердые</td><td>6</td><td rowspan="3">Натуральные алмазы</td><td rowspan="2">Термически стойкие (TSP)</td><td rowspan="2">Комбинация</td><td rowspan="2">-</td></tr>
<tr><td>Твердые</td><td>7</td></tr>
<tr><td>Очень твердые</td><td>8</td><td>-</td><td>-</td><td>рованные</td></tr>
</table>

5.5 **Гидравлика долот**

Для создания эффективной гидравлики при бурении долотами PDC необходимо:

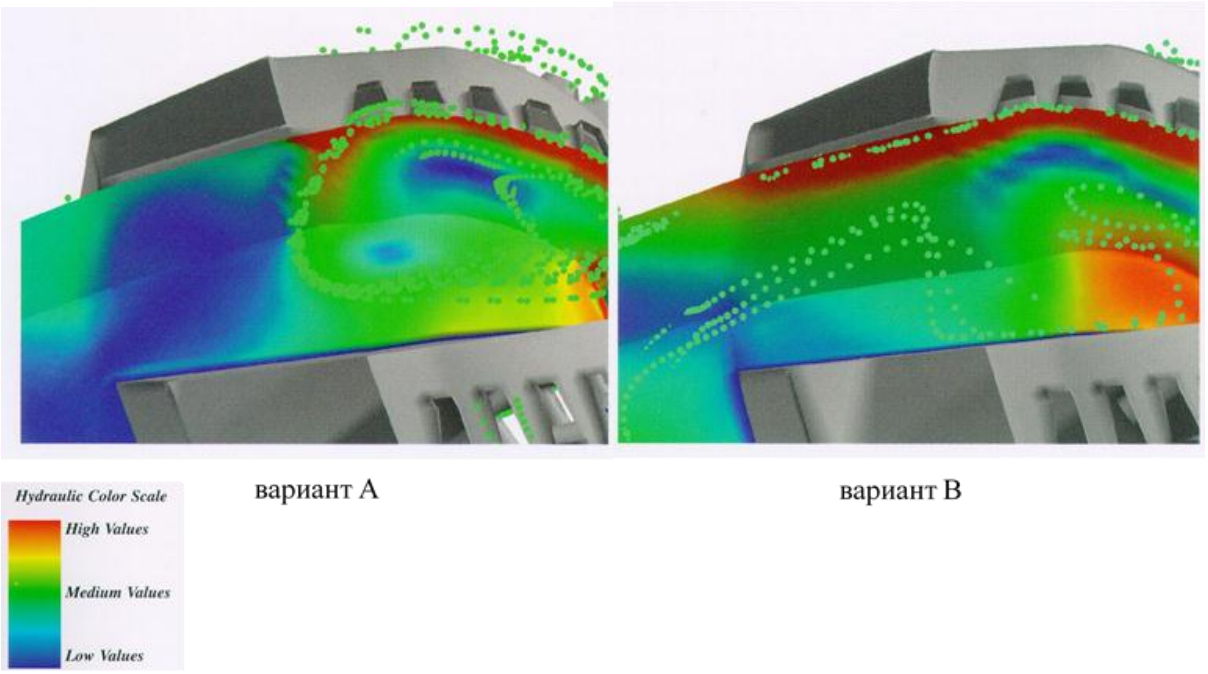
– обеспечить правильное расположение насадок (способствует быстрому выносу шлама из-под долота);

– избегать создания зон рециркуляции (рисунок 3.8);

– увеличить скорость потока вдоль траектории выноса шлама;

Установка насадок в долото производится только после гидравлического расчета с текущими режимами и параметрами бурения.

По возможности необходимо устанавливать на долото насадки одного размера (симметричное расположение)



Вариант А – наличие зон рециркуляции – слабая очистка

Вариант В – увеличение скорости потока – хорошая очистка

Рисунок 3.8 – CFD моделирование выноса шлама

Если используются насадки разного размера, то в обязательном порядке проверяется разницу между насадками большого размера и малого размера согласно таблице 3.2. Насадки самого большого размера следует устанавливать в центре долота.

Таблица 5.5.1 – Допустимые комбинации размеров насадок в долотах PDC

Наименьший размер насадок на долоте	Допустимый размер насадок в комбинации
7	8
8	9
9	10, 11
10	11, 12
11	12, 13
12	13, 14
13	14, 15
14	15, 16
15	16, 18
16	18
18	20, 22

5.6 Технология изготовления матричных долот PDC

Производственный процесс выпуска долот PDC складывается из нескольких этапов, на каждом из которых проводится контроль качества.

Первый этап – фрезерование графитовой формы. Выполняется пятикоординатным станком с ЧПУ в соответствии с загруженными чертежами.

Второй этап подготовка графитовой формы. В форму закладываются имитаторы резцов и промывочных каналов.

Третий этап – установка стального сердечника и заполнение формы карбид вольфрамовым порошком и связующим металлом. Наиболее ответственный этап, так как форма должна быть заполнена полностью и в правильном соотношении.

Четвертый этап – выпекание формы в печи. Нагрев и отключение печи происходит в автоматическом режиме.

Пятый этап – выгрузка формы из печи и её охлаждение (с закаливанием).

Шестой этап – отделение графита и чистка долота. Форма раскалывается и вручную производится чистка гнёзд и промывочных каналов от остатков имитаторов.

Седьмой этап – подготовка долота к пайке резцов. Производится пескоструйная очистка долота и нанесение специального флюса для пайки.

Восьмой этап – пайка резцов. Ручная операция с постоянной регулировкой пламени и термоконтролем в процессе пайки.

Девятый этап – сварка ловильной шейки. Производится вручную дуговой сваркой под флюсом.

Десятый этап – маркировка долота. В соответствии с процедурой на долото наносятся серийный номер, диаметр и тип долота.

В процессе операций, связанных с нагревом или охлаждением, все кривые записываются для анализа и контроля качества.

5.7 Технология изготовления стальных долот PDC

При производстве стальных долот большая часть этапов, требуемых для изготовления долот с матричным корпусом, теряет актуальность, так как нет необходимости готовить графитовую форму, наполнять её и ждать, пока она прогреется в печи.

Первый этап – фрезерование корпуса долота. Производится на пятикоординатном станке с ЧПУ.

Второй этап – пайка резцов. Аналогично производству матричных долот

Третий этап – сварка ловильной шейки (может пропускаться, если фрезеруется еще на первом этапе)

Четвертый этап – наплавка твердосплавного покрытия для защиты лопастей.

Пятый этап – маркировка.

Так же, как и при производстве матричных долот PDC, каждый этап сопровождается тщательным контролем качества.

5.8 Сравнение стальных и матричных долот

Одно из ключевых преимуществ матричного долота перед стальным – большая устойчивость к эрозионному воздействию, а значит возникает меньше проблем при отсутствии хорошей системы очистки. В добавок к этому, износостойкость при бурении абразивных пород выше, чем у долот со стальным корпусом, в связи с чем может быть предоставлен более широкий спектр вариантов защиты калибрующей поверхности.

Ввиду специфики технологического процесса появляется больше возможностей для модификации конструкции ввиду (место установки насадок может быть там, где нужно конструктору), а также легче внести изменения во время изготовления (возможность быстро подгонять конструкцию под требуемые нужды).

Однако, весьма значимый недостаток долот в матричном исполнении – меньшая прочность на растяжение и изгиб, что может привести к слому лопастей. Тем не менее возможны варианты решения:

– использование стали для усиления матричного корпуса;

– устранение в конструкциях матричных долот острых граней.

Еще одним недостатком являются небольшие отличия долот одного типа и диаметра в процессе производства из-за присутствия ручного труда и возможности усушки пре-форм долот. Пути решения этого:

– совершенствование компьютерного программного обеспечения при изготовлении пре-форм с целью снижения доли ручного труда;

– совершенствование процесса производства.

Преимуществами же стальных долот перед матричными являются: большая прочность корпуса на растяжение и удар по сравнению с матричным корпусом, следовательно, меньше вероятность слома лопастей.

Относительная инертность к глинистому материалу, что уменьшает адгезию глин на поверхности долота и снижает вероятность сальникообразования.

Лучшая прочность и качество припоя резцов на стальном корпусе долота, а значит меньшая доля потерь резцов по причине разрушения пайки крепления.

Точность повторного воспроизведения типовой конструкции при производстве вследствие полностью автоматизированного процесса изготовления корпуса без участия человека – долота одного типа и размера точно воспроизводят друг друга.

К сожалению, долота со стальным корпусом подвержены эрозионному износу, и, в настоящее время, единственный способ нивелировать этот недостаток – наплавка твердого сплава.

Кроме того, для разработки новой конструкции требуется больше времени (необходимо 3-D моделирование и CNC программирование). Решение – использование последних разработок и постоянная модернизация программного обеспечения в области проектирования.

Оба типа долота имеют как преимущества, так и недостатки, которые предопределяют выбор исполнения для конкретных условий бурения и режимов работы. И в некоторых случаях преимущества могут перевешивать недостатки, а иногда – наоборот: недостаток может быть критичным в данных условиях бурения и не позволит эффективно отработать долото.

5.9 **Описание износа**

Методика описания износа долот PDC в целом соответствует методике описания износа шарошечных долот, раскрытой в подразделе 2.8, а форма соответствует таблице 2.4. Поэтому далее будут освещены только различия.

Позиции 1: (I) и 2: (O) описывают состояние внутренних и внешних резцов, причем внутренними считаются резцы, расположенные не дальше 2/3 радиуса долота, остальные – внешние.

Позиция 3: (D) – характеристика износа. В дополнение к таблице 2.5 может применяться код износа DL – отслоение алмазной пластины.

Позиция 4: (L) – местоположение износа. Значения для долот PDC:

- C – внутренний конус;
- N – носовая часть;
- S – плечо;
- G – калибрующая поверхность;
- A – по всему долоту.

Позиция 5: (B) – подшипниковые узлы. Для долот с фиксированными алмазосодержащими резцами не применяется – значение X.

Позиция 6: (G) – потеря диаметра.. Износ фиксируется в 1/16 долях дюйма и составляет величину зазора между калибрующим кольцом и калибрующими резцами.

Позиция 7: (O) – другие характеристики износа. Аналогично позиции 3.

Позиция 8: (R) – причина подъёма долота. Коды соответствуют указанным ранее в таблице 2.6.

6 **Порядок подбора долот для конкретных условий бурения**

6.1 **Анализ литологии разреза**

Первым шагом на пути подбора долот для конкретных условий бурения является анализ стратиграфии и литологии ожидаемого разреза.

Интервалы бурения, в которых обеспечиваются примерно одинаковые геологические и технологические условия бурения, называются пачками примерно одинаковой буримости горных пород или режимными пачками.

Буримость горных пород определяется совокупностью геологических и технико-технологических факторов и обусловливает затраты времени и средств на проходку соответствующего интервала горных пород.

Основными геологическими факторами являются не только литологический состав, но и строение, прочностные, упругие, пластические и абразивные свойства пород и пластовое давление, приведенные в таблице 4.1.

Основными технико-технологическими факторами являются буровая установка, тип, класс, способ вращения долота и режим его работы.

При количественном описании разрез месторождения характеризуется твердостью, абразивностью и сплошностью слагающих его пород.

Сплошность горной породы косвенно характеризует ее пористость и проницаемость по способности стенок скважины пропускать через себя буровые растворы. Выделяют четыре категории сплошности [28]:

1) пропускает промывочную жидкость вместе с обломками (шламом) выбуренной горной породы;

2) пропускает как дисперсионную среду, так и дисперсную фазу (коллоидные частицы) бурового раствора;

3) пропускает только дисперсионную среду бурового раствора;

4) не пропускает через себя жидкости и газы и не передает давление.

Так как твердость литологически однотипных горных пород увеличивается с уменьшением пористости, а, следовательно, и с увеличением сплошности в категориях, то это дает основание при разделении разреза на пачки не использовать характеристики сплошности горной породы.

Механическая скорость проходки и износ долот косвенно отражают как сопротивление горных пород разрушению, так и их абразивность. Это обусловливает широкое применение показателей работы сопоставимых по типу и классу породоразрушающего инструмента в качестве характеристик буримости.

Анализируя разрез, также необходимо учитывать интервалы возможных осложнений (поглощений, проявлений, осыпей и обвалов и т.д.), учитывать наличие окремнений, частых переслаиваний пород с различной буримостью, трапповых интрузий.

Таблица 6.1.1 – Пример описания физико-механических свойств горных пород

Название свиты	Интервал (м)		Горная порода		Категория пород по			Коэфф. Пуассона
	от верх.	до низ.	Краткое название	% в интервале	Твердости	Абразивности	Пром. классификации	
Четвертичные отложения	0	180	пески супеси суглинки глины	100	1	0	Мягкие	0
Лагернотомская	180	240	пески глины	80 20	2	6	Мягкие	0
Новомихайловская	240	300	пески глины	70 30	2	6	Мягкие	0
Атлымская	300	400	пески	100	2	6	Мягкие	0

6.2 **Анализ условий работы и режимов бурения**

Режим бурения – это сочетание факторов, определяющих скорость и стоимость проходки конкретного интервала горных пород, выделенного как режимная пачка.

Режимная пачка, как уже упоминалось выше – это непрерывный интервал бурения, в котором геолого-технологические условия принимаются постоянными, независящими от глубины залегания горных пород в пределах пачки. Такие интервалы именуются также пачками одинаковой буримости горных пород. Однако, с распространением долот PDC это понятие утрачивает свою актуальность, так как зачастую долотом с фиксированными алмазосодержащими резцами за один рейс удается пробурить несколько таких «пачек».

Основными факторами, определяющими режим вращательного бурения, являются:

1) тип и класс породоразрушающего инструмента;

2) режим работы породоразрушающего инструмента;

3) способ вращения породоразрушающего инструмента.

В рамках выпускной квалификационной работы мы реализовываем первый фактор, подразумевая известность нам остальных двух.

Режим бурения, обеспечивающий получение наилучших технико-экономических показателей при данных условиях бурения, называется оптимальным. Также обозначаются «специальные» режимы бурения при которых решаются задачи: проводка скважины через поглощающие пласты, обеспечение минимального искривления скважины, максимального выхода керна, качественного вскрытия продуктивных пластов и прочее.

Каждый параметр режима бурения по-своему влияет на эффективность разрушения горных пород, причем влияние одного параметра может зависеть от уровня другого, т.е. может наблюдаться их взаимное влияние.

При вращательном бурении режим работы долота принято задавать следующими параметрами:

- осевой нагрузкой на долото, кН (тс);
- частотой вращения долота, об/ мин;
- количеством промывочной жидкости (или воздуха), подаваемых на забой для выноса разрушенной горной породы и охлаждения инструмента, $м^3/с$.

На взаимодействие долота с горными породами оказывают существенное влияние состав и параметры буровых растворов, которые проектируются, главным образом, в соответствии с геологическими условиями проводки скважин.

Влияние свойств бурового раствора на показатель механической скорости представлено на рисунке 6.2.1.

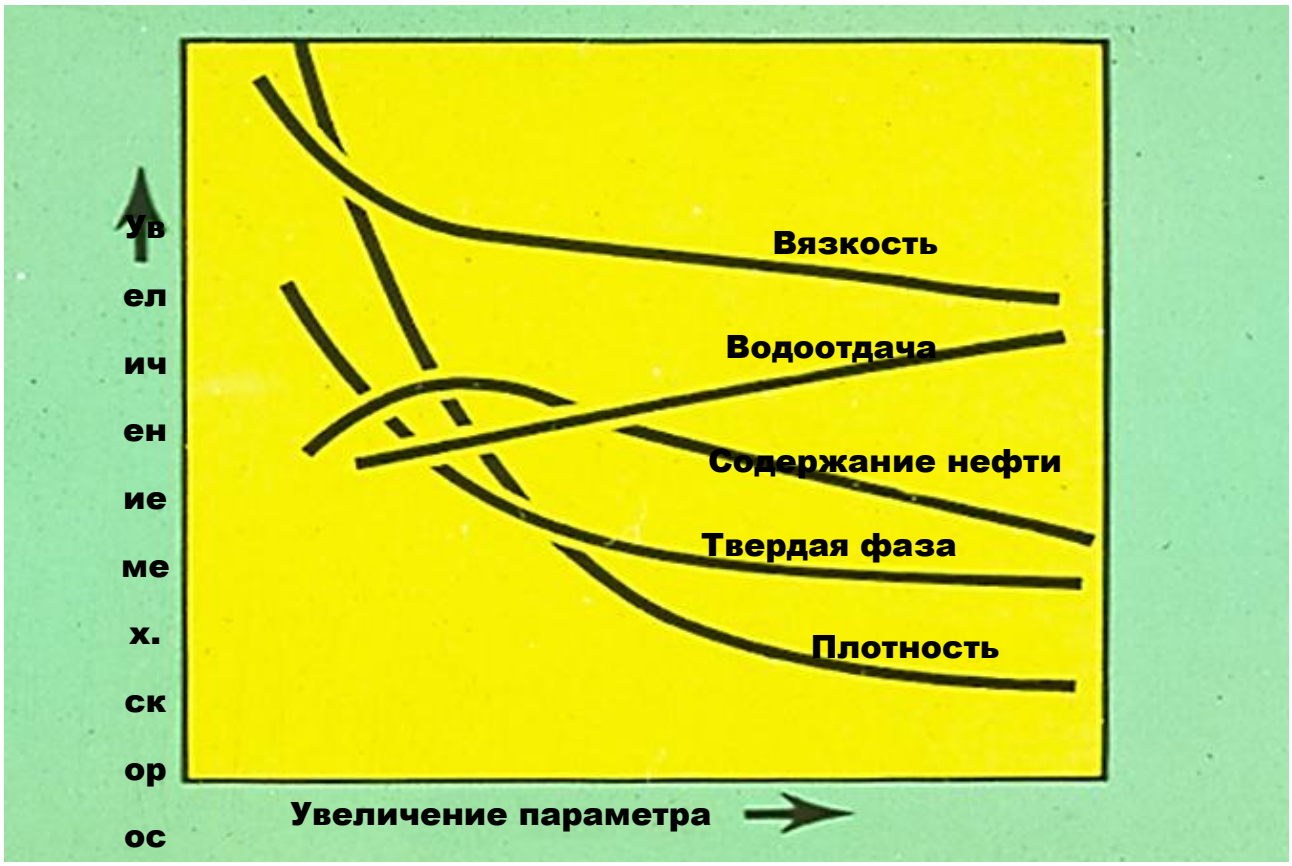


Рисунок 6.2.1 – Влияние параметров бурового раствора на механическую скорость бурения

При нагружении долота осевой нагрузкой создается необходимое для разрушения горной породы напряженное состояние и осуществляется отбор энергии от вращающегося инструмента для обеспечения последовательного разрушения породы по всему забою.

Следует отметить, что долота с фиксированными алмазосодержащими резцами эксплуатируются при нагрузках на порядок меньших, чем шарошечные долота.

Что касается частоты вращения, то обычно выделяют три режима работы:

- низкооборотное (роторное) бурение – $n_д \leq 90$ об/мин;
- при средних частотах вращения, в пределах которых выделяют два диапазона - $90 < n_д \leq 250$ об/мин; $250 < n_д < 450$ об/ мин; эти диапазоны реализуются при вращении долот винтовыми забойными двигателями, редукторными турбобурами;
- высокооборотное бурение – $n_д \geq 450$ об/ мин; реализуется при бурении с безредукторными турбобурами.

Обеспечивать требуемую частоту вращения (то есть работу гидравлических забойных двигателей), а также полное и своевременное удаление шлама с забоя и из скважины должна промывка скважины.

Общая скорость вращения долота равна сумме скоростей вращения ротора и забойного двигателя. Скорость вращения при бурении с долотом PDC не ограничена при достаточном уровне расхода насосов для обеспечения качественного выноса шлама и охлаждения долота. Однако, при анализе планируемых режимов необходимо помнить, что:

- не следует разбуривать абразивные породы с высокой скоростью вращения во избежание быстрого абразивного износа;
- скорость вращения может быть лимитирована из-за ограничений, связанных с бурильной колонной или приводом;

-при некоторых скоростях вращения бурильная колонна может начать резонировать (высокий уровень вибрации), что может отрицательно сказаться на состоянии долота;

- разбуривание твердых пород с высокой скоростью вращения может сопровождаться снижением скорости проходки из-за неспособности вооружения врезаться в породу;

- скорость вращения, обеспечивающая максимальную скорость проходки без возникновения осложнений, с большой долей вероятности является оптимальной.

Тогда как скорость вращения – прямой фактор эффективности отработки долот, то крутящий момент – это показатель работы:

- высокий крутящий момент на долото PDC: вероятно, что долото зарывается или, при низкой скорости проходки, крутящий момент создается КНБК, а не долотом;

- низкий крутящий момент на долото PDC: вероятно, что долото проскальзывает в твердой породе; вооружение может быть изношено или на долоте образовался сальник;

- средний крутящий момент на шарошечное долото: вероятно, что долото зарывается;

- высокий крутящий момент на шарошечное долото: возможно заклинивание шарошек; в таком случае крутящий момент будет снижаться по мере износа вставок/зубьев;

- низкий крутящий момент, шарошечное долото: износ вооружения или образование сальника.

Указатель крутящего момента может быть оптимальным поверхностным средством измерения для осуществления бурения, так как показание крутящего момента в мягких породах может говорить о нахождении долота на забое еще до того, как это покажет индикатор нагрузки на долото.

Крутящий момент считается слишком высоким, когда скорость вращения по поверхностному указателю начинает уменьшаться. Необходимо помнить,

что слишком высокий крутящий момент может вызвать заклинивание забойного двигателя, стола ротора или верхнего привода.

При бурении в однородных пластах показание крутящего момента должно быть постоянным. В переслаивающихся же пластах происходит изменение крутящего момента при переходе долота и/или КНБК между слоями с разной прочностью и буримостью.

Другим фактором эффективной работы породоразрущающего инструмента является величина расхода бурового раствора. Расход, прежде всего, существенно влияет на очистку скважины –скважина очищается лучше при высоком расходе, чем при низком, поскольку первый обеспечивает увеличенную скорость потока в кольцевом пространстве и более эффективный вынос бурового шлама на поверхность

Расход бурового раствора существенно влияет на очистку долота. Высокий расход обуславливает подачу большей гидравлической мощности на долото по сравнению с низким расходом, что улучшает его очистку.

Увеличение расхода на винтовом забойном двигателе повышает обеспечиваемую им скорость вращения. Этот аспект требует тщательного рассмотрения, так как от него в большой степени зависят показатели бурения.

Увеличение скорости работы ВЗД в чистых глинах вызывает увеличение скорости вращения долота и мгновенное повышение скорости проходки без повреждения вооружения или иных проблем. Если же увеличение скорости вращения происходит в твердых абразивных песчаниках, скорость проходки мгновенно увеличится, тем не менее, чем выше скорость вращения, тем сильнее износ вооружения долота, что в конечном итоге приведет к снижению скорости проходки и сокращению наработки на долото.

Увеличение скорости вращения забойного двигателя и, следовательно, долота может изменить направление движения КНБК (в большей степени в вертикальной плоскости, чем в горизонтальной), поэтому необходимо найти баланс между мгновенной скоростью проходки и корректировкой направления.

Подача бурового раствора с высоким расходом может вызвать повреждение пласта, особенно сильнотрещиноватого, таким образом в некоторых случаях необходимо избегать чрезмерных расходов.

На практике величина расхода бурового раствора предварительно подбирается из следующих трех условий (из них принимается наибольший):

1) из условия очистки забоя;
2) из условия подъема шлама в кольцевом зазоре между бурильными трубами и стенкой скважины;
3) из условия обеспечения работы гидравлического забойного двигателя определяется расход.

Кроме того, показатели бурения напрямую зависят от компоновки низа бурильной колонны (КНБК). При добавлении забойного двигателя (ВЗД или турбобур) можно существенно повысить скорость проходки, а использование стабилизаторов ограничивает возможность падения, прихвата или проворачивания бурильной колонны. Роторная управляемая система способна обеспечить более точный контроль при наклонно-направленном бурении по сравнению с забойным двигателем, в частности, при проходке скважин с увеличенным отходом забоя от вертикали, в случаях маловероятного дифференциального прихвата КНБК и т.д.

Несоответствующее условиям бурения оборудование системы очистки бурового раствора (удаления твердой фазы) может стать причиной осложнений, влияющих на работу долот:

- неэффективность или недостаточное количество вибросит может ограничить скорость удаления шлама из бурового раствора, что, в свою очередь, ограничит скорость проходки;
- в случае недостаточного удаления твердой фазы из бурового раствора он становится крайне эрозионным, сокращая наработку на долота, что особенно критично для PDC долот в стальном корпусе;

- чрезмерное содержание твердой фазы в буровом растворе снижает его эффективность (например, ухудшение стабилизации глин при бурении на водном растворе).

6.3 **Подбор долот**

На первом этапе, как и было указано выше, в основе анализа лежит литолого-петрографическое описание разреза, по которому необходимо подобрать аналогичные месторождения, разбуренные или находящиеся в стадии эксплуатационного бурения. Режим бурения ближайшего аналога принимается в качестве предварительного проектного.

На втором этапе в основу совершенствования режима принимаются результаты изучения разреза месторождения в процессе бурения первых скважин. На этом этапе важно выбрать необходимый комплекс характеристик горных пород и разреза в целом и обеспечить получение представительных данных для последующих расчетов по уточнению перспективных типов долот и режимов их работы и отсеиванию неперспективных.

На третьем этапе проводится дальнейшее уточнение характеристик разреза и выбор перспективных вариантов, а по мере накопления статистической информации об их применении решается задача по выбору оптимальных вариантов по критериям, принятым на разбуриваемом месторождении.

Рисунок 6.3.1 – Этап оптимизации режима бурения скважин

Следует помнить, что статистические методы анализа промысловых данных позволяют выявить наилучшие варианты техники и технологии бурения только из тех, данные о которых анализировались, но не дает ответа о перспективных новых вариантах, подлежащих испытанию. Эта задача решается методами второго этапа. Поэтому при оптимизации режима бурения расчетные и статистические методы должны дополнять друг друга.

Долото для заданного интервала бурения (режимной пачки) должно удовлетворять следующим условиям:

1) соответствовать твердости горных пород;

2) обеспечивать наиболее высокую область разрушения пород по сравнению с альтернативными долотами;

3) вооружение шарошечного долота должно обеспечивать использование ресурса опоры, т.е. стойкость его вооружения при абразивном изнашивании должна быть не менее стойкости опоры.

4) вооружение долота PDC должно обеспечить сохранность корпуса

Таким образом, в первую очередь проводится предварительный выбор типов долот в соответствии с твердостью горных пород. На первый взгляд

задача решается очень просто, так как типы долот изготавливаются в соответствии с твердостью пород.

Однако, все усложняется тем, что горные породы весьма неоднородны по свойствам, и приходится использовать статистические характеристики показателей их свойств: среднее арифметическое значение, среднее квадратическое отклонение и вид распределения.

Далее по результатам статистической обработки промысловых данных осуществляется выбор наиболее подходящего (оптимального) для рассматриваемых условий долота и параметров его работы. В качестве анализируемого признака принимается рейсовая скорость и иногда величина интервала бурения.

6.4 Подготовка программы отработки долот

На основании технического задания на строительство скважины, а также по результатам анализа условий и режимов бурения и последующего подбора долот, необходимо подготовить программу по отработке долот.

В программе в обязательном порядке необходимо указать (образец представлен на рисунке 6.4.1):

– интервалы бурения;

– планируемые типы долот;

– уровни механических скоростей по интервалам;

– рекомендуемые режимы отработки долот, при которых запланированные механические скорости будут достигнуты.

Размер долота	Тип долота	IADC код	Интервал бурения по стволу		Проходка	Мех. Скорость бурения	Время бурения	Тип, параметры забойного двигателя	Нагрузка	Расход	Обороты
			от	до							
(мм)			(м)	(м)	(м)	(т/час)	(час)		(тон)	литр/сек	об/мин
488,9мм	DSJC	111	0	30	30	10,0	3	Ротор/ ДРУ240РС (7/8)	В.И.	52-54	130
393,7мм	DSJC (XR+VC)	115 (117)	30	350	320	16,7	19,2	ДРУ240РС (7/8)	14-17	53-55	130
295,3мм	XR+C (SB117)	117	350	1311	961	10,0	96	ДРУ240РС (3/4)	14-18	43-45	170
295,3мм	M516LKHPX	PDC (537)	1311	1950	639	5,0	129	ДРУ240РС (3/4)	12-16	43-45	170
295,3мм	M516LKHPX	PDC (537)	1950	2200	250	5,0	50	ДРУ240РС (3/4)	12-16	43-45	170
295,3мм	GF20WPS	537 (627)	2200	2410	210	5,0	42	ДРУ240РС (7/8)	22-25	43-45	130
215,9мм	GF30WPS	537 (PDC)	2410	2750	340	5,0	68	ДРУ172РС (7/8)	14-18	32-35	130
215,9мм	MDSi813NPX	PDC (537)	2750	3196	446	5,0	90	ДРУ172РС (7/8)	10-14	32-35	130

Рисунок 6.4.1 – Образец типовой программы отработки долот

В таблице 4.2 приведены рекомендации ВНИИБТ по параметрам режима отработки алмазных долот. Для промывки скважины используются все известные буровые растворы. Ограничение – содержание песка в растворе не должно превышать 1 %, так как растворы с большим содержанием песка способствуют эрозионному изнашиванию матрицы.

Алмазные долота отрабатываются как роторным способом, так и с забойными двигателями. В неабразивных горных породах рекомендуется турбинное (высокооборотное) бурение, а в абразивных – роторное (низкооборотное).

Рабочая (рациональная) нагрузка на долото подбирается бурильщиком методом поиска режима максимальной механической скорости. Для этого бурение следует начать с минимальной нагрузки, указанной в таблице 4.2, и далее увеличивать ее ступенчато на 10–15 кН. Когда при очередном увеличении осевой нагрузки не произойдет заметного увеличения механической скорости, то следует уменьшить осевую нагрузку на 10–15 кН и при дальнейшем бурении поддерживать ее на полученном уровне. Поиск повторяется по мере изменения условий бурения.

При резком уменьшении механической скорости бурения до двух и более раз через 5–10 мин необходимо приподнять инструмент над забоем на 2–3 м, плавно вновь подойти к забою и попытаться продолжить бурение с поиском рациональной величины осевой нагрузки. Попытка может повторяться 2–3 раза, и если механическая скорость бурения существенно не возрастет, то инструмент следует поднять из скважины для выяснения причины.

Таблица 6.4.1 – Рекомендуемая осевая нагрузка и расход бурового раствора при бурении долотами PDC

Диаметр долота, мм	Диапазон осевой нагрузки, кН		Расход бурового раствора, л/с
	минимальная	максимальная	
138,1	20	60–80	6–18
149,4	20	60–80	6–18
159,4	20	60–80	6–18
163,5	20	80	14–22
188,9	25	110	20–30
214,3	30	140	26–36
242,1	35	160	30–50
267,5	35	160	30–50
292,9	40	200	45–60

Необходимо отметить, что зависимость показателей работы инструментов от параметров режима бурения и их сочетания многофакторная и малоизученная. Поэтому окончательное решение об оптимальных параметрах режима бурения в каждом конкретном случае принимается с учетом промысловых данных о работе инструментов. При отработке инструментов следует строго придерживаться рекомендаций завода-изготовителя или соответствующих руководящих документов.

7 **Подбор долот на примере Ванкорского месторождения**

7.1 **Опыт работы компании Schlumberger на Ванкорском месторождении**

Начиная с 2009 года, бурение долотами Smith Bits на Ванкорском месторождении ведется во всех основных секциях. Долотами Smith Bits был установлен ряд рекордов по скорости бурения Нижнехетского и Яковлевского продуктивных горизонтов, в том числе с применением серии долот PDC – Викинг.

Протяженность интервала под кондуктор в основном составляет 620 м по вертикали. К бурению данного интервала компания Schlumberger в 2009 году. Наличие гравийного участка исключает применение здесь долот PDC по причине высокого износа режущей структуры, поэтому предлагается бурить данный интервал фрезерованными шарошечными долотами серии XR+ средняя механическая скорость которых 18-20 м/ч. Также, долотами данного типа был установлен рекорд по скорости – интервал протяженностью 593 м был пройден со скоростью 35,9 м/ч.

Для бурения интервала под 245 мм техническую колонну интервалом от 625 до 1750 м по стволу компанией Schlumberger применяется несколько типов долот PDC. Прежде всего, это пятилопастные долота с 16-мм резцами серии M516, а также четырехлопастные долота с 19-мм резцами серии MDI419.

Основной сложностью при бурении на Ванкорском месторождении как с точки зрения геологических условий, так и с точки зрения применяемых технологий представляет собой бурение интервала 219,1 мм на нижнехетский продуктивный горизонт. Скважины имеют сложные профили с горизонтальным окончанием. Для секции 219,1 мм отход от вертикали составляет до 1800 м и набор зенитного угла от 17 до 85˚, при этом извилистость может достигать 210˚. Одна из проблем при бурении данных интервалов заключается в возникновении больших сил трения между буровой колонной и стенками

скважины. В результате чего возникают трудности с доведением нагрузки на долото, периодически происходят срывы инструмента на забой. В случае использования пары ВЗД+долото PDC это влечет за собой дополнительную сложность выставления отклонителя при бурении в режиме набора параметров кривизны, что в свою очередь снижает общую скорость проходки за интервал. Зачастую невозможность эффективного бурения в направленном режиме приводит к необходимости дополнительных СПО с целью замены PDC долота на шарошечное.

Для бурения секции 219,1 мм компанией Schlumberger в основном используются PDC долота серии VM613 (Викинг). Долота Викинг отличаются уникальной режущей структурой, позволяющей эффективно выполнять бурение при ограниченных крутящих моментах и малой гидравлической мощности. Они особенно хорошо подходят для условий, где состояние бурового оборудования не позволяет выйти на оптимальные режимы.

Долота Викинг предназначены для бурения как в роторных управляемых системах, так и в сочетании с забойными двигателями. Профиль долота подходит для вертикального, наклонно-направленного и горизонтального бурения, обеспечивая стабильность и продолжительность работы.

Долота серии Викинг имеют новую оптимизированную геометрию лопастей и улучшенную защиту калибрующего ряда (калибрующие резцы защищены дополнительным слоем матрицы). Одним из основных факторов, влияющих на агрессивность PDC долот, является величина угла атаки резцов, образующих режущую структуру долот. Угол атаки резца образован плоскостью рабочей поверхности резца и вертикалью. При уменьшении угла атаки увеличивается глубина его внедрения в породу, благодаря чему возрастает суммарный момент на долоте, и, соответственно, больший объем породы выбуривается за один оборот долота. Средняя механическая скорость данной серии долот 21,5 м/ч.

На рисунке 6.1.1. приведен анализ работы серии долот Викинг в сравнении со стандартными PDC долотами. На 7 скважинах, пробуренных при

помощи долот VM613, всего лишь один раз произошла смена на шарошечное долото.

Рисунок 7.1.1 - Анализ работы PDC долот Викинг в сравнении со стандартными PDC долотами

Протяженность интервала под хвостовик (152,4 мм) на Ванкорском месторождении составляет порядка 990-1100 м по стволу: от 2300-3300 м по яковлевскому горизонту и от 3300-4400 м по нижнехетскому. Применение ВЗД в данном интервале нецелесообразно, поскольку при использование винтового забойного двигателя в компоновке обеспечить равномерный доход нагрузки на долото при бурении в напрвленном режиме практически невозможно. Поэтому для бурения данной секции компанией Schlumberger применяются роторноуправляемые системы Power Drive в сочетании с двумя типами PDC долот (четырехлопастным долотом с 13-мм резцами серии MDI413 и пятилопастными долотами с 16-мм резцами серии MI516 и MDI516). Это позволило добиться стабильно высоких показателей механической скорости бурения при минимальных износах режущей структуры долот. На одной из скважин, пробуренных на яковлевский горизонт, в 2012 году Schlumberger установили рекорд, пробурив горизонтальный участок за одно долбление со

скоростью 53,4 м/ч (Mi516LUPX). При бурении на нижнехетский горизонт средняя механическая скорость составляла 32 м/ч.

На русунках 7.1.2-7.1.5 представлен сравнительный анализ бурения секций 393,7, 295,3, 219,1 и 152,4 мм долотами Smith Bits (PDC и шарошечными) и долотами компаний конкурентов за 2012 год. [12]

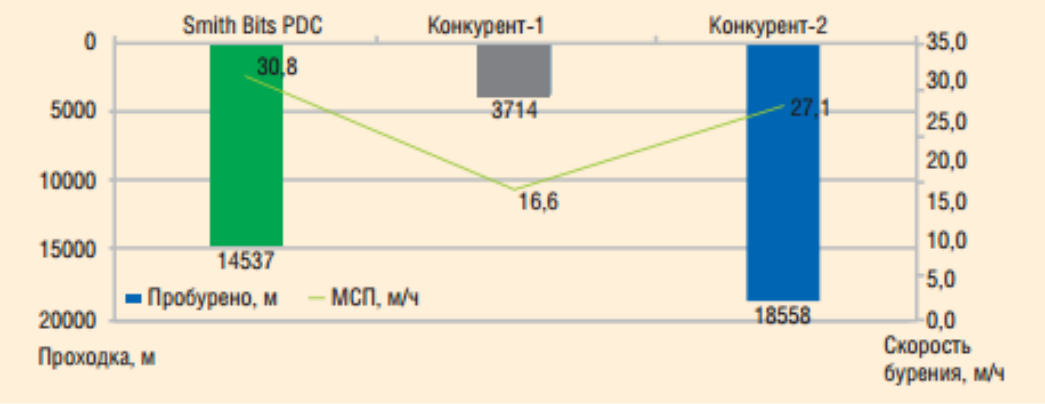


Рисунок 7.1.2 - Секция 152,4 мм. Сравнение показателей МСП PDC долот Smith Bits, Конкурента-1 и Конкурента-2 за 2012 год.

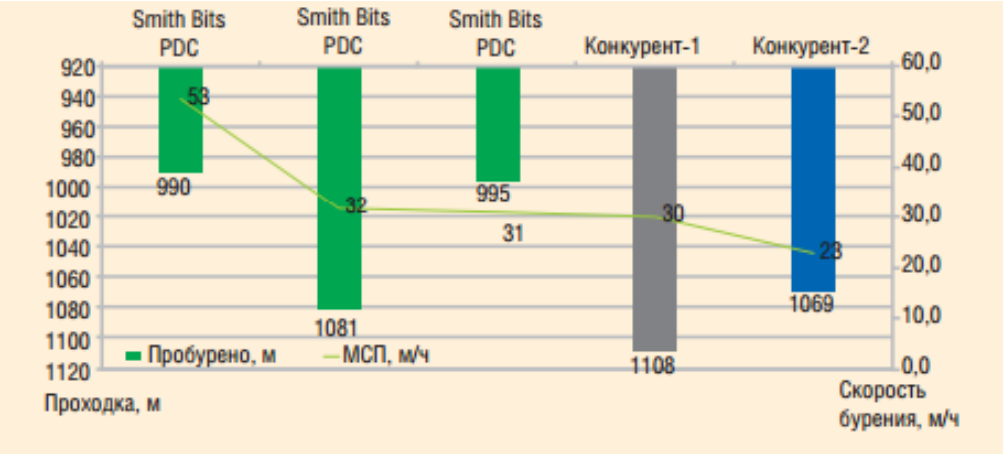


Рисунок 7.1.3. Секция 152,4 мм. Сравнение показателей механических скоростей и проходки долот Smith Bits, Конкурента-1 и Конкурента-2 за 2011-2012 годы, нижнехетский горизонт

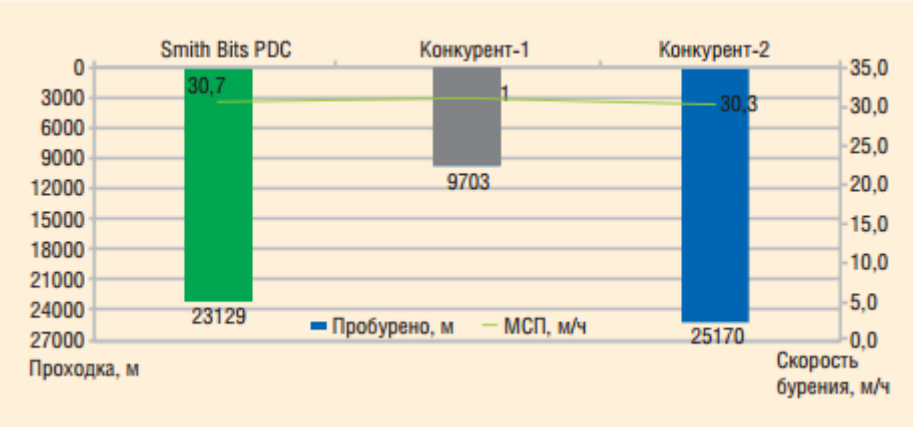


Рисунок 7.1.3 - Секция 295,3 мм. Сравнение показателей МСП PDC долот Smith Bits, Конкурента-1 и Конкурента-2 за 2012 год

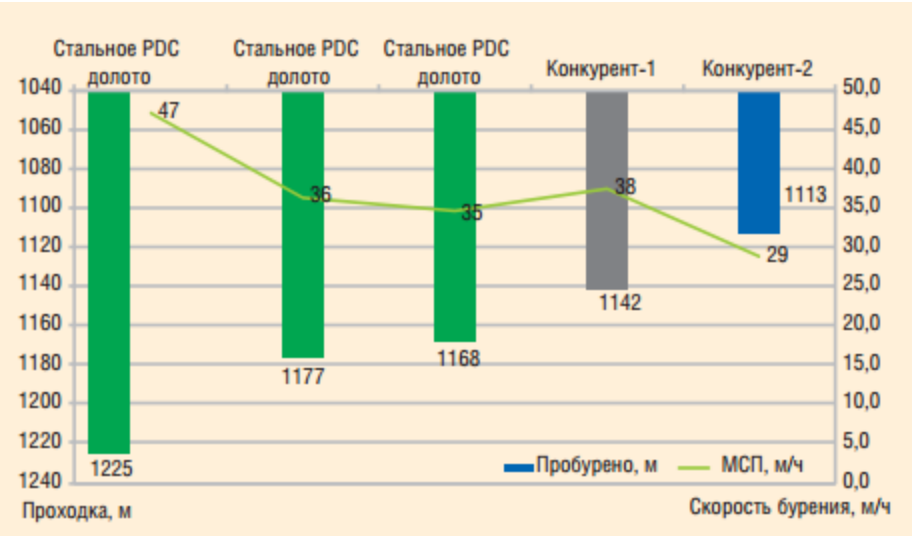


Рисунок 7.1.4 - Секция 295,3 мм. Сравнение показателей механических скоростей и проходки долот Smith Bits, Конкурента-1 и Конкурента-2 за 2011-2012 годы, нижнехетский горизонт

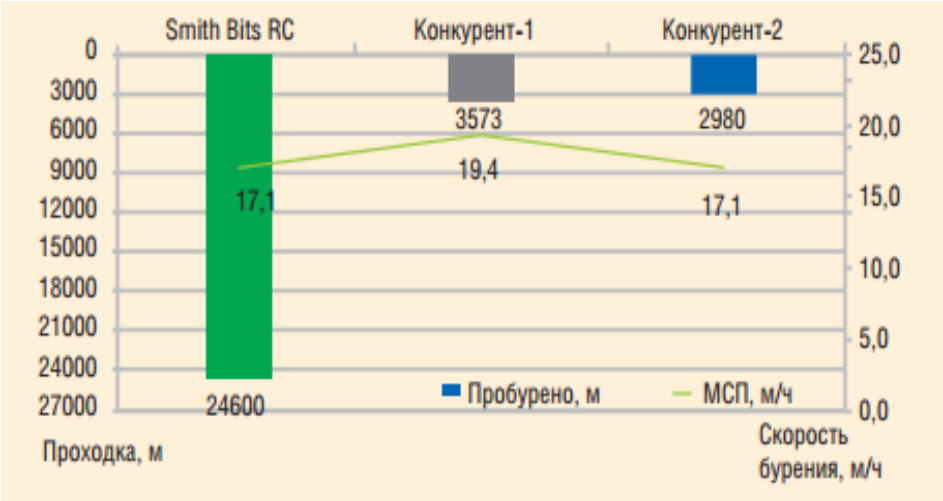


Рисунок 7.1.5 - Секция 393,7 мм. Сравнение показателей механических скоростей и проходки долот Smith Bits, Конкурента-1 и Конкурента-2 за 2011-2012 годы, нижнехетский горизонт

7.2 **Общая информация о месторождении**

Ванкорское месторождение — перспективное нефтегазовое месторождение в Красноярском крае России вместе с Лодочным, Тагульским и Сузунским месторождениями входит в Ванкорский блок. Расположено на севере края, включает в себя Ванкорский (Туруханский район Красноярского края) и Северо-Ванкорский (расположен на территории Таймырского Долгано-Ненецкого района) участки.

Лицензия на разработку месторождения принадлежит ООО «Енисейнефть», контрольным пакетом которой владеет Anglo-Siberian Oil Company, принадлежащая компании «Роснефть». Владельцем лицензии на Северо-Ванкорский блок месторождения является ООО «Таймырнефть».

Для разработки месторождения создан вахтовый посёлок Ванкор. С начала реализации проекта «Роснефть» инвестировала в него около пяти миллиардов долларов.

21 августа 2009 года Ванкорское нефтегазоносное месторождение было запущено в промышленную эксплуатацию. Ранее добычу на Ванкоре планировалось начать в конце 2008 года, затем запуск месторождения был

отложен до третьего квартала 2009 года.

В 2013г. на Ванкоре добыто 21,4 миллиона тонн нефти и газового конденсата, что превышает прошлогодний результат на 17%. Сегодня суточная добыча (по состоянию на 01.01.2014г.) на 9 % больше по сравнению с тем же периодом 2013г. - более 60 тысяч тонн. Благодаря применяемым технологическим решениям, коэффициент извлечения нефти на Ванкоре - один из самых высоких в России. Месторождение разбуривается нагнетательными наклонно-направленными и добывающими скважинами с горизонтальным окончанием, что обеспечивает высокие дебиты. Процесс нефтедобычи полностью автоматизирован.

13 декабря 2013г. из недр Ванкора извлечена семидесятимиллионная тонна нефти с начала промышленной эксплуатации (август 2009г.).

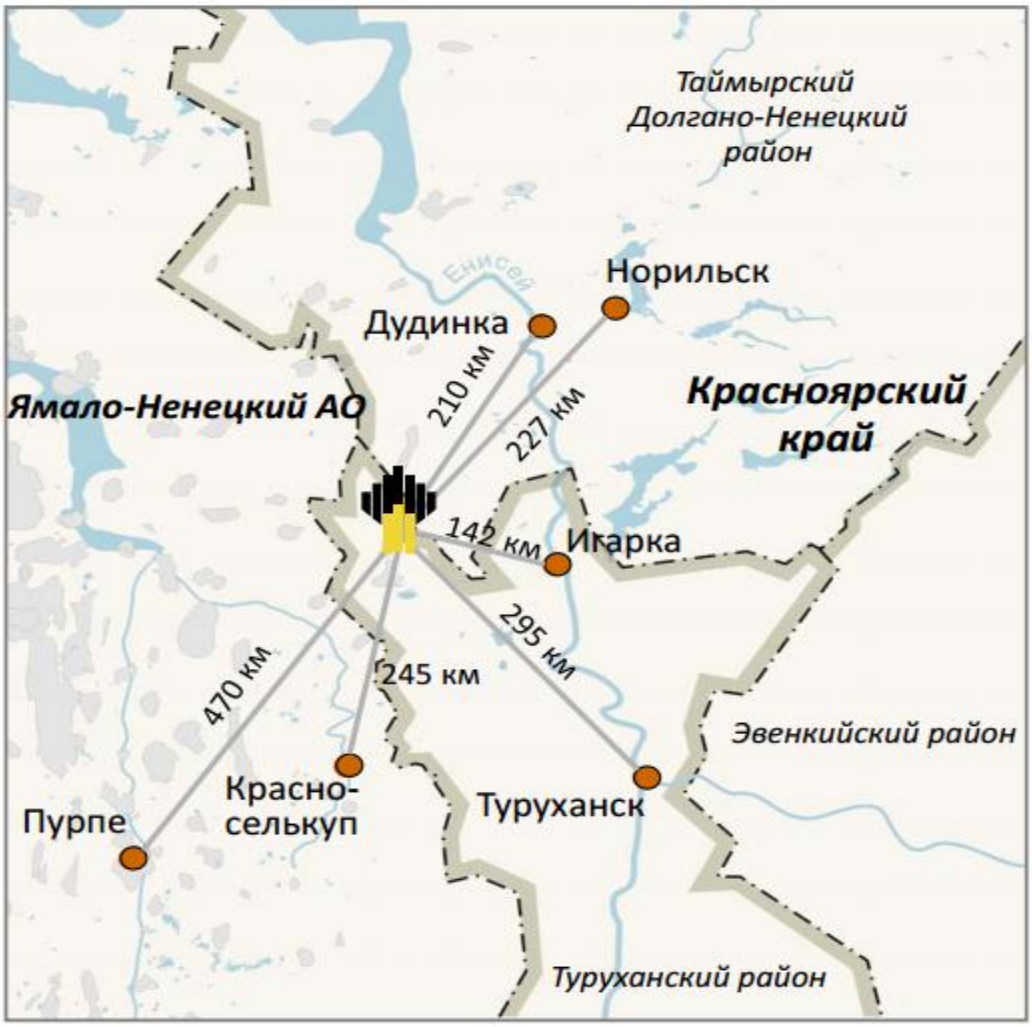


Рисунок 7.2.1 - Ванкорское месторождение

7.3 **Литология и стратиграфия**

Таблица 7.3.1 - Литологическая характеристика разреза скважины

Индекс стратиграфического подразделения	Интервал, м		Горная порода		Стандартное описание горной породы: полное название, характерные признаки (структура, текстура, минеральный состав и т.п.)
	от (верх)	до (низ)	Краткое название	% в интервале	
1	2	3	4	5	6
Q	0	75	Супеси, суглинки пески глины	25 25 25	Пески, глины, супеси, суглинки с редкой галькой изверженных пород. Имеют место межледниковые и ледниковые отложения в виде валунно-галечниковых, моренных образований.
K_2tn	70	505	Алевриты, пески, глины	50 25 25	Алевриты светло-серые, слюдистые с прослоями песков серых, желтовато-серых, плотных, мелкозернистых, глинистых и глин темно-серых, зеленовато-серых.
K_2 sp	505	540	Глины, алевриты, пески	70 20 10	Глины темно-серые, зеленовато-серые с прослоями алевритов светло-серых, слюдистых и песков серых, желтовато-серых, плотных, мелкозернистых, глинистых.
K_2 ns	540	905	Алевриты, пески глины	50 25 25	Алевриты серые, серо-зеленые плотные с прослоями песков серых и глин темно-серых.
K_2dr	905	1000	Глины алевриты	80	Глины темно-серые, с зеленоватым оттенком, алевритистые, алевриты серые, зеленовато-серые, прослоями глауконитовые.
K_1dl	1000	1350	Песчаники, алевролиты аргиллиты	45 30 25	Чередование песчаников серых, светло-серых, разнозернистых, кварцполевошпатовых, косослоистых с алевролитами и аргиллитами зеленовато-серыми, кварцполевошпатовыми реже аркозовыми.
K_1 jak	1360	1895	Песчаники аргиллиты, алевролиты, угли	35 35 25 5	Неравномерное переслаивание песчаников серых, желтовато-серых, мелкозернистых с прослоями углистых аргиллитов, аргиллитов темно-серых, зеленовато-серых тонкослоистых, плитчатых и алевролитов серых тонкозернистых, плотных, массивных. Встречаются прослои углей бурых.
K_1 mch	1895	2040	Песчаники, алевролиты, аргиллиты, угли	65 22 10 3	Песчаники светло-серые, мелко-среднезернистые, каолинитизированные, слабосцементированные. Алевролиты серые, тонкозернистые, плотные, массивные. Аргиллиты темно-серые, плотные, тонкослоистые, плитчатые Угли бурые.
K_1 cd	2040	2570	Песчаники, алевролиты, аргиллиты	50 40 10	Песчаники серые, темно-серые цвета, мелко-среднезернистые, глинистые, местами известковистые. Алевролиты серые, темно-серые, плотные, сильно песчанистые. Аргиллиты темно-серые, плотные,

Окончание таблицы 7.3.1

1	2	3	4	5	6
K_1nch	2570	2825	Аргиллиты, алевролиты, песчаники	50 30	Переслаивание аргиллитов и алевролитов темно-серых, плитчатых, тонкослоистых, слюдистых, слабопесчанистых. Песчаники серые, светло-серые, мелко- и среднезернистые, слюдистые с глинистым

Таблица 7.1.2 - Физико-механические свойства горных пород по разрезу скважины

Индекс стратиграфического подразделения	Интервал, м		Краткое название горной породы	Плотность, г/см^3	Пористость, процент	Проницаемость, мдарси	Глинистость, процент	Карбонатность, процент	Твердость, кгс/мм^2	Расслоенность породы	Абразивность	Категория породы промысловой классификации (мягкая, средняя и т.п.)
	от (верх)	до (низ)										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q	0	105	супеси	1,5	30-35	1500	10	0	< 5	1	6	мягкая
			суглинки	1,8	25-30	10	90	0	< 5	2	4	мягкая
			пески	1,5	30-35	1500	5	0	< 5	1	6	мягкая
			глины	2,0	25-30	0	95	0	< 5	2	4	мягкая
K_2tn	105	515	алевриты	1,9	25-30	10	55	0	10	2	4	мягкая
			пески	1,8	30-35	1500	5	0	5	1	10	мягкая
			глины	2,0	25-30	0	95	0	10	2	4	мягкая
K_2 sp	515	570	глины	2,0	15	0	95	0	10	2	4	мягкая
			алевриты	1,9	15	0	55	2	10	2	4	мягкая
			пески	1,8	25	10	10	0	5	1	10	мягкая
K_2 ns	570	900	алевриты	1,9	15	0	55	2	10	2	4	мягкая
			пески	1,8	30-35	1500	5	0	5	1	10	мягкая
			глины	2,0	15	0	95	0	10	2	4	мягкая
K_2dr	900	1025	глины	2,2	10	0	100	0	10	3	4	мягкая
			алевриты	2,0	12	0	55	3	10	2	4	мягкая
K_1dl	1025	1255	песчаники	1,9	25	100-1500	5	до 18	20	2	10	мягкая
			алевролиты	2,1	12	20-50	35	5	15	3	6	мягкая
			аргиллиты	2,1	10	0	95	3	20	3	4	мягкая

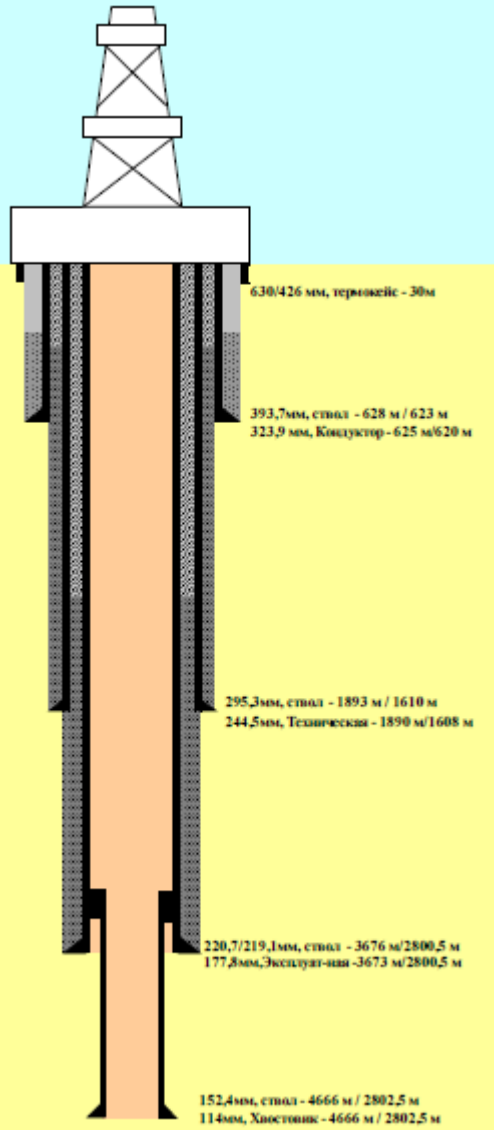
Окончание таблицы 7.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K_1 jak	1255	1869	песчаники	1,9	30	200-1950	5	5	30	2	10	средняя
			аргиллиты	2,2	10	0	95	3	35	3	4	средняя
			алевролиты	2,0	12	20-50	25	2	30	3	4	средняя
			угли	1,3	5	0	0	0	15	1	4	мягкая
K_1 mch	1869	2033	песчаники	2,0	30	200-1950	5	5	30	2	10	средняя
			алевролиты	2,2	12	20-50	25	2	30	3	4	средняя
			аргиллиты	2,4	10	0	95	3	35	3	4	средняя
			угли	1,3	5	0	0	0	15	1	4	мягкая
K_1 cd	2033	2610	песчаники	2,3	30	200-1950	5	5	40	2	10	средняя
			алевролиты	2,5	12	20-50	25	1	35	3	4	средняя
			аргиллиты	2,8	10	0	95	3	50	3	4	средняя
K_1 nch	2610	2839	аргиллиты	2,8	10	0	95	5	80	3	4	средняя
			алевролиты	2,7	12	20-50	25	10	60	3	6	средняя
			песчаники	2,8	30	100-1300	5	до 23	80	3	10	средняя

Согласно таблице 7.3.2, породы в основном представлены песчаниками, аргиллитами, алевролитами и алевритами с нормальными физико-механическими и фильтрационно-емкостными свойствами. Продуктивный горизонт – Нижнехетская свита выражена переслаиванием аргиллитов и алевролитов темно-серых, плитчатых, тонкослоистых, слюдистых, слабопесчанистых, а так же песчанниками серыми, светло-серыми, мелко- и среднезернистыми.

Проведя анализ, видим, что породы имеют стандартные физико-механические свойства для данного региона.

7.4 **Выбор долотной программы**



ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ	ПРОГРАММА ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ	ПРОГРАММА ПО БУРОВЫМ РАСТВОРАМ
323,7*9,5Д 0 - 625 м $D_{муф}$=351мм БТС	Утяж.цем. р-р 1,85 г/см^3 625 - 300 м Облегч.цем.р-р 1,60 г/см^3 300 - 0 м	**Полимер-глинистый** Плотность 1,16 г/см^3 Вязкость: 90-120 сек Водоотдача <10см^3/30мин
244,5*8,9 Е 0 - 1890 м $D_{муф}$=269.9мм БТС	Утяж.цем. р-р 1,85 г/см^3 325 - 1890 м	**Полиплас** Плотность 1,18 г/см^3 Вязкость 35-70 сек Водоотдача <8 см^3/30мин
177,8*9,2 Е $D_{муф}$=187,3мм, 200мм 0-3673 м, Tenaris, SUMITOMO TMK	Утяж.цем. р-р 1,87 г/см^3 1590 - 3673 м	**Полиплас** Плотность 1,14 г/см^3 Вязкость 35-70 сек Водоотдача <6 см^3/30мин
		FLO THRU Плотность 1,06 г/см^3 Вязкость 40-65 сек Водоотдача < 6 см^3/30мин

Рисунок 7.4.1 - Конструкция скважины № 285 куст № 8БИС Ванкорского месторождения

В результате изучения литолого-стратиграфической характеристики Ванкорского месторождения, а так же опираясь на опыт компании Schlumberger и других буровых подрядчиков, можно предложить собственную программу долот, в которой будут использоваться только долото отечественного производства (рисунок 6.4.2).

Таблица 7.4.1 – Выбор долот для скважины № 285 куст № 8БИС

Конструкция скважины, мм	Глубина спуска колонны верт./ствол, м	Размер долота	Тип долота	Код IADC	Фото
1	2	3	4	5	6
530	30/30				
324	620/625	393,7	GRDP/ Z1RSJ	117	
245	1608/1890	295,3	MTRP/ Z3RSJ	137	
			sFD519SM	S223	

Окончание таблицы 7.4.1

1	2	3	4	5	6
178	2800/3673	219,1	ZW18RSJ		
			FDM616MH	M424	
114	2804/4666	152,4	FDM613MH	M432	

Для разбуривания интервала под кондуктор предлагается использовать шарошечное долото 393,7GRDP117 производства «Волгабурмаш» или шарошечное долото БИТ 393,7Z1RSJ производства «Буринтех».

Для разбуривания интервала под техническую колонну предлагается использовать следующий сортамент долот:

- для разбуривания оснастки кондуктора шарошечное долото 295,3MTRP137 производства «Волгабурмаш» или шарошечное долото БИТ295,3Z3RSJ произвоства «Буринтех»;

- для разбуривания интервала PDC долото 295,3sFD519SM производства «Волгабурмаш».

Для разбуривания интервала под эксплуатационную колонну предлагается использовать следующий сортамент долот:

- для разбуривания оснастки технической колонны шарошечное долото 219,1БИТZW18RSJ производства «Буринтех»;

- для разбуривания интервала PDC долото 219,1FDM616MH.

Для разбуривания интервала под хвостовик предлагается использовать PDC долото 152,4FDM613MH производства «Волгабурмаш».

Долото 393,7GRDP117 относится к линии шарошечных долот «GrandPro» производителя «Волгабурмаш». Долота данной серии созданы для многократного бурения верхних секций скважины (направление, кондуктор), имеют повышенный ресурс при форсированных режимах бурения. В долотах линии «GrandPro» применяются как опоры скольжения, так и опоры качения. В подшипнике скольжения комплектующие детали изготавливаются из антифрикционного материала с покрытием слоем серебра, что повышает ресурс опоры. Долота оснащаются комбинированной системой промывки. Вооружение шарошек данной продуктовой линии может быть представлено как стальными зубьями, так и твердосплавными зубками. Режущая структура, рассчитанная в современных программных комплексах, обеспечивает эффективное разбуривание любых типов пород и увеличивает срок службы долота. Для повышения ресурса стального вооружения применяется запатентованный материал, состоящий из композиции сферического литого карбида вольфрама и мелких щерен твердосплавных частиц.

Выбранное долото предназначено для бурения мягких пород, оснащено стальным вооружением, герметизированной опорой на подшипниках скольжения и твердосплавными вставками на калибрующих поверхностях шарошек.

PDC долото 295,3sFD519SMS223 относится к линии долот «smartFastDrill» предназначены для бурения сплошным забоем нефтяных и газовых горизон-тальных и наклонно-направленных скважин. Долота PDC премиум-линии «smartFastDrill» разработаны с помощью уникального

программного комплекса, позволяющего при проектировании формировать оптимальную режущую структуру долота для эффективного разрушения породы. Данная методика позволяет увеличить динамическую стабильность долота, скорость проходки и его износостойкость, а также обеспечивает высокую управляемость долота.

PDC долото 219,1FDM616MHM424 относится к линии «FastDrillMatrix». Это линия долот PDC с твердосплавным корпусом. Предназначены для бурения скважин в осложненных горно-геологических условиях, а также для бурения протяженных интервалов, где проходка за один рейс является ключевой задачей. Обладают высокой абразивной и эрозионной износоустойчивостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были подробно рассмотрены конструктивные особенности шарошечных долот и долот с фиксированными алмазосодержащими резцами (PDC).

Установлена зависимость исполнения элементов долот и условий бурения, для которых эти долота предназначаются, а также механизмы разрушения горной породы.

Были затронуты вопросы классификации долот по системе ВНИИБТ и Международной ассоциации буровых подрядчиков (IADC).

Также, были разъяснены принципы и методики подбора долот для конкретных условий бурения.

Проведен анализ работы долот на Ванкорском месторождении, на основании которого была предложена собственная программа долот для конкретной скважины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абубакиров В.Ф., Буримов Ю.Г., Гноевых А.Н., Межлумов А.О., Близнюков В.Ю. Буровое оборудование: Справочник: в 2-х т. Т. 2. Буровой инструмент. - М.: ОАО "Издательство "Недра", 2003. - 494 с.Акбулатов Т.О., Гидравлические расчеты в бурении: Методические указания. – Уфа: Издательство УНИ, 1991. – 50 с. [3]
2. Акбулатов Т.О., Левинсон Л.М. Расчеты при бурении наклонно-направленных скважин: Учебное пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 1994. – 68 с.
3. Баграмов Р.А., Буровые машины и комплексы: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1988.-501 с.
4. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Бурение нефтяных и газовых скважин: Учеб. пособие для вузов. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002. - 632 с. [5]
5. Булатов А.И., Данюшевский В.С. Тампонажные материалы М.:”Недра”, 1987г.
6. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: Учеб, для вузов. - М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2003. - 1007 с. [4]
7. Булатов А.И., Справочник по бурению.-М.: Недра,-1985г.
8. Дмитриев А.Ю. Основы технологии бурения скважин: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 216 с. [2]
9. Зейгман Ю.В., Физические основы глушения и освоения скважин. – учебное пособие, УГНТУ, 1996 – 78 с.
10. Иогансен К.В., Спутник буровика: Справочник.. – М.: Недра, 1990. – 303 с. [6]
11. Калинин А.Г., Григорян Н.А., Султанов Б.З. Бурение наклонных скважин: Справочник. – М.: Недра, 1990.
12. Калинин А.Г., Левицкий А.З., Никитин Б.А. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ: Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1998 г.

13. Качмар Ю.Д., Яремчук Р.С. Вскрытие продуктивных горизонтов и освоение скважин. – Львов: Вища школа, 1982г –149с.

14. Конесев Г.В., Буровые промывочные жидкости. – Уфа: УНИ-1983г.-91 с.

15. Нескоромных В.В.Разрушение горных пород при проведение геологоразведочных работ: учебное. пособие/ В.В. Нескоромных. – Красноярск: Изд. СФУ, 2012. – 328с.

16. Масленников И.К. Буровые инструменты. – М,: Недра, 1989. – 430с.

17. Русский В.И., Кривихин С.В., Алексеев В.П., Зеленская А.Ш., Геология нефти и газа: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе. - Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. 138 с. [1]

18. Середа Н.Г., Соловьёв Е.М. Бурение нефтяных и газовых скважин. М,: Недра, 1989 – 360с.

19. Сливак А.И., Попов А.Н. Разрушение горных пород при бурении скважин –М,: Недра, 1986.

20. Соловьёв Е.М. “Заканчивание скважин” – М.: Недра, 1979г.

21. Сулейманов М.М., Газарян Г.С., Мангелян Э.Г. Охрана труда в нефтяной промышленности. – М.: Недра, - 1980г. – 393с.

22. Буровой породоразрушающий инструмент. Том 1. Шарошечные долота. Международный транслятор-справочник Кершенбаум В.Я., Торгашов А.В. — ред. 2003 г. — 258 с. [7.8]

23. Буровой породоразрушающий инструмент. Том 2. Долота с фиксированными алмазосодержащими резцами. Международный транслятор-справочник Кершенбаум В.Я. — ред.. 2011 г. — 456 с. [11]

24. Проблемы и перспективы вскрытия продуктивных пластов при отрицательном дифференциальном давлении в системе «скважина – пласт» / Салихов Р.Г., Пермяков А.П., Крапивина Т.Н., Соболева Т.И., Крысин Н.И., Глухов С.Д., Баянов В.М. – Пермь, 2003 г.

25. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: Учеб. для вузов/ А.Н. Попов, А.И. Спивак, Т.О. Акбулатов и др.; Под общей ред. А.И. Спивака. – М.: ООО

26. «Недра-Бизнесцентр», 2003. –509 с.:Методические указания к выполнению раздела “Безопасность и эко-логичность проекта” к дипломному проектированию.-Уфа: УГНТУ-2000г.

27. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Гидроаэромеханика бурения» для студентов специальности «Бурение нефтяных и газовых скважин». Расчет гидравлической программы проводки скважины. – Уфа: УНИ-1987г.

28. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Технология бурения нефтяных и газовых скважин» для студентов специальности 0909. Гидравлические расчеты в бурении.–Уфа: УНИ-1991г.

29. Методические указания к расчету рабочих характеристик турбобура. – Уфа: УНИ-1985г.

30. Комплексная методика классификации горных пород геологического разреза, разделения его на характерные пачки пород и выбора рациональных типов и конструкций шарошечных долот для эффективного разбуривания нефтяных и газовых месторождений. РД 39-2-52–78/ М.Г. Абрамсон, Б.В. Бай-дюк, Р.В. Винарский и др. – М.: ВНИИБТ, 1980

31. «Бурение и нефть» выпуск 2002- 2005г. - 40с.

32. В.А. Барвинок, И.В. Бебородова, Р.В. Буткевич / Проблематика управления качеством бурового породоразрушающего инструмента. – Известия Самарского научного центра Российской академии наурк, т. 12, №4, 2010

33. Долговечность шарошечных долот . – М,:Недра, 1995. – 266с.

34. Типовая методика испытаний шарошечных долот при бурении нефтяных и газовых скважин. М,: Миннефтепром, 2001. – 126с.

35. В.В. Чулкова / Опыт применения долот PDC в условиях перемежающихся по твердости горных пород Урало-Приволжского региона. – Вестник Ассоциации буровых подрядчиков 2, 2012.

36. Официальный сайт компании «Волгабурмаш»: http://www.vbmbits.com.

37. Официальный сайт компании «Schlumberger»: http://www.slb.com. [12]

38. Официальный сайт компании «Буринтех»: http://burintekh.ru. [9,10,12]

39. Официальный сайт компании «Роснефть»: https://www.rosneft.ru.