

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

УТВЕРЖДАЮ _____ Заведующий кафедрой

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

Бакалаврская работа

131000.62.01 Бурение нефтяных и газовых скважин

код и наименование специальности

Аналитическое исследование выбор продоразрушающего инструмента при
бурении карбонатных горных пород

тема

Руководитель _____

подпись, дата

Зав.кафедрой, доцент

должность, ученая степень

А.Л. Неверов

инициалы, фамилия

Выпускник _____

подпись, дата

Д.В Смирнов

инициалы, фамилия

Красноярск 2016

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Карбонатные породы.....	5
1.1. Классификация известково-доломитовых пород по (С.Г Вишнякову).....	6
1.2. Основные типы карбонатных пород.....	8
1.3. Карбонатные коллекторы.....	12
1.4. Особенности строения пустотного пространства карбонатных коллекторов.....	14
2. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС БУРЕНИЕ.....	17
2.1 Абразивность горных пород.....	19
2.2 Плотностные свойства горных пород.....	20
3. Теоретические основы разрушения горных пород.....	22
3.1 Методы разрушения горных пород.....	24
3.2 Виды породоразрушающего инструментов.....	27
3.3 Технология долот с фиксированными резцами.....	29
4. Классификация шарошечных, PDC и алмазных долот по коду IADC.....	31
5. Анализ выбора породоразрушающего инструмента при бурении карбонатных пород.....	35
5.1 Анализ существующих методик проектирования шарошечных долот для бурения твердых пород.....	35
5.2 Анализ существующих методик проектирования PDC долот для бурения твердых пород.....	41
5.3 Анализ выбора шарошечного долота на примере рабочего проекта на строительство поисково-оценочной скважины №1 Верхнекамской площади.....	46
5.4 Анализ выбора PDC долота на примере рабочего проекта на строительство поисково-оценочной скважины №1 Платоновской площади.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Бурение недр для поиска углеводородов требует выполнения операций, спуска долот на колонне бурильных труб, и их вращения с помощью поверхностной буровой установки, или взд. Основным инструментом буровых инженеров, то есть долото для вращательного бурения, которое в широком смысле слова классифицируется как долото с фиксированными резцами или как шарошечное долото, предназначен и изготовлен для различных пород и широкого спектра условий. Все кто покупают и используют долота, должны знать разницу между различными типами и конструкциями, а в наше время это актуально, из-за множества производителей нефтегазовой продукции.

Буровые долота составляют только долю - от одного до пяти процентов - от общей стоимости скважины, но являются основным компонентом экономики строительства скважины, время необходимое для бурения скважины напрямую зависит от скорости бурения долота и от продолжительности его работы до износа.

В последние годы при бурении разведочных, эксплуатационных скважин, как в нашей стране, так и за рубежом, чаще всего, приходится иметь дело с плотными горными породами различного литологического состава, в основном с карбонатными.

Такие породы как, известняк и доломит относящиеся к классам твердости V-IX, чаще встречаются в горных массивах, и подвергаются процессу разрушения не всегда так, как исследовано. Сложные условия работы инструмента приводят к интенсивному изнашиванию элементов вооружения - резцов, системы промывочных устройств, потере диаметра. А причиной этому, служит неправильный выбор породоразрушающего инструмента, на запланированный интервал бурения с залеганием данных пород.

Правильный выбор инструмента должен обеспечивать необходимую скорость бурения, быть износостойким, восприимчив к высоким осевым нагрузкам.

1. КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ.

Карбонатные породы представляют собой осадочные образования, сложенные на 50% карбонатными минералами. В число карбонатных минералов входит кальцит (и аргонит) - CaCO_3 , доломит - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, и редко встречаемые магнезит - MgCO_3 , фидерит - FeCO_3 , и др.

Из этих карбонатных минералов широко распространены в природе, кальцит и доломит, остальные встречаются в виде рассеянных выделений, отдельных линз, гнезд, редко образуя более или менее значительные сплошные скопления.

Кальцит и доломит, являются основными породообразующими карбонатными минералами. Включают в себя известняки, доломиты и породы смешанного известково-доломитового состава. Все эти породы встречаются в отложениях различных тектонических структур (платформенных и геосинклинальных) и самого различного возраста. Доля их в общей массе осадочных образований земной коры оценивается по-разному, наиболее реальным значением является около 20%.

Известняк – осадочная горная порода, состоящая главным образом из кальцита, редко из арагонита, содержащая примеси обломочного и глинистого материала, доломита и органического вещества. Обломочный материал представлен кварцем, опалом, халцедоном, пиритом, оксидами железа, глауконитом, фосфоритом и др. Структура и текстура разнообразны. Известняк обычно твердый и плотный (средняя плотность 2,57 т/м³, у ракушечников 1,2–1,5 т/м³), пористость различна, предел прочности на сжатии 94 МПа и при растяжении 9 МПа. Химический состав чистого известняка приближается к теоретическому составу кальцита (56,04 % CaO и 43,96 % CO₂).

Мел – разновидность известняка, представляющая собой слабо сцементированную белую мажущую породу, состоящую из остатков

кокколитофорид, фораминифер, обломков раковин моллюсков, зерен порошковатого и зернистого кальцита. Средняя плотность мела 1,5–1,6 т/м³, пористость 40–50 %, естественная влажность до 20–35 %, твердость низкая, прочность в сухом состоянии обычно не больше 4–5 МПа.

Доломит – карбонатная порода, состоящая главным образом из одноименного минерала с примесью кальцита, иногда гипса, ангидрита, оксидов железа, глинистого материала. Физико-механические свойства близки к таковым известняка. Структурно-текстурные особенности разнообразны. В чистом доломите содержится 30,41 % СаО, 21,86 % MgO и 47,73 % СО₂. Между доломитами и известняками существует непрерывный ряд переходных карбонатных пород. Карбонатную породу с содержанием MgO более 11 % относят к доломиту.

Карбонатными породами, как известно сложены значительные по мощности толщи. Исходным материалом для образования карбонатных пород служат растворенные в водах соли кальция и магния. При избыточном количестве магния в водной среде, они начинают выделяться в осадок, чисто химическим путем, либо при поглощении из водной среды живыми организмами эти соли попадают в осадок в виде карбонатных скелетных остатков. Наличие в этих породах трех генетических карбонатных составляющих:

- Биогенного, точнее органогенного карбоната в виде скелетных остатков различных организмов и водорослей.
- Хемогенного карбоната
- Обломочного карбоната, представленного различными по размерам и форме обломками карбонатных пород.

1.1. Классификация известково-доломитовых пород по (С.Г Вишнякову)

Карбонатные породы классифицируются, по составу породообразующих карбонатных минералов, и их названия соответствуют названию минерала, на содержание которого в породе приходится более половины (доломиты, сидериты, магнезиты и др.). К примеру, порода, которая более чем на 50% сложена из $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, будет относиться к доломитам. Исключение составляют известняки, для которых породообразующими минералами являются арагонит и кальцит.

Возможность определения различных карбонатных минералов в шлифах ограничена в силу схожести их оптических признаков. Рассматриваемые минералы характеризуются бесцветной или желтоватой, розоватой окраской, имеют сильное двупреломление, ярко выраженную псевдоабсорбцию, весьма совершенную спайность по ромбоэдру.

Практически карбонатные минералы в шлифах можно приближенно диагностировать по кристаллизационной силе, выражающейся в форме зерен, по наличию или отсутствию двойников, по показателям преломления, осности кристаллов. Сила кристаллизации наименьшая у кальцита, значительно большая у доломита и максимальная у сидерита. Форма зерен кальцита неправильная - «лапчатая», одновременно в шлифе можно наблюдать кристаллы разной размерности. Для доломита характерна ромбоэдрическая форма зерен, часто с зональным строением, зерна доломита обычно имеют очень небольшой разброс по размерам. Для сидерита характерны субромбоэдрические формы зерен, кристаллы могут достигать относительно больших размеров. Полисинтетические двойники наиболее типичны для кальцита и арагонита, редки для доломита и сидерита, редко встречаются у анкерита и родохрозита и отсутствуют у магнезита.

По показателям преломления карбонатные минералы разбиваются на две группы: у кальцита, арагонита, доломита, анкерита и магнезита один из показателей преломления меньше показателя преломления канадского бальзама; у остальных - оба показателя преломления выше. По оптической

осности диагностируется арагонит - двуосный отрицательный минерал.

Разнообразие карбонатных минералов не ограничивается описанными выше, но их практическое определение в шлифах чаще всего оказывается невозможным и требует специальных минералого-химических методов диагностики. Название карбонатных пород по вещественному признаку дается исходя из содержания основного породообразующего минерала и второстепенных примесных. Наиболее характерный переходный ряд карбонатолитов - это известково-доломитовые породы, номенклатура которых отражена в табл. 1.

Карбонатные породы образуют непрерывные переходные ряды с породами обломочными и глинистыми. В этом случае их вещественный состав характеризуется помимо карбонатных минералов, алюмосиликатными примесями, которые необходимо учитывать в названии породы (в случае, если их содержание превышает 5 %).

Таблица 1.1- Классификация известково-доломитовых пород

Порода	Содержание, масс. %	
	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂
Известняк	95-100	0-5
Известняк доломитистый	75-95	5-25
Известняк доломитовый	50-75	25-50
Доломит известковый	25-50	50-75
Доломит известковистый	5-25	75-95
Доломит	0-5	95-100

1.2. Основные типы карбонатных пород.

Важное практическое значение, имеет выделение отдельных типов, карбонатных пород при геологических исследованиях, в том числе связанных с карбонатными коллекторами. В основном оно проводится по данным литолого-петрографического изучения пород.

Характеристика основных типов известково-магнезиальных карбонатных пород приводится на основе классификационной схемы, применяемой в лабораториях петрографии.

Эта классификационная схема, на равных основаниях объединяет известняки, известково-доломитовые породы и доломиты. Для всех одинаково справедливо подразделение на три основные генетические группы: хемогенные (биохемогенные), обломочные и органогенные, с выделением четвертой генетически сложной группы переходных или смешанных карбонатных пород.

1) Группа хемогенных (или биохемогенных) карбонатных пород включает породы, карбонатная часть которых в основном (50 % и более) представлена химически или биохимически осажденным карбонатным материалом. Карбонатный материал представляет на стадиях седиментогенеза, представляет собой тонкую, пелитоморфную карбонатную массу с размером зерен менее 0,01мм.

Среди хемогенных и биохемогенных зернистых карбонатных пород выделяются две подгруппы: первоначально однозернистые и первично неоднороднозернистые. Известняки (известково-доломитовые породы, доломиты) однороднозернистые могут быть равномерно- и неравномернозернистыми. В первых случаях они будут сложены зернами в основном одной размерности (тонко-, мелкозернистые и т. д.). В неравномернозернистых карбонатных породах зерна будут принадлежать разным размерным градациям. Если двум смежным градациям, то порода определяется, соответственно, как тонко-, мелко-, средне- мелкозернистая и т. д. Преобладающая размерность указывается в конце названия. Если же породу слагают зерна трех (и более) размерных групп, она именуется разнозернистой (с возможным пояснением: средне-тонко-мелкозернистая и т. д.). Таким образом, характер однороднозернистых карбонатных пород определяется в первую очередь размерами карбонатных зерен.

2) породы, в которых 50 % и более карбонатной части принадлежит карбонатным органогенным остаткам. В зависимости от того, представлены последние остатками животных организмов (фауны) или флоры (водоросли), органогенные карбонатные породы могут быть зоогенными, фитогенными или смешанными, фито зоогенными. Первые из них принадлежат исключительно известнякам, весьма многочисленным и разнообразным. Среди фито-зоогенных пород возможны и первичные, седиментационно-диагенетические известково-доломитовые породы. Преобладающими в них являются остатки водорослей (или водорослевой проблематики). И наконец, фитогенные (водорослевые) карбонатные породы могут быть представлены как известняками так и первичными доломитами. В подгруппе зоогенных карбонатных пород различаются известняки, сложенные целыми скелетными фрагментами — биоморфные (цельнораковинные) либо их обломками — детритовые (при размерах обломков более 0,1 мм) и шламовые (с обломками менее 0,1 мм), а также смешанные биоморфно-детритовые, биоморфно-шламовые.

3) Группа обломочных карбонатных пород включает в себя известняки, доломиты и известково-доломитовые породы, которые на 50 % и более состоят из обломков карбонатных пород (но не фауны). Цементом их служит зернистый карбонатный материал.

Среди обломочных карбонатных пород можно различать первичные и вторично обломочные. К последним относятся различные псевдоконгломераты и брекчии, возникшие за счет разрушения-раздробления уже сформированных карбонатных пород при тектонических деформациях либо в результате процессов выщелачивания. Среди первичных обломочных карбонатных пород следует различать собственно терригенные (аллохтонные, экстракласты), образованные карбонатными обломками — продуктами разрушения прилегающей суши, и внутриформационные

(автохтонные, интракласты). Последние возникают непосредственно на месте своего образования за счет подводного размыва уже уплотненных карбонатных осадков. Специфическими признаками внутриформационных обломочных карбонатных пород, которые позволяют отличать их от терригенных обломочных разностей, служат:

- 1) большая однородность обломков карбонатных пород;
- 2) отсутствие следов сортировки обломков;
- 3) отсутствие или слабо выраженные следы их окатанности, угловатые, нередко удлиненные «пластинчатые» формы (рис. 20);
- 4) сходство карбонатного материала обломков и цементирующей карбонатной массы.

4) В группу карбонатных пород переходного или смешанного типа включены породы, в которых зернистый карбонатный материал имеет подчиненное значение, выступая в роли цемента, а преобладающий ($> 50\%$) «цементируемый» материал генетически различен. Он может принадлежать хемогенным (биохемогенным) форменным карбонатным образованиям, органогенным остаткам и обломкам карбонатных пород. Обязательным при этом является присутствие их в значительных, примерно равных, количествах. Соответственно такие породы будут характеризоваться как органогенно-обломочные, комковато-органогенные и т.д. Все рассмотренные выше генетические типы карбонатных пород дополнительно могут характеризоваться по различным второстепенным признакам. Наиболее важными из них являются наличие глинистого или терригенного обломочного материала и некарбонатных минеральных новообразований. Присутствие таких некарбонатных компонентов обусловлено спецификой образования карбонатных пород и нередко значительно меняет их свойства. Так же, как в случаях с глинистым материалом, наличие в карбонатной породе других некарбонатных компонентов в количестве менее 5%

позволяет условно считать ее «чистой». Присутствие их в количестве от 5 до 25 % уже отражается в названии породы

соответствующим прилагательным — глинистая, алевролитовая, песчаная, а также кремнистая, ангидритовая, фосфатная и т.д.

При более высоком содержании (25—50 %) некарбонатных компонентов порода именуется мергелем (если некарбонатный материал глинистый), алевролитовой, песчаной (если он терригенный). Если же эти некарбонатные компоненты принадлежат минеральным новообразованиям, порода оценивается как переходная*сульфатно-карбонатная (в частности, ангидрито-доломит), кремнисто-карбонатная и т.д

1.3. Карбонатные коллекторы

Карбонатные породы-коллекторы - это прежде всего известняки и доломиты. Данные породы характеризуются сложным характером пустотного пространства, формирование которого определяется как их структурно-текстурными особенностями, закладывающимися в стадию седиментации, так и постседиментационными преобразованиями. Спецификой карбонатных пород является широкий спектр структурных видов и меньшая по сравнению с алюмосиликатным веществом терригенных пород устойчивость породообразующих карбонатных минералов в условиях недр. Именно карбонатные породы наиболее часто представляют собой коллекторы сложного типа. В зависимости от стадий литогенеза выделяются поры седиментационного происхождения, обязанные своим появлением процессам осадконакопления, и постседиментационные, обусловленные диагенетическими и эпигенетическими преобразованиями осадка и породы. В качестве первичных (седиментационных) компонентов известняков могут выступать зерна: обломочные (литокласты и интракласты); биоморфные (цельносkeletalные, детритовые, шламовые, пеллетовые), сфероагрегатные

(оолиты, пизолиты, сферолиты, комки и др.), кристаллы различной размерности. Кроме того, известняки могут представлять собой каркасные постройки (водорослевые, коралловые, кораллово-мшанковые), которые обычно характеризуются высокой полезной емкостью. Структурное разнообразие первичных доломитов существенно меньше. Чаще всего они представлены мелко- и тонкозернистыми кристаллитовыми или сфероагрегатными структурными разновидностями.

К петрографическим признакам, контролирующим первичную пористость карбонатных пород-коллекторов, относятся:

- структурный тип зерен (обломочные, биоморфные, оолиты, сферолиты, др.) и степень их сохранности (цельносkeletalные, биодетритовые, шламовые);
- минеральный состав карбонатных минералов (по данным окрашивания ализариновым красным с соляной кислотой диагностируются кальцит и доломит, оценивается их процентное соотношение);
- форма, размер зерен или форменных образований;
- сортированность;
- характер упаковки;
- наличие или отсутствие микритового заполнителя

Таблица 1.2- Классификация карбонатных коллекторов

Группа пород	Класс	Проницаемость 10^{-15} м^2 Эффективная пористость, %	Литологические разности
Группа А (классы высшей емкости, эффективная пористость > 15 %)	I	≥ 1000 > 25	Известняки биоморфные, скелетные (рифовые), крупнокавернозные
	II	$1000-500$ 25-20	Известняки биоморфные, кавернозные
	III	$500-300$ 20-25	Известняки кавернозные и органогенно-

			обломочные
Группа Б (классы средней емкости, эффективная пористость от 15 до 5 %)	IV	<u>300-100</u> 15-10	Известняки крупнозернистые порово-кавернозные, крупнооолитовые
	V	<u>100-50</u> 10-5	Известняки и доломиты средне- и мелкозернистые порово-кавернозные, мелкооолитовые
Группа В (классы малой емкости, эффективная пористость < 5 %)	VI	<u>50-25</u> -	Известняки оолитовые, мелкодетритовые, биоморфные, инкрустированные
	VII	<u>25-10</u> -	
	VIII	<u>10-1</u> -	

1.4. Особенности строения пустотного пространства карбонатных коллекторов.

Карбонатные коллекторы в силу своих физико-химических свойств, подверженности растрескиванию, выщелачиванию, перекристаллизации формируют сложную микроструктуру пустотного пространства. Трещиноватостью и кавернозностью в той или иной мере обладает практически любая карбонатная или эффузивная порода, которая может быть коллектором нефти и газа. Хотя известны залежи в карбонатных коллекторах, обладающих высокой пористостью и межпоровой проницаемостью, в которых трещины играют подчиненную роль, но в этом случае методология изучения таких залежей, практика определительских работ и проектирование их разработки мало отличается от подходов, используемых для обычных терригенных коллекторов. Специфика карбонатных, эффузивных и других типов коллекторов проявляется в условиях развитой трещиноватости при сравнительно низких емкостных и фильтрационных свойствах поровой части породы. Карбонатный

трещиноватый коллектор- это относительно плотная низкопроницаемая порода с развитой в разной мере вторичной пустотностью в следствие процессов выщелачивания и растрескивания. пустотное пространство такой породы включает в себя следующие основные компоненты:

- первичные межкристаллические поры чрезвычайно малого размера и сложной конфигурации, размеры пустот варьируются в диапазоне от 0,005 до 0,1 мкм, емкость первичных пор измеряется единицами процентов (1-3%), фильтрационные свойства так же очень низкие, проницаемость измеряется сотыми и тысячными долями миллидарси, вследствие малых размеров первичные поры полностью насыщены реликтовой водой.

- вторичные поры выщелачивания, характеризуются большими по сравнению с первичными порами размерами от 0,01 до 2 мкм и сложной извилистой формой, а так же избирательным распространением в породе, аналогичные характеристики имеют пустоты, образовавшиеся в результате перекристаллизации породы

- первичные межформенные поры, изначально присутствующие в органогенных и детритовых известняках, но в силу своей фильтрационной способности в значительной мере закальцинированные или заполненные твердыми битумами в период диагенеза и катагенеза породы и по этому называются остаточными

- микро- и макрокаверны, представляют собой разновидность пор выщелачивания, но отличающиеся от них большими размерами и более простой изометрической формой, микрокаверны достигают размера 0,5 мм, а макрокаверны могут иметь размеры, превышающие 1 см, к ним можно отнести также пустоты карстового происхождения, при достаточно большом присутствии каверн в породе ее емкость резко возрастает и может превышать 10%. В силу своих размеров и формы каверны характеризуются отсутствием или слабо выраженной водоудерживающей способностью.

- открытые микротрещины, преимущественно литофикационного генезиса, первоначально формирующиеся при неравномерном затвердевании породы и в дальнейшем возобновляющиеся при изменении механических напряжений в породе, они характеризуются малыми протяженностью и раскрытостью, бессистемной ориентацией, извилистостью и часто являются тупиковыми и оперяющими по отношению к более крупным мезо- и макротрещинами, раскрытость микротрещин обычно не превышает 20 мкм, их емкость измеряется долями процента к объему породы, проницаемость - единицами или первыми десятками миллидарси, водоудерживающая способность, как и у каверн, или отсутствует, или слабо выражена.

- открытые мезо- и макротрещины, преимущественно эрозионного и тектонического происхождения, средней и большую протяженностью с раскрытостью в пластовых условиях от 20 до 100 мкм, часто имеющие системную ориентацию и определяющие гидродинамическую связность резервуара и направлении фильтрации флюидов.

Два последних компонента пустотного пространства карбонатной породы играют чрезвычайно важную роль в ее характеристике как коллектора. По общепризнанному определению, трещина представляет собой поверхность, по которой произошло нарушение сплошности или потеря сцепления материала. Различие между трещиной и разломом по наличию или отсутствию заметного смещения по плоскости разрыва. Это различие является условным, так как всякая трещина, даже микротрещина, должна иметь некоторое смещение, потому что возникает в результате разрывных напряжений, действующих под углом, отличным от прямого, к плоскости разрыва. Каждый из видов разрывных напряжений формирует свою систему трещин, в той или иной мере присутствующую в каждом карбонатной массиве.

2. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС БУРЕНИЕ.

Основные физико-механические свойства горных пород, влияющие на процесс бурения, их упругие и пластические свойства, твердость, абразивность и сплошность.

Упругие свойства горных пород. Все горные породы под воздействием внешних нагрузок претерпевают деформации, исчезающие после удаления нагрузки или остающиеся. Первые из них называются упругими деформациями, а вторые пластическими. Большинство породообразующих минералов - тела упруго хрупкие, т. е. они подчиняются закону Гука и разрушаются, когда напряжения достигают предела упругости.

Горные породы также относятся к упруго хрупким телам, но в отличие от минералов они подчиняются закону Гука только при динамическом приложении нагрузки.

Упругие свойства горных пород характеризуются модулем упругости (модуль Юнга) и коэффициентом Пуассона. Модуль упругости горных пород зависит от их минералогического состава, вида нагружения и величины приложенной нагрузки, от структуры, текстуры и глубины залегания пород, от состава и строения цементирующего вещества у обломочных пород, от степени влажности, песчаности и карбонатности пород.

Пластические свойства горных пород (пластичность). Разрушению некоторых пород предшествует пластическая деформация. Она начинается, как только напряжения в породе превысят предел упругости. Пластичность зависит от минералогического состава горных пород и уменьшается с увеличением содержания кварца, полевого шпата и некоторых других минералов. Высокими пластическими свойствами обладают глины и некоторые породы, содержащие соли. При определенных условиях некоторые горные породы подвержены ползучести. Ползучесть проявляется

в постоянном росте деформации при неизменном напряжении. Значительной ползучестью характеризуются глины, глинистые сланцы, соляные породы, аргиллиты, некоторые разновидности известняков.

Твердость горных пород. Под твердостью горной породы понимается ее способность оказывать сопротивление проникновению в нее (внедрению) породоразрушающего инструмента.

В геологии большое распространение имеет шкала твердости минералов Мооса, по которой условную твердость минералов определяют методом царапания; по этой шкале твердость характеризуется отвлеченным числом (номером).

На основании многочисленных исследований Л.А.Шрейнер предложил классификацию горных пород, выгодно отличающуюся от шкалы твердости Мооса тем, что она наиболее полно учитывает основные физико-механические свойства горных пород, влияющих на процесс бурения.

В таблице 2.1, приведены численные значения твердости и пластичности некоторых карбонатных пород.

Таблица 2.2-Твердость и коэффициент пластичности

Порода	Твердость,	Коэффициент пластичности МПа
Глина	250-1800	2
Каменная соль	120-300	6,5
Доломит	80-3800	1,5-6
Известняки	50-2800	1,5-7
Кварцит	5800-8100	1-3,2

2.1 Абразивность горных пород.

Абразивность горных пород. Под абразивностью горной породы понимается ее способность изнашивать контактирующий с ней породоразрушающий инструмент в процессе их взаимодействия.

Абразивность пород проявляется в процессе абразивного (преимущественно механического) изнашивания и является его характеристикой. Поэтому показатели абразивности можно рассматривать как показатели механических свойств горных пород.

Абразивность горной породы, как и любой другой показатель механических свойств, отражает ее поведение в конкретных условиях испытания или работы. Понятие об абразивной способности тесно связано с понятием о внешнем трении и износе. Абразивные свойства горных пород изучены слабо. На величину трения существенное влияние оказывает среда. Коэффициент трения о породу, поверхность которой смочена глинистым раствором, меньше, чем тот же коэффициент при трении о породу, смоченную водой, и значительно ниже, чем коэффициент трения о сухую породу. Твердость горной породы, размер и форма зерен, образующих породу, существенно влияют на коэффициент внешнего трения. Коэффициент трения о породу с более высокой твердостью при прочих равных условиях обычно более высокий, чем о породу с меньшей твердостью. Это объясняется тем, что абразивные зерна из такой породы выламываются трудней, а разрушающий инструмент царапается зернами этой же породы более интенсивно. По этим же причинам коэффициент внешнего трения выше при трении о мелкозернистые породы с остроконечными зернами, чем при трении о крупнозернистую породу со скатанными зернами.

Среди горных пород наибольшей абразивностью обладают кварцевые и полевошпатовые песчаники и алевролиты (сцементированные обломочные породы с обломочными зернами размером от 0,01 до 0,1 мм).

Таблица 2.1.1- Классификация горных пород по абразивности

Класс абразивности	Степень абразивности пород	Показатель абразивности	Характерные породы
I	Весьма малоабразивные	до 5	Известняки, мраморы, мягкие сульфиды без кварца (галенит, сфалерит, пирротин), апатит, каменная соль
II	Малоабразивные	5-10	Сульфидные и барито-сульфидные руды, аргиллиты, мягкие сланцы (углистые, глинистые, хлоритовые)
III	Ниже средней абразивности	10-18	Джеспилиты, роговики, кварцесульфидные руды, магматические тонкозернистые породы, песчаники кварцевые, руды железные, известняки окремненные
IV	Среднеабразивные	18-30	Песчаники мелкозернистые, диабазы, плавленый базальт, крупнозернистый пирит, арсенопирит, жильный кварц, кварцево-сульфидные руды, мелкозернистые магматические породы, окварцованные известняки

2.2 Плотностные свойства горных пород.

К ним относятся плотность, объемная масса, пористость, трещиноватость.

Плотностью называется масса единицы объема твердой фазы (минерального скелета) горной породы. Плотность зависит, главным образом от плотности минералов, слагающих породу. Плотность основных породообразующих минералов в земной коре колеблется в диапазоне от 1900 до 3500 кг/м³.

Плотность осадочных горных пород находится в пределах от 1850 до 3200 кг/м³. Чаще всего в геологических разрезах встречаются породы с плотностью от 1850 до 2700 кг/м³.

Важным структурным фактором является объемная масса горной породы. Это масса единицы объема породы в ее естественном состоянии, то есть с минеральным скелетом, порами и трещинами. Объемная масса имеет то же значение, что и плотность монолитных (без пор и трещин) пород.

Для пористых пород объемная масса всегда меньше их плотности. Объемная масса пород, имеющих в порах и трещинах капельную жидкость, больше объемной массы сухих пород. Разница возрастает по мере роста пористости и минерализации пластовой воды.

При увеличении глубины скважины за счет роста горного давления происходит уплотнение пород, смятие пор и пустот, поэтому объемная масса возрастает. Горные породы осадочного комплекса имеют объемную массу, равную 1800-2500 кг/м³, а насыщенные водой осадочные породы имеют объемную массу 2000-2700 кг/м³.

С ростом глубины скважины увеличивается температура горных пород. Повышение температуры вызывает увеличение объема минерального скелета и пластового флюида, поэтому объемная масса несколько снижается.

Таблица 2.2.1- Плотностные свойства

Горная порода	Плотность, кг/м ³	Горная порода	Плотность, кг/м ³
Песчаники	2320-3200	Алевриты	2340-3040
Глины	1850-2200	Известняки	2360-2980
Аргиллиты	2630-2860	Доломиты	2460-3190
Мергели	2370-2920	Каменная соль	2100-2200

Наиболее важным структурным признаком породы является пористость, определяемая наличием в ней пор, трещин (пустот).

Общая (абсолютная, физическая, полная) пористость характеризуется отношением объема пор к объему всей породы. Коэффициент общей пористости $K_{п}$ есть отношение объема всех пор $V_{пор}$ к полному объему образца породы $V_{обр}$, в долях или процентах

$$K_{п} = \frac{V_{пор}}{V_{обр}} \cdot 100. \quad (2.2.1)$$

Известна также открытая пористость, которая учитывает сообщающиеся между собой поры. Она всегда меньше или равна общей пористости.

Динамическая (эффективная) пористость учитывает только часть объема открытых пор с движущимся пластовым флюидом. Пористость магматических и метаморфических пород весьма мала (0,8-1,2 %) [1]. Осадочные породы имеют большую пористость (таблица 2.2).

Таблица 2.2.2- Общая пористость основных пород нефтяных и газовых месторождений

Горные породы	$K_{п}$, %	Горные породы	$K_{п}$, %
Глины	0-62	Песчаники	0-53
Аргиллиты	0-25	Известняки	0-45
Глинистые сланцы	0,5-4	Доломиты	2,5-33
Пески	2-55	Алеврит	0-47

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Введение

Разрушение горных пород при бурении скважин охватывает всю информацию о способах разрушения горных пород, их свойств

определяющих прочность и буримость, механику разрушения, процессы разрушения различным инструментом, методы интенсификации разрушения под воздействием различных технологических факторов.

Процесс разрушения горных пород при бурении - это разрушение горных пород на забое скважины вследствие механического или физико-химического воздействия на породу, производимого с целью формирования поля механических напряжений, достаточных для нарушения сплошности определенного объема (слоя) горного массива или преобразования породы в расплав, пар, раствор, а также удаления образовавшихся продуктов разрушения, растворения или плавления с забоя скважины на поверхность или в скважинное пространство.

Рациональное соотношение операций породоразрушающего воздействия на породу и удаления продуктов разрушения с забоя из-под торца бурового инструмента является важным аспектом, определяющим минимальную энергоемкость и, соответственно, эффективность бурового процесса.

Энергоемкость процесса разрушения горных пород на забое скважины - показатель эффективности данного процесса, определяемый как отношение затраченной на разрушение породы энергии к интервалу углубления (объему разрушенной породы) за определенный отрезок времени.

В данном случае важно подчеркнуть, что процесс разрушения породы при бурении - два взаимосвязанных явления: собственно нарушение целостности породы породоразрушающим действием и удаление, по возможности мгновенное, полученных продуктов разрушения из зоны работы породоразрушающих элементов инструмента. Эти два взаимосвязанных явления объединены в понятии буримость.

Буримость - сопротивляемость горной породы разрушению буровым инструментом, задаваемая совокупностью прочностных и абразивных свойств горной породы, способом и интенсивностью породоразрушающего

действия, конструктивными параметрами и техническим состоянием бурового инструмента, а также способом и параметрами процесса удаления продуктов разрушения из зоны породоразрушающего действия бурового инструмента. Количественно буримость можно оценить механической скоростью бурения.

В начале XXI в. способы механического разрушения горных пород по-прежнему обеспечивают основной объем буровых работ, именно поэтому в учебном пособии основное внимание уделено механическому разрушению горных пород под воздействием поля механических напряжений.

3.1 Методы разрушения горных пород

В настоящее время известны механические, физико-химические, термические, термомеханические и др. способы разрушения горных пород, ниже приведена таблица. При механических способах в породах создаются напряжения, превышающие предел их прочности. При термических способах разрушение пород происходит за счет возникновения в них термических напряжений и различного рода эффектов (дегидратация, диссоциация, плавление, испарение и т. д.). При термомеханических способах тепловое воздействие осуществляется целенаправленно для предварительного снижения сопротивляемости породы последующему механическому разрушению. Химические (физико-химические) способы разрушения пород предусматривают использование высокоактивного химического вещества.

Таблица 3.1.1- Методы, процессы и механизм разрушения горных пород

Метод	Процесс	Механизм
Физико-механическое воздействие на породу	1. Смятие 2. Раздавливание 3. Дробление 4. Скалывание 5. Отрыв	Механическое нарушение связей между веществами, слагающими породу, без изменения их состава и

	6. Резание 7. Истирание 8. Шелушение 9. Растрескивание 10. Раскалывание	свойств
Физико-химическое воздействие на породу	1. Плавление 2. Испарение 3. Горение 4. Растворение	Нарушение связей между веществами, слагающими породу, с изменением их агрегатного состояния, состава и свойств
Физико-механическое и химическое воздействие на породу	1. Механическое разрушение и адсорбционное понижение твердости. 2. Механическое разрушение и интенсификация адсорбционного понижения твердости воздействием ультразвука, магнитными и иными полями. Механическое разрушение и размягчение породы нагреванием	Механическое нарушение связей между веществами, слагающими породу, с некоторым изменением их свойств

Большинство способов бурения основано на механическом разделении некоторого объема породы (призабойного слоя) на частицы небольшого размера. Разделение объема породы происходит под воздействием поля механических напряжений, создаваемых в отдельных точках забоя, в которых напряжения достигают критических с точки зрения прочности горных пород значений.

При механическом разрушении напряжения в определенных зонах забоя превышают сопротивление внутренних связей в горной породе. Концентрированные напряжения возникают под воздействием внешних сил, появление которых связано с силовым воздействием со стороны буровых

инструментов, оснащенных породоразрушающими элементами, твердость которых существенно выше твердости горных пород.

В результате взаимодействия породоразрушающего инструмента с забоем в горной породе под торцом инструмента формируется поле механических напряжений как результат объемно-геометрического суммирования напряжений от действия отдельных сил со стороны каждого породоразрушающего элемента.

Напряжения в горной породе могут возникать и без использования специальных породоразрушающих инструментов вследствие напора струи жидкости, при действии взрывной волны или расширяющихся при взрыве газов, гидравлического удара.

Разрушение может происходить в результате действия внутренних сил, возникающих под влиянием градиента температуры породы, задаваемого струей раскаленных газов, электрическим полем или электромагнитным излучением оптического диапазона малой частоты, вызванным лазером и др.

При термическом воздействии на горную породу происходит ее плавление с выделением газа.

Растворению водой подвержены соли.

Из некоторых руд, например золота, урана, меди, молибдена металлы извлекаются выщелачиванием, путем взаимодействия с кислотами, щелочами или растворами солей.

Для бурения используют также комбинированные способы разрушения горных пород, например термомеханический, когда породоразрушающий инструмент для бурения механическим способом нагревается до температуры, достаточной для пластического размягчения горной породы в призабойном слое. В данном случае интенсификация процесса разрушения достигается за счет наложения полей механических напряжений и температурного поля. Нагрев породоразрушающего инструмента производится за счет подачи электроэнергии, нагрева паром или различными

горелками.

Предварительные исследования показали, что скорость бурения термомеханическим способом может возрасти от 2 до 100 раз по сравнению с механическим без какой-либо значительной зависимости от степени износа резца.

3.2 Виды породоразрушающего инструментов.

Для бурения скважин сегодня применяется специальное оборудование, частью которого являются долота. Все они различаются по назначению, характеристикам, условиям использования. Разновидностей долот для бурения несколько, все они различаются между собой, рассмотрим некоторые из них.

При бурении скважин наибольшее распространение получили шарошечные долота. Ими ежегодно выполняется более 90 % объема проходки в нашей стране и за рубежом. По принципу действия это дробяще-скалывающие долота.

Наиболее распространен трехшарошечный вариант долота. Конструкция такого долота наилучшим образом вписывается в цилиндрическую форму скважины тремя коническими шарошками, при этом обеспечивается оптимальное центрирование и устойчивость работы долота. По принципу действия это долота дробяще-скалывающие.



Рисунок-1 шарошечное долото



Рисунок-2 Конструкция шарошечного долота

В отличие от шарошечных лопастные долота просты по конструкции и технологии изготовления.

Лопастные долота обеспечивают высокую механическую скорость в рыхлых, мягких и нецементированных породах. В таких породах проходки этими долотами за рейс достигают нескольких сотен метров, а в некоторых случаях даже 1500 — 2000 м. Но при этом в связи с неизбежной для таких больших интервалов глубин перемежаемостью пород (в том числе твердых и абразивных) часто наблюдается значительное уменьшение диаметра скважин, что приводит к необходимости расширения и проработки скважины перед спуском очередного долота. Кроме того, при бурении необходимо прикладывать к долотам большой крутящий момент. Режущие элементы долот находятся в постоянном контакте с породой и поэтому более интенсивно

изнашиваются по сравнению с шарошечными долотами.

Бурение лопастным долотом нередко сопряжено с опасностью значительного искривления ствола скважины, особенно если оно производится без применения центраторов, стабилизаторов и калибраторов. Это объясняется малой площадью контакта долота с забоем по сравнению с общей площадью поперечного сечения скважин, необходимостью передачи через него значительной осевой нагрузки, высокого крутящего момента, большой энергии, а также особенностями конструкции лопастного устройства.

3.3 Технология долот с фиксированными резцами

Современные долота с фиксированными резцами являются "наследниками" лопастных и колонковых долот с природными алмазами. Есть два типа долот с фиксированными резцами: стальные и с матрицей. Эти долота, классифицированные как долота, армированные природными алмазами, синтетическими поликристаллическими алмазами, гибридные долота и долота с импрегнированными алмазами, не имеют движущихся деталей или подшипников, а только лопасти. Импрегнированные долота имеют алмазы на поверхности лопасти и около нее. Природные алмазы размещают на долотах со стальными корпусами или предварительно размещают в отформованных карманах перед наплавлением карбид-вольфрамовых матриц долот. Вставки с синтетическими поликристаллическими алмазами можно устанавливать в стальные и в матричные долота.

Изготовление стальных долот из цельного материала устраняет необходимость в сварке и конструкционные элементы можно обработать на станке до обеспечения заданных допусков. режущие элементы устанавливаются путем запрессовывания в отверстия с плотной посадкой,

просверленные с помощью координатно-фрезерных станков с ЧПУ, которые так же растачивают главный канал, лопасти, прорези для шлама или каналы для жидкости, карманы для вставок с синтетическими поликристаллическими алмазами калибрующего венца, отверстия для насадок и резьбы.

Алмаз, являющийся самым твердым материалом, известным человеку, представляет собой почти чистый кристаллический углерод. Он в десять раз тверже стали, в два раза тверже и в 10 раз более устойчив к износу, чем карбид вольфрама, и в 20 раз прочнее на сжатие, чем гранит, имеет самый низкий коэффициент трения.



Рисунок-3 Природные алмазы

алмазы



Рисунок-4 Импрегнированные



4. КЛАССИФИКАЦИЯ ШАРОШЕЧНЫХ, PDC И АЛМАЗНЫХ ДОЛОТ ПО КОДУ IADC.

Код состоит из четырех символов, обозначающих конструкцию долота и тип горных пород, для бурения которых оно предназначено см Таблица...

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 долота (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 на 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.

Дополнительные характеристики:

A- долота для бурения с продувкой воздухом

B- специальная конструкция уплотнений

C- центральная насадка

D- специальная конструкция вооружения, минимизирующая отклонение ствола скважины

E- удлиненные насадки

G- усиленная защита козырьков лап наплавкой или твердосплавными зубками

H- долота для направленного или горизонтального бурения

J- гидромониторные долота для бурения с набором кривизны

L- калибрующие накладки на спинках лап, армированные твердосплавными зубками

M- долота для бурения с забойными двигателями

S- стандартные долота с фрезерованным вооружением

T- двухшарошечные долота

W- усовершенствованное вооружение

X- зубки преимущественно клиновидной формы

Y- зубки конической формы

Z- другие формы зубков

Таблица 4.1- Классификация IADC для шарошечных долот

1		2		3							4
Серия		Категория пород		Характеристика 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
			2								B
			3								C
			4								D
	2	Средние	1								E
			2								F
			3								G
			4								H
	3	Твердые	1								J
			2								K
			3								L
			4								M
Твердосплавное вооружение	4	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	N
			2								O
			3								P
			4								Q
	5	Средне-мягкие	1								R
			2								S
			3								T
			4								U
	6	средние	1								V
			2								W
			3								X
			4								Y
7	твердые	1	Z								
		2									
		3									
		4									
8	Очень твердые	1									
		2									
		3									
		4									

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

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 цифровой символ кода – профиль долота.

Таблица 4.2 Классификация IADC для PDC долот

Тип корпуса	Тип горных пород		Диаметр резцов PDC				Тип профиля			
			1	2	3	4	1	2	3	4
S- Стальной M- Матричный D- Алмазный	Очень мягкие	1		19	13	8	Короткий "рыбий хвост"	Короткий профиль	Средний профиль	Длинный профиль
	Мягкие	2								
	Средне-мягкие	3								
	Средние	4								
	Тип алмазов									
	Средне-твердые	6	Натуральные алмазы	Термически стойкие TSP	Комбинированные	Импрегнированные				
	Твердые	7								
	Очень твердые	8								

5. АНАЛИЗ ВЫБОРА ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ БУРЕНИИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД.

Введение.

В последние годы при бурении разведочных, эксплуатационных скважин, как в нашей стране, так и за рубежом, чаще всего, приходится иметь дело с плотными горными породами различного литологического состава, в основном с карбонатными.

Такие породы как, известняк и доломит относящиеся к классам твердости V-IX, чаще встречаются в горных массивах, и подвергаются процессу разрушения не всегда так, как исследовано. Сложные условия работы инструмента приводят к интенсивному изнашиванию элементов вооружения - резцов, системы промывочных устройств, потере диаметра. А причиной этому, служит неправильный выбор породоразрушающего инструмента, на запланированный интервал бурения с залеганием данных пород.

Правильный выбор инструмента должен обеспечивать необходимую скорость бурения, быть износостойким.

5.1 Анализ существующих методик проектирования шарошечных долот для бурения твердых пород.

Современные буровые долота являются дорогостоящим инструментом, это объясняется тем что, производители используют современные материалы, содержащие драгоценные металлы, высоколегированные стали, композитные твердые сплавы на основе карбида вольфрама, искусственные и натуральные алмазы, и прогрессивные технологии построенные на уникальных обрабатывающих производственных комплексах, что бы обеспечить конкурентные преимущества буровым долотам.

Основной объем бурения современных глубоких скважин осуществляют шарошечными долотами, так как они наиболее универсальны и могут использоваться в разнообразных геологических условиях. Рассмотрим некоторые предприятия, занимающиеся проектированием и производством буровых шарошечных долот.

Компания Halliburton занимается производством долот, при разных условиях бурения, в том числе интересующих нас, карбонатных твердых пород. В шарошечных долотах Halliburton DBS две основные конструкции подшипников. Подшипники скольжения и роликовые подшипники, используются в долотах размером от $4^{3/8}$ до $13^{3/4}$ и $14^{1/4}$ до 28 соответственно. Долота диаметром от $8^{1/3}$ до 28 оснащены подшипниками класса Premium, имеют два основных уплотнителя, с двухконтурной системой компенсации, увеличивающей срок службы, такая система на мой взгляд, является наиболее эффективной для предотвращения попадания выбуренных частиц в опору, за счет наличия второго внутреннего уплотнителя (рис5.1.1).

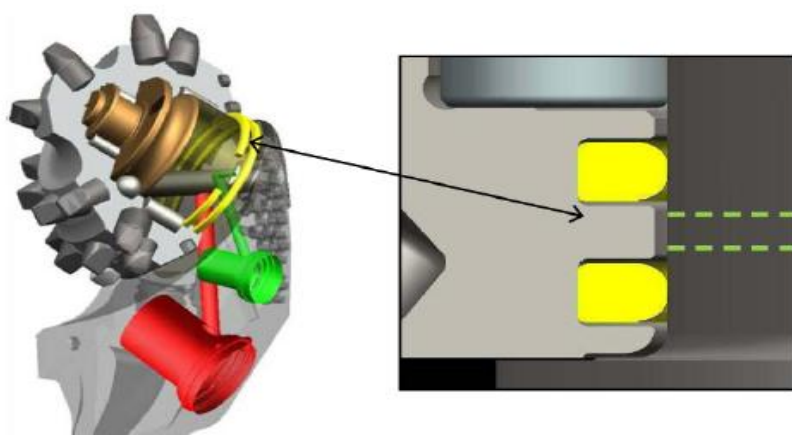


Рисунок 5.1.1- конструкция с двумя уплотнительными кольцами

При выборе геометрии как подшипников скольжения так и роликовых подшипников, используется специально программное обеспечение Ibits, которое учитывает профиль забоя, создает максимально приближенные условия скважины.

Технология Energy Balanced, функциональная особенность - предлагает сбалансированную нагрузку по всем трем шарошкам для равномерного разрушения породы, достигается эта технология посредством оптимизации размещения а анализа глубины внедрения основных и соседних элементов вооружения. Данная технология увеличивает срок службы чувствительных, контрольно-измерительных приборов и оборудования входящих в состав КНБК, за счет уменьшения уровня вибрации, так же повышается стойкость долота и механическая скорость проходки.

Конструктивные особенности долот: Имеют два типа вооружения, фрезерное и твердосплавное. Наличие фрезерованных зубков Claw Tooth со специально геометрией (рисунок 5.1.2), с проточками на вершинке, замедляет процесс его характерного износа, повышая показатели механической скорости проходки и срока службы вооружения. Вставки с твердосплавным вооружением, так же уменьшают износ калибра долота, улучшают качество ствола скважины и производительность в целом.

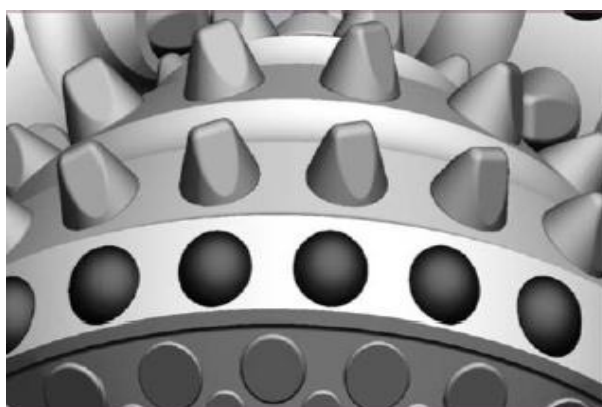


Рисунок 5.1.2-Зубки специально геометрии

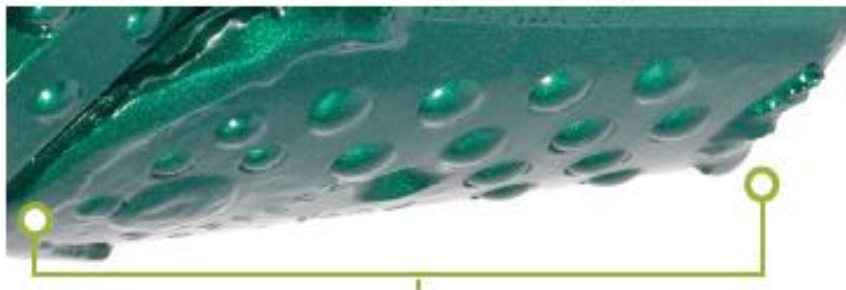
Похоже вооружение имеет компания Varel (рисунок 5.1.3). Она использует свою запатентованную технологию "hET", это особый процесс для улучшения характеристик твердосплавных вставок, которые имеют высокую износостойкость и ударную прочность. Данное вооружение

устанавливается на долота серии Compass, компании Varel, в размерах от $3^{3/4}$ до $7^{3/8}$, и подходят для разбуривания твердых пород, таких как доломит.



Рисунок 5.1.3- Зубки специально формы

Режущая структура специально разработана так, что бы повысить управляемость долота, мощная защита затылка лапы долота, существенно увеличивает срок службы долота при наклонно-направленном бурении. (Рисунок 5.1.4)



(Рисунок 5.1.4)- Усовершенствованная твердосплавная защита.

Усовершенствованная технология подшипников, применена посеребренная втулка опоры, посеребренная плавающая ударная шайба, направляющий штифт, и усовершенствованный твердосплавный материал для повышения износостойкости и ударопрочности (Рисунок 5.1.5)



Рисунок 5.1.5-Усовершенствования технология подшипников

Компания "БУРИНТЕХ" разрабатывает и производит буровое оборудование для бурения скважин. Основное внимание уделяется производству матричных PDC и импрегнированных алмазных долот. В современных условиях конкурентной борьбы, компания развивает новое направление - шарошечные долота, отвечающие запросам по качеству, и эффективности.

Основное вооружение инструмента: в отличие выше рассмотренных производителей, зубки имеют коническую и сферическую форму (Рисунок 5.1.6), это повышает прочность зуба на изгиб, рекомендуется для твердых и очень твердых пород. Оснащение вооружения алмазным покрытием повышает стойкость долота в абразивных породах, и предотвращает потерю диаметра.



Рисунок 5.1.6-зубки конической формы

Козырек и спинка лапы так же армируется алмазными зубками, отлично защищает при большом интенсивном наборе угла.(Рисунок 5.1.7) и уменьшает потерю диаметра за



Рисунок 5.1.7- Наличие алмазных зубков для более эффективной защиты лапы

Похожая система для защиты опоры долота от попадания выбуренных частиц, компании Halliburton, использование двух уплотнительных колец прямоугольного сечения.(Рисунок 5.1.8)



Рисунок 5.1.8- Использование двух уплотнительных колец для защиты лапы

Втулки и шайбы из особо прочного сплава, покрытые серебром, уменьшают коэффициент трения и повышают ресурс опоры. (Рисунок 5.1.9) Лабиринтное уплотнение со специальным изогнутым пазом предотвращает проникновение абразива к элементам опоры.



Рисунок 5.1.9- Втулки и шайбы из особо прочного сплава

5.2 Анализ существующих методик проектирования PDC долот для бурения твердых пород.

Обладая высокой износостойкостью и работоспособностью, лопастные долота PDC обеспечивают кратное увеличение проходки за долбление, повышая при этом механическую скорость бурения. Заметным преимуществом PDC долота перед шарошечными заключается в его износостойкости и отсутствие в конструкции подвижных частей что так же повышает прочность долота. Даже при деформации такие долота можно ремонтировать и вновь запускать в работу. Механизм разрушения горной породы срезом в 2 раза эффективнее сжатия, и, соответственно, механическая скорость проходки для долот PDC должна быть выше. Разработка новых форм и профилей лопастей ведёт к улучшению управляемости долотами при наклонно-направленном бурении. А разработки в области резцов PDC позволяют бурить все более твердые и абразивные породы.

Компания Halliburton предлагает свою линейку PDC долот класса Perfomance для бурения сильно абразивных пород, оснащенную самими современными технологиями.

Совершенно новое проектирование поликристаллических алмазных резцов X3 Series Данное вооружение имеет очень высокую стойкость к абразивному износу, способность сводить к минимуму потерю алмазного слоя. Не мало важную роль играет термомеханическая целостность, в технологии SelectCutter, имеет улучшенное противостояние теплоте трения, выделяющегося в процессе бурения, такой эффект получается при повышении свойств алмазной спайки.

Усовершенствованная геометрия лопастей, спроектированная в программе DatCI, и изготовленное на станках с ЧПУ отличается от долот изготовленных вручную (Рисунок 5.2.1), было оптимизировано расположение

резцов и насадок, для эффективного разрушения и удаления шлама с призабойной зоны.

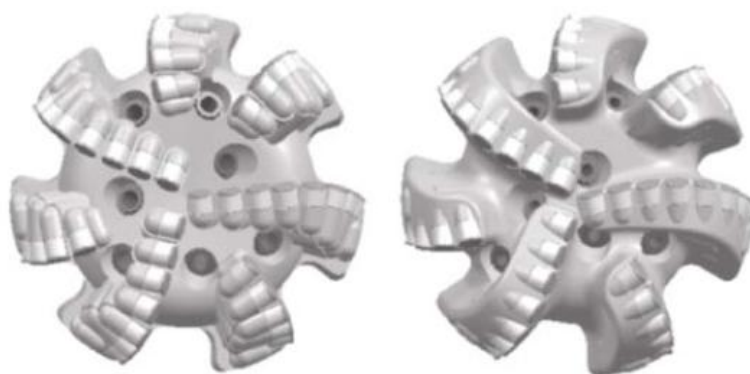


Рисунок 5.2.1- Усовершенствованная геометрия лопастей

Долота серии FX на мой взгляд, самые эффективные для бурения твердых пород и во многом преобладают перед шарошечным инструментом, за счет высокой износостойкости, и сокращения времени на СПО



Технология изготовления резцов X3 Series

Улучшенная геометрия лопастей

Эффективная гидравлика

Материал корпуса высшего качества

Серия долот Diamond Edge (Рисунок 5.2.2) компании Varel, запатентованная конструкция, способная показывать высокие механические скорости, у условиях повышенной абразивности.



Рисунок 5.2.2- Конструкция долота Diamond Edge

Действительно, благодаря наличию вооружения, собственного производства, изготовленного в сопровождении ряда запатентованных испытаний, таких как, "акустически эмиссионный тест на ударопрочную вязкость" и второй способ испытаний, названный "Бимодальный тест на абразивную прочность". Эти испытания позволяют определить точную количественную оценку прочности алмазосодержащей композиции, в ходе теста к алмазной поверхности прилагается нагрузка (Рисунок 5.2.3), постепенно равномерно увеличивающаяся до момента фиксации акустических возмущений, свидетельствующих об образовании микротрещин в алмазной пластине.

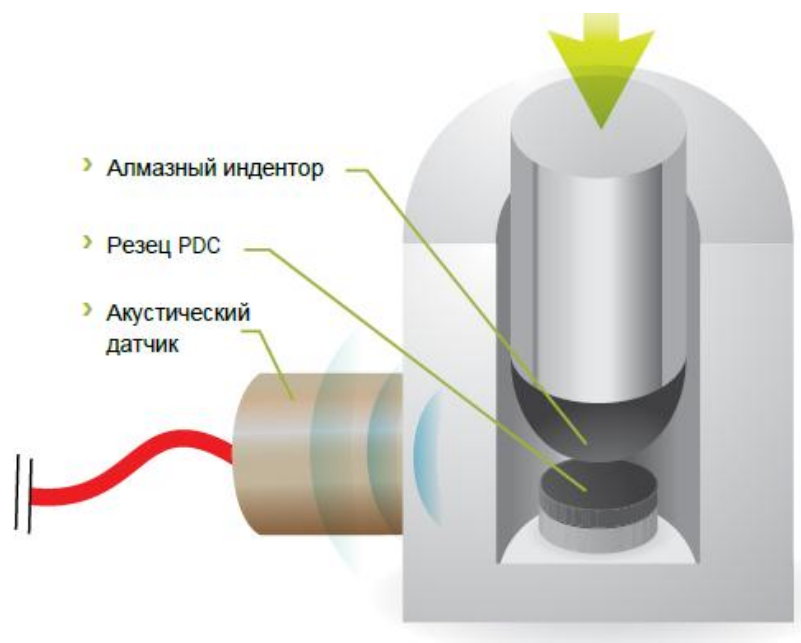


Рисунок 5.2.3- Акустический эммиссионный тест на ударпрочность

Тест на устойчивость абразивному износу (Рисунок 5.2.4), это методика лабораторных испытаний образцов на двух, резко отличных друг от друга образцах породы, многократная смена "искусственного забоя" создает циклические нагрузки на резец, имитирующие чередование пропластков горных пород в скважине.

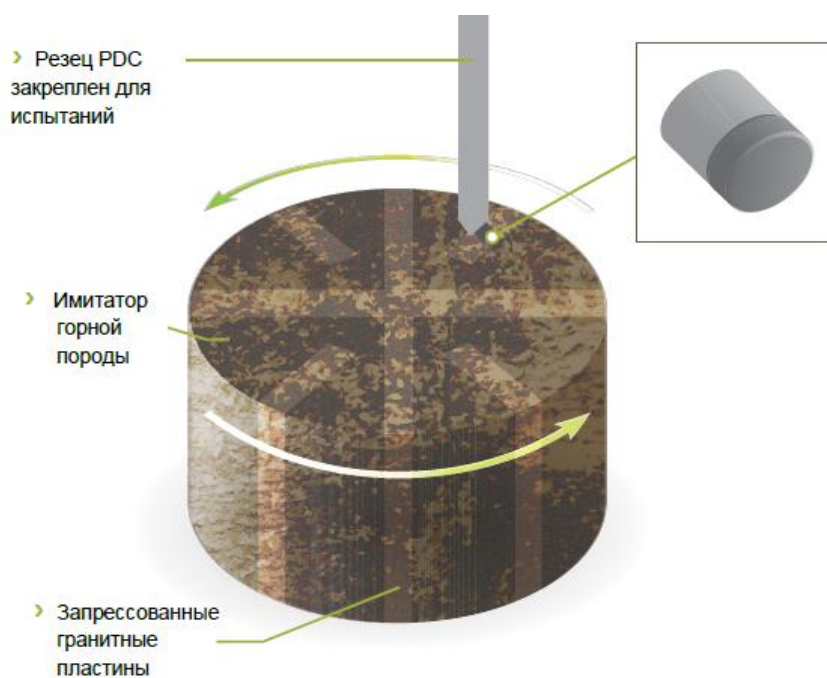


Рисунок 5.2.4-Бимодальный тест на абразивную устойчивость

Компания "БУРИНТЕХ" предлагает серию долот для твердых, средне-твердых пород. Оснащенных резцами (Рисунок 5.2.5) повышенной ударо- и абразивостойкости, конструкция разработана в специальном программном обеспечении, имеющимся у компании (Рисунок 5.2.4) которые позволяет максимально точно определить, углы расположения внедрения резцов в породу.

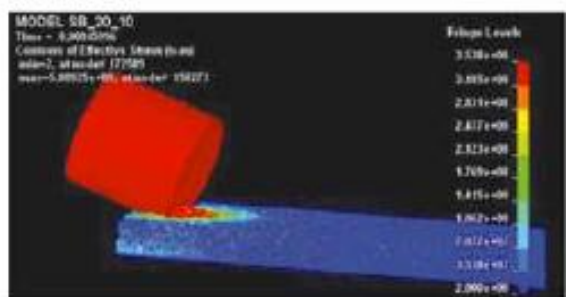


Рисунок 5.2.4-Угол расположения резца



Рисунок 5.2.5- Резцы повышенной прочности

С целью повышения стабильного поведения долота на забое применена спиральная форма лопастей (Рисунок 5.2.6), активная калибрующая части дает возможность бурить значительные интервалы без потери диаметра



Рисунок 5.2.6- Спиральная форма лопастей

Набор конструктивных решений, воплощенных в этих долотах, позволяет получить максимальные значения скорости проходки и отличную управляемость при бурении как вертикальных, так и наклонно-направленных скважин.

5.3 Анализ выбора шарошечного долота на примере рабочего проекта на строительство поисково-оценочной скважины №1 Верхнекамовской площади.

Рабочий проект на строительство №15-РП-232/08 поисково-оценочной скважины №1 Верхнекамовской площади, ОАО "ГАЗПРОМ".

На Примере данного проекта, рассмотрим геологическую часть и подберем шарошечный породоразрушающий инструмент, для интервала бурения 550-2320м. (Таблица 5.3.1)

Таблица 5.3.1- Физико-механические свойства горных пород.

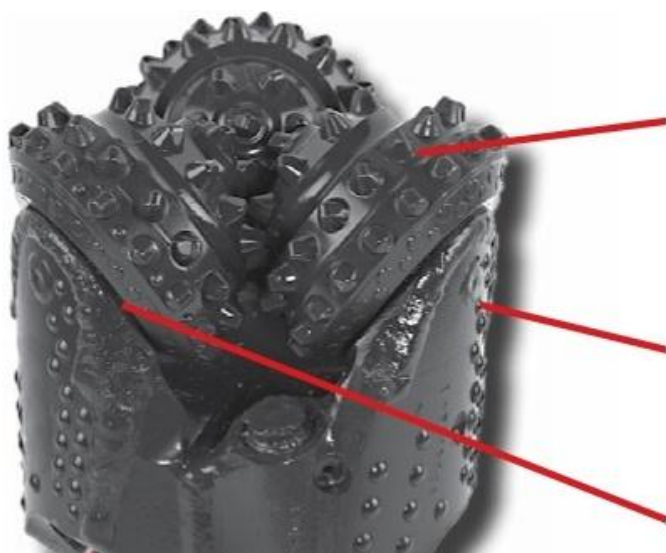
Интервал		Краткое название породы	Твердость кгс/мм ²	Абразивность	Категория пород по промысловой классификации (М,С,Т и тд)
от	до				
530	665	Доломит	4-6,5	4-5,5	СТ
		Каменная соль	3,5	2	М
665	1095	Доломит	3,5-7	4-5,5	СТ
		Каменная соль	3,5	2	М
1095	1495	Доломит	6,5	5,5	СТ
		Известняк	6,5	5,5	СТ
1495	1745	Доломит	5,5-7	5-5,5	СТ
		Известняк	5,5-7	5	СТ
1745	2295	Доломит	6	5-5,5	СТ
		Каменная соль	3,5	2	М

Как мы видим, в данном интервале бурения залегают породы средней твердости с пропластками твердых , средней абразивности. Исходя из данных, долото 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 вооружения при абразивном изнашивании должна быть не менее стойкости опоры.

В интервале бурения 550-2320м под промежуточную колонну, применимо шарошечное долото типа СТ, по международной классификации буровых подрядчиков IADC 635X. Шарошечное долото HALLIBURTON DBS (Рисунок 5.3.1), с твердосплавным вооружением. Выбор обусловлен наличием в пачке известняка и доломита твердости (5,5-7). Наличие твердосплавных зубков клиновидной формы с 33% алмазного покрытия, обеспечат оптимальное разрушение пород средней твердости с пропластками твердых. Повышенная прочность лап корпуса, и дополнительная система уплотнения, увеличивает срок службы инструмента. Ориентированные насадки и дизайн лап обеспечивают эффективную промывку, и способствуют генерации спирального потока, выносящего шлам, что минимизирует его скопление в области уплотнения подшипника. Срок службы долота, достаточно высок, и обеспечит прохождение данного интервала, без дополнительных СПО.



Увеличенная надежность
подшипника

Мощная конструкция лап

Повышенная надежность
уплотнителя

Рисунок 5.3.1- Долото HALLIBURTON DBS

5.4 Анализ выбора PDC долота на примере рабочего проекта на строительство поисково-оценочной скважины №1 Платоновской площади.

Рабочий проект на строительство поисково-оценочной скважины №1 Платоновской площади, ОАО "ГАЗПРОМ".

На Примере данного проекта, рассмотрим геологическую часть и подберем долото PDC для интервала бурения 2420-3000м. (Таблица 5.4.1)

Таблица 5.4.1- Физико-механические свойства горных пород

Интервал		Краткое название породы	Твердость кгс/мм ²	Абразивность	Категория пород по промышленной классификации (М,С,Т и тд)
от	до				
2410	2460	Доломит	7,5	6	Т
2460	2520	Доломит	7,5	6	Т
2520	2610	Доломит	8	8	Т
		Аргиллит	3,5	4,5	Т
2610	2815	Алевролит	6	6	Т
		Песчаник	7,5	7	Т
2815	3000	Доломит	7,5	6	Т

Как мы видим, в данном интервале бурения залегают породы промышленной классификации Т - это твердые абразивные породы . Исходя из данных, долото должно удовлетворять следующим условиям:

1. Соответствовать твердости горных пород
2. Обеспечивать наиболее высокую область разрушения пород по сравнению с альтернативными долотами.
3. Требование к устойчивости резцов к ударным нагрузкам и абразивному износу, так же термостойкости и повышенной ударной вязкости.

В интервале бурения 2420-3000м под эксплуатационную колонну, применимо PDC долото типа Т. Компания Varel предлагает

породоразрушающий инструмент серии Diamond Edge (Рисунок 5.4.1) - это семи лопастное долото PDC, предназначено для бурения твердых пород. Большое количество лопастей и их асимметричное расположение, обеспечивают минимальную вибрацию на забое, так же повышает производительность каждого алмазного резца. Способно выдержать высокие нагрузки, и сохранить целостность вооружения. Вооружение долота подвергалось лабораторным испытаниям, "бимодальный тест на абразивную устойчивость", что не мало важно для нашего интервала бурение, где преобладают твердые абразивные породы. так же долото оснащено выбуривающими резцами и противоударными вставками из карбида вольфрама, для лучшей защиты.



Рисунок 5.4.1- PDC долото серии Diamond Edge