

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Глава 1 Анализ существующих конструкций бурового инструмента и теория разрушения горных пород	6
1.1 Конструкции и особенности бурового инструмента	6
1.2 Лопастные долота, их разновидности, конструктивные особенности, области применения.....	8
1.3 Буровой инструмент с применением пластин PDC	12
1.4 Теоретические основы способов разрушения горных пород при бурении скважин	15
1.4.1 Вращательное бурение	15
1.4.2 Ударное бурение	20
1.4.3 Комбинированное (с вращательным) механическое разрушение горных пород	20
1.4.4 Вибрационное бурение	22
1.4.5 Шароструйное бурение	23
1.4.6 Основные принципы и закономерности разрушение горных пород при бурении	25
1.4.7 Формирование зоны предразрушения при механическом разрушении горных пород	36
1.4.8 Основы динамики работы бурового инструмента	41
Выводы	47
Глава 2 Построение модели шестилопастного бурового инструмента с применением пластин PDC	48
2.1 Вводная часть	48
2.2 Начало работы в программном комплексе SolidWorks	49
2.3 Построение эскиза лопасти бурового инструмента	51
2.4 Построение трехмерной модели лопасти бурового инструмента ...	54
2.5 Преобразование исходной модели лопасти с использованием вспомогательной геометрии.....	56

2.6 Построение связующего звена между лопастями	65
2.7 Создание сборки из шести лопастей бурового инструмента	67
2.8 Построение цилиндрических деталей бурового инструмента и их составляющих.....	73
2.9 Компоновка единой сборки бурового инструмента.....	79
Выводы	85
Заключение	86
Список использованных источников	87

ВВЕДЕНИЕ

Для бурения скважин различного назначения в мягких горных породах и породах средней твердости, а также частично в твердых породах применяются долота с поликристаллическими алмазно-твердосплавными пластинами типа PDC (polycrystallinediamondcutters) Stratapax (GeneralElectric, США). Производители долот постоянно совершенствуют свои изделия. По мере увеличения потребности в долотах, обеспечивающих повышение проходки и бурение технически сложных скважин, буровая отрасль ожидает, что производители смогут предоставить долота, способные работать с максимальной эффективностью и минимальными затратами.

В настоящее время существует множество конструкций и методик построения бурового инструмента как шарошечного, так и лопастного для всех видов разрушения горных пород, однако нет методики проектирования бурового инструмента с применением пластин PDC или заводы-производители не публикуют данные методики, что весьма осложняет обучение студентов. Отмеченные обстоятельства обуславливают актуальность темы исследования.

Целью данной работы является разработка последовательности построения твердотельной 3D модели бурового инструмента с применением пластин PDC, которая может в дальнейшем помочь в разработке методических пособий по проектированию данного бурового инструмента.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

ознакомление с существующими конструкциями бурового инструмента;

ознакомление с возможностями программного комплекса SolidWorks;

разработка конструкции шестилопастного бурового инструмента с применением пластин PDC;

разработка технической документации шестилопастного бурового инструмента с применением пластин PDC.

Глава 1 Анализ существующих конструкций бурового инструмента и теория разрушения горных пород

1.1 Конструкции и особенности бурового инструмента

Буровой инструмент – это инструмент, предназначенный для бурения скважин.

Процесс бурения скважины сопровождается разрушением горной породы различными методами. Данные методы классифицируются в зависимости от того, вращается ли долото, подвергается ли оно удару, или происходит совмещение, т.е. комбинирование этих процессов. Исходя из этого, различные виды бурения получили такие названия, как вращательный, ударный, ударно-поворотный, вибрационный и другие. Также существует такой достаточно особый способ бурения – задавливание. Разрушение породы можно произвести и без механического влияния, например, под воздействием тепловых, электрических, высокочастотных, электромагнитных и других полей. Тогда здесь вместо долот будут использоваться соответствующие буровые устройства: плазмо- и термо-буры, лазеры и другие наконечники.

По назначению буровой инструмент можно разделить на:

- породоразрушающий (инструмент, применяемый непосредственно для бурильных работ, который разрушает горные породы для получения шпура или скважины, отбора керна);
- технологический (инструмент, используемый непосредственно при бурении скважины);
- вспомогательный (инструмент, используемый при обслуживании технологического инструмента);
- аварийный (инструмент, применяемый для устранения неполадок и аварий в скважинах).

Режим бурения, который называется технологический, применяется в зависимости от следующих характеристик: свойства горной породы, глубины скважины, определенного разрушающего породу бурового инструмента, а также бурового оборудования.

Бурильные инструменты имеют свое предназначение в том, что они применяются для бурения различных скважин, в различных горных породах, а также на разные глубины. Экономическая эффективность буровых работ напрямую зависит от качества инструмента, правильности его применения.

В действительности, понятие бурильного инструмента имеет очень широкий охват, в нем можно выделить очень много различных наименований: коронки, долота, переводники, ключи, хомуты и т.д. Из этого краткого перечня можно сделать вывод о том, что для каждого вида бурильного инструмента имеется своя функция, т.е. он должен применяться по своему прямому назначению. В случае поломки или отсутствия какого-либо инструмента, возможна остановка буровых работ, что является очень нежелательным и приводит к увеличению общего времени на бурение.

Итак, **породоразрушающий инструмент** для бурения скважины разделяется по характеру воздействия на породу на долота:

- ударно-дробящего действия (*двух- и трех- шарошечные* буровые долота), разрушение породы которыми происходит за счет перекатывания зубьев шарошек по забою с нанесением ударов;
- дробяще-скалывающего действия (*дисковые* буровые долота), разрушающие породу дроблением и скалыванием за счет ударного и скалывающего воздействия зубьев на забой;
- режуще-истирающего (режуще-скалывающего) действия (*лопастные* буровые долота, которые также являются алмазными) и инструмент, армированный синтетическими и сверхтвердыми материалами, используемые для бурения пластичных горных пород за счет срезания тонкого слоя породы при внедрении в нее резцов.

На практике при глубоком бурении применяется 2 основных вида бурения: шарошечное и лопастное (рис.1).

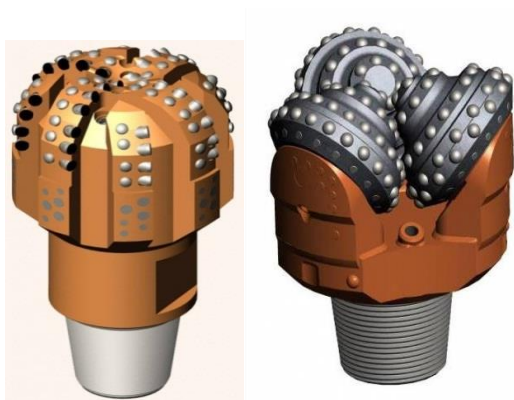


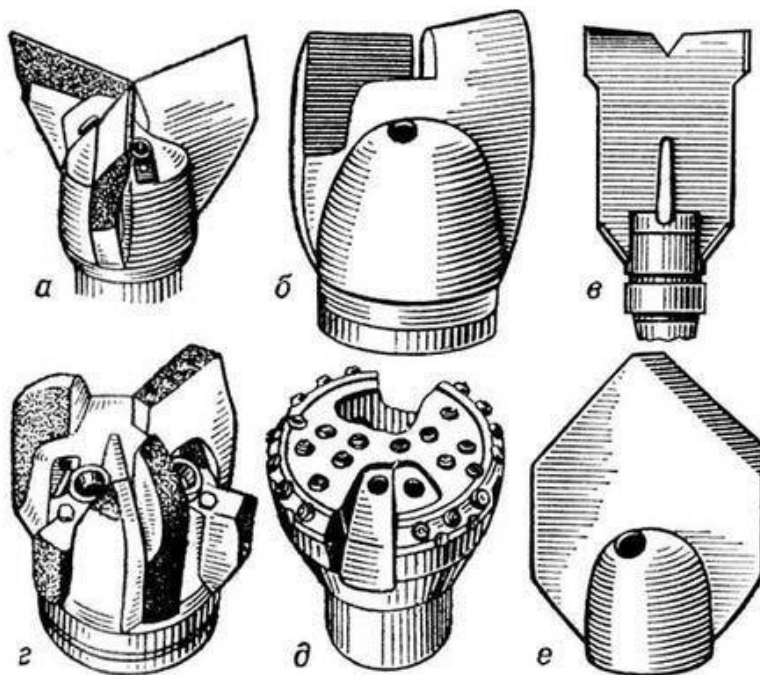
Рисунок 1 – Шарошечное и лопастное долото

Наиболее широкое применение нашли инструменты на основе шарошечного бурения, но в связи с возможностью встречи с трещиноватыми и осадочными породами буровой инструмент его эффективность снижается и резко падает надёжность.

Применение лопастных буров позволило более эффективно работать в различных условиях горных пород с минимальной вероятностью заклинивания или заштыбовки рабочей части.

1.2 Лопастные долота, их разновидности, конструктивные особенности, области применения

Долота лопастные изготавливаются двух основных типов: М и МС, которые используются для разбуривания рыхлых, мягких, связных и слабосцементированных горных пород. Конструктивно лопастные долота состоят из корпуса и различных лопастей со сплошной режущей кромкой (рис. 2).



Лопастные долота:
 а — трёхлопастное;
 б — двухлопастное;
 в — типа «РХ»;
 г — истирающе-
 режущего типа «ИР»;
 д — фрезерное типа
 «ФР»;
 е — пикообразное.

Рисунок 2 – Лопастные долота

В верхней части корпуса лопастного долота нарезается присоединительная резьба, в нижней части корпуса лопастного долота просверливаются промывочные сквозные отверстия для подачи на забой промывочной жидкости. Рабочие поверхности лопастей, например, боковые калибрующие поверхности обычно покрываются релитом или чугуном.

Выполняются лопастные долота двух-, трёхлопастными с обычной системой промывки или с гидромониторной. Значительное увеличение скорости проходки можно получить при бурении лопастными долотами, применяя долота с промывочными отверстиями, обеспечивающими истечение жидкости из них со скоростью 60-125 м/с.

Такие долота, называются гидромониторными, и получили они свое применение с середины 40-х годов. Гидромониторная система промывки включает в себя промывочное отверстие, армированное гидромониторным узлом с керамической или твердосплавной насадкой.

При всем этом следует помнить, что при бурении скважин находят некоторое применение и долота одношарошечные, которые предназначены

для низкооборотного роторного бурения в породах средней твердости. Относятся одношарошечные долота к долотам режуще-скалывающего действия (хотя шарошечные долота относятся к породоразрушающим инструментам дробяще-скалывающего действия и в основном применяются трехшарошечные долота).

Буровой инструмент лопастного типа в настоящее время широко применяется в нефтяной промышленности для глубокого бурения. Развитие направления бурения лопастными бурами нашло свое применение на основе использования армирования режущей части твёрдосплавными пластинами с алмазным покрытием и в настоящее время основной поставщик таких типов буров «Schlumberger». Предварительные исследования теории резания с использованием пластин твёрдого сплава с отрицательным углом резания показывает значительное увеличение энергоёмкости в процессе резания пород различной крепости. Анализ производительности при разработке скважин глубокого бурения показывает, что подача на единичный резец лопастного бура не превышает 1 мм. Минимальная величина скола породы единичным инструментом приводит к значительному увеличению энергоёмкости процесса бурения.

При разработке рудных месторождений в горной промышленности применяются поворотные резцы различных конструкций (рис.3).



Рисунок 3 – Конструкции поворотных (вращающихся) резцов

Разработка специального инструмента на основе применения поворотных резцов связана с техническими трудностями установки конструкции держателя на режущем долоте. Разработка специального резца малой формы и решение вопроса удержания резца в резцедержателе с возможностью вращения в процессе работы, на основе применения современных технологий и материалов позволили разработать специальную буровую коронку, оснащённую поворотными резцами (рис.4).

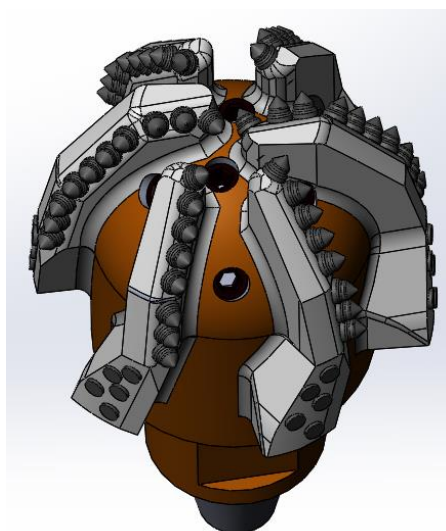


Рисунок 4 – Лопастное буровое долото с армированием поворотными резцами

Использование твёрдосплавных вставок в корпусе резцедержателей поворотных резцов для горной промышленности оправдано, наличием массивных рабочих органов горных комбайнов, но в стеснённых условиях забоя скважины, требования к армированию лидирующей части значительно выше. В существующих конструкциях лопастных буровых инструментах широко применяется комбинированные вставки и в частности с алмазным упрочнением.

Разработка специального инструмента для эффективного бурения горных пород основывается на теории резания поворотными резцами, широко применяемые как на проходческих комбайнах, так и на буровом инструменте строительного назначения.

Достоинствами данной коронки являются меньшая энергоёмкость процесса резания, возможность разрабатывать породы большой крепости до VII категории включительно, работа с пластичными грунтами и породами, работа в трещиноватых породах. Кроме того, конструкция буровой головки позволяет производить замену твёрдого сплава в условиях простых мастерских без применения специального оборудования и технологии (ТВЧ, пайка).

Преимущества и отрицательные стороны лопастных долот

Достоинства:

- Простое строение;
- Высокий уровень производительности;
- Минимальные энергозатраты;
- Большая механическая скорость;
- Невысокая стоимость;
- Отличное качество;
- Стопроцентная эффективность.

Недостатки:

- Непроизвольное уменьшение скважинного ствола при бурении;
- Постепенное изнашивание лопастей по причине контактов стволов скважин;
- Неконтролируемое искривление вследствие неудачной центрируемости.

1.3 Буровой инструмент с применением платин PDC

Визуально буровые долота PDC напоминают шарошечные долота, однако отличаются от них весьма принципиальным моментом, а именно – отсутствием подвижных деталей конструкции. Такая характеристика породоразрушающего инструмента как монолитность обладает своей

положительной чертой – отсутствием риска потери частей инструмента в скважине.

Используемый способ разрушения породы за все время своего существования продемонстрировал достаточно высокие показатели эффективности: срезание породы может обеспечить гораздо более высокую скорость бурения и показатель проходки на долото по сравнению с методикой дробления. Все эти факторы способствуют снижению количества спускоподъемных операций при проведении работ.

Современные разработки в области данного вида бурения и бурового инструмента постоянно представляют все новые решения в области используемых форм, резцов и лопастей долота PDC. Постоянное совершенствование инструмента привело к тому, что он позволяет не только бурить породы со все более значительными показателями крепости, но и применяться для бурения в условиях переслаивания горных пород.

Буровые долота PDC различаются в зависимости от типа используемого основания на два основных вида: стального (при котором поликристаллические вставки зафиксированы в нем с помощью пайки) или матричного (при котором поликристаллические алмазы фиксируются в порошковую матрицу).

Долота PDC со стальным корпусом

Распределение на категории разбуриваемых пород:

- мягкие;
- мягкие, с пропластками средней твердости;
- средние;
- средние, с пропластками твердых.

По области применения долота PDC подразделяются на две продуктовые линии:

- FD — долота для бурения сплошным забоем вертикальных и наклонно-направленных скважин;

- ВД — бицентричные долота для бурения с одновременным расширением ствола скважины.

Долота PDC обладают высокой износостойкостью и работоспособностью, что по сравнению с трехшарошечными долотами обеспечивают кратное увеличение проходки при высокой механической скорости бурения.

Долота PDC с матричным корпусом

Серия FDM разработана для бурения скважин в осложненных горногеологических условиях, а также бурения протяженных интервалов, где проходка за один рейс является ключевой задачей для заказчика.

Данная серия объединяет в себе технологическую эффективность и значительный ресурс, а также все преимущества долот PDC с матричным корпусом.

Конструкция, разработанная для конкретных условий бурения, позволяет использовать их с различными компоновками низа бурильной колонны, для бурения вертикальных, наклонно-направленных и горизонтальных участков скважин.

Особенностями серии FDM являются:

- высокая абразивная и эрозионная износоустойчивость;
- тип режцов специально разработан для увеличения стойкости долота без ущерба в скорости;
- спиральная форма лопастей, обеспечивает оптимальный контакт со стенками скважины и уменьшение крутильных вибраций, увеличивая срок службы долота; антивибрационные вставки уменьшают негативное воздействие вибраций, предотвращая преждевременный выход из строя вооружения долота;
- антисальниковое покрытие, основанное на использовании нано технологий для предотвращения образования сальника;

- улучшенная защита калибра за счет использования TSP вставок, вставок с натуральными алмазами, а также вставок с PCD покрытием для защиты диаметра долота;
- оптимальная гидравлика за счет применения различных схем промывки долота, в том числе с увеличенным количеством насадок;
- возможность установки дополнительного ряда резцов позволяет добиться высокой эффективности вооружения, обеспечивая высокие производственные показатели в широком диапазоне сложных интервалов бурения.

Значительным преимуществом буровых долот PDC перед классом шарошечного породоразрушающего инструмента является гораздо более высокий показатель износостойкости. Кроме того, такие долота пригодны к ремонту в случае их повреждения. В значительной части случаев деформация PDC долот связана с нагрузками ударного типа, что требует выбора и использования оптимального режима бурения.

Среди преимуществ данного вида инструмента можно выделить тот факт, что при его использовании требуется меньшая осевая нагрузка. При этом необходимо учитывать, что увеличение механической скорости бурения сопряжено с увеличением количества разрушаемой за один оборот породы и, как следствие, увеличения крутящего момента и растущей потребности в энергии для совершения работы. Для определенного вида буровых установок подобный фактор может привести к снижению качества результатов использования PDC долота.

1.4 Теоретические основы способов разрушения горных пород при бурении скважин

1.4.1 Вращательное бурение

а) Вращательное бурение резовым твердосплавным инструментом (лопастными долотами, твердосплавными коронками).

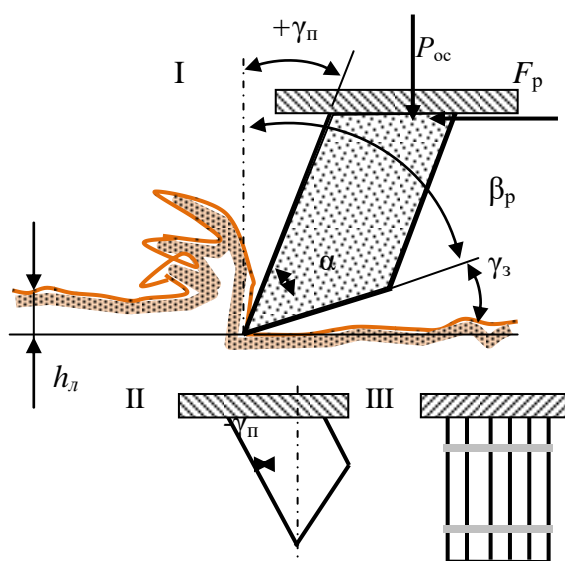


Рисунок 5 - Схема параметров вооружения

Данный способ и инструменты предназначены для бурения мягких и средних по твердости горных пород как при роторном (с вращением бурильной колонны) бурении, так и бурении забойными двигателями – турбо-, электробурами, винтовыми забойными двигателями.

Реализуются резание и скалывание под действием: $P_{ос}$ – осевого усилия и F_p – усилия резания (рис. 5).

Параметры реза:

α – угол приострения реза;

γ_{π} – передний угол реза;

γ_z – задний угол реза;

β_p – угол резания.

Основные формы резцов:

I – с положительным передним углом;

II – с отрицательным передним углом;

III – самозатачивающийся резец.

б) Вращательное бурение буровым инструментом с резами из композиционных алмазосодержащих материалов и поликристаллических алмазов.

Применяется для бурения мягких, горных пород средней твердости с пропластками твердых при роторном бурении и бурении турбо-, электробурами, винтовыми забойными двигателями.

Элементом вооружения являются вставки из композиционного материала славутич или алмазно-твердосплавные пластины *PDC* (*polycrystalline diamond cutters*) *Stratapax* (*General Electric*, США), *Sindit* (*De Beers*, ЮАР), алмазно-твердосплавные пластины – АТП (ИСМ и ВНИИалмаз, Украина и Россия соответственно).

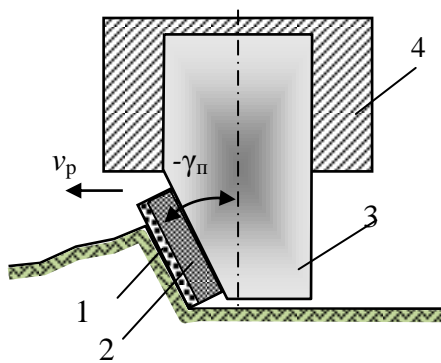


Рисунок 6 - Резец с пластиной PDC: 1 – слой поликристаллических алмазов; 2 – подложка из твердого сплава; 3 – твердосплавная опора; 4 – корпус коронки

пластинки.

с) Вращательное бурение алмазным однослойным инструментом

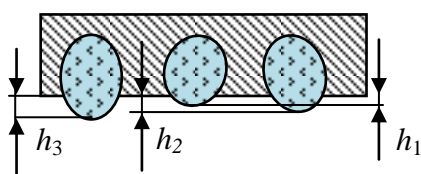


Рисунок 7 - Овализованные алмазы в матрице коронки

Пластинами PDCоснащают резцы бурового инструмента, предназначенные в основном для бурения мягких пород и пород средней твердости. Передний угол резцов с PDC $\gamma_{\text{п}}$ изменяется от -5° до -25° (рис. 6).

При бурении пластично-хрупких пород разрушение осуществляется вдавливанием, резанием и сдвигом. При бурении хрупких пород (твердых) наблюдается раздавливание и скалывание породы алмазными резцами

(рис. 7)(алмазные долота, головки, коронки). Применяется для бурения горных пород средней твердости и твердых.

При бурении алмазным инструментом реализуются смятие, раздавливание, резание, скалывание породы.

Основная форма резцов:

- дробленый (необработанный) алмаз (по мере износа приобретает овальную форму);
- округлый – овализованный алмаз;
- округлый – полированный алмаз.

Размер резцов определяется зернистостью используемых алмазов.

Зернистость алмазов изменяется в основном от 5 – 10 до 150 – 200 шт. на карат (1 карат = 0,2 г). Соответственно размер зерен от 3 – 2,5 мм до 0,8 и менее.

Овализованные и полированные алмазы реализуют в основном раздавливание, необработанные алмазы с острыми гранями резание-скалывание. Для повышения эффективности разрушения алмазы в коронках

могут устанавливаться ориентированно наиболее твердыми гранями в направлении резания-скалывания.

При повышении размера алмаза процесс разрушения видоизменяется от резания к скалыванию, далее к раздавливанию и к упругому деформированию.

Более крупные и дробленые алмазы применяют для бурения менее твердых горных пород, более мелкие, овализованные и полированные, для бурения твердых и крепких горных пород.

Алмазный резец закреплен в твердосплавной матрице (WC+Co) и для эффективного разрушения может выступать из матрицы на высоту, в основном, не превышающую $\frac{1}{3}$ диаметра алмаза.

Алмазный инструмент характеризуется разновысотностью резцов ($h_1 \neq h_2 \neq h_3$ на рис. 7), которая максимальна на начальном этапе бурения – приработке инструмента.

Для повышения эффективности разрушения горных пород алмазный инструмент изготавливают с заданным выступанием алмазов из матрицы.

Для эффективного разрушения горной породы необходимы высокие значения частоты вращения инструмента (800–1000 мин⁻¹).

д) Вращательное бурение алмазными импрегнированными коронками. Применяется для бурения твердых и очень твердых горных пород. При бурении реализуется истирание, микрорезание.

Для эффективного разрушения горной породы необходимы высокие значения частоты вращения инструмента (1000 мин⁻¹ и более).

Для изготовления инструмента применяют природные и искусственные алмазы минимальных размеров. Размер зерна 0,9–0,5 мм (зернистость 150 и более шт./кар.).

е) Вращательное бурение дробовыми коронками (дробью).

Применяется для бурения твердых и очень твердых горных пород. Реализуется смятие, раздавливание, скалывание.

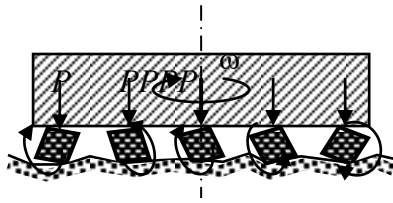


Рисунок 8 - Схема работы дробовой коронки

Схема работы дробовой коронки показана на рисунке 8. Дробовое бурение в значительном объеме применялось до периода широкого использования алмазного инструмента.

f) Вращательное бурение шарошечными долотами.

1) Инструмент дробящее-скалывающего действия (рис. 9).

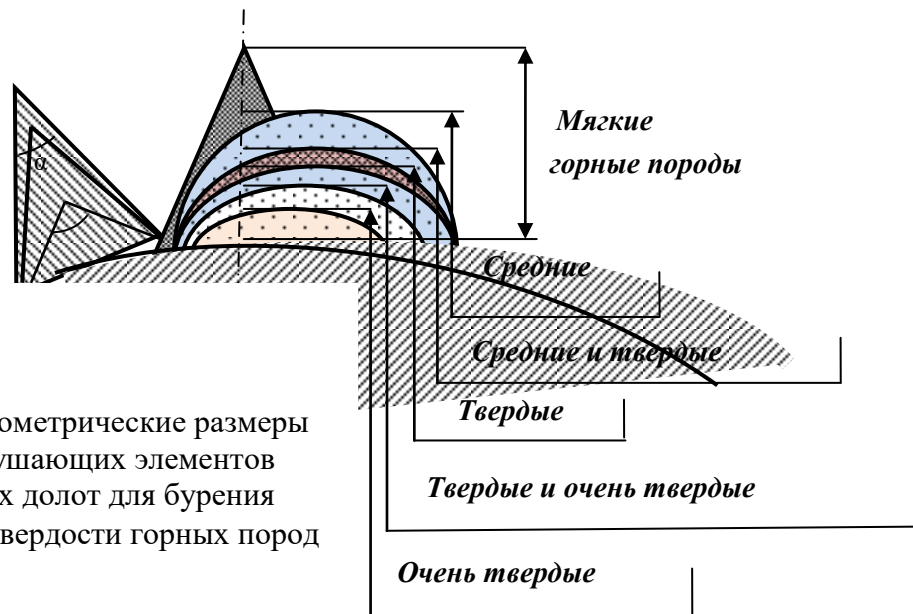


Рисунок 9 - Геометрические размеры породоразрушающих элементов шарошечных долот для бурения различных по твердости горных пород

Способ предназначен для бурения горных пород как мягких, так и средней твердости, твердых и самых твердых. При бурении реализуются раздавливание, дробление, скалывание, резание породы при проскальзывании шарошек.

Этапы разрушающего действия:

- косой удар – скалывание породы под действием усилия P_y ;
- раздавливание породы и углубление лунки под действием усилия P_z ;
- происходит скалывание и подрезание породы при проскальзывании в направлении вращения шарошки.

По мере увеличения твердости горных пород от мягких до средних угол приострения α клиновидных зубьев увеличивается от $30-40^\circ$ до $80-90^\circ$, а размер породоразрушающих зубьев и вставок уменьшается (рис. 9). Для

бурения твердых и очень твердых пород используются овальные и шарообразные твердосплавные вставки.

2) Инструмент безударного раздавливающего действия.

При бурении дисковые долота, вращаясь, перекатываются по забою и острыми ребрами шарошек раздавливают породу под действием осевого усилия и развиваемых в породе контактных напряжений.

3) Инструмент с зубчато-дисковыми шарошками.

Реализует разрушение мягких и средней твердости горных пород

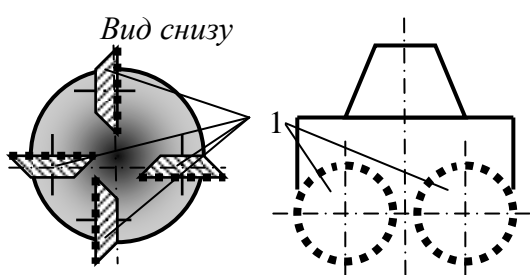


Рисунок 10 -Схема долота с зубчато-дисковыми шарошками

резанием-скалыванием зубьями дисковых шарошек 1, установленных в радиальном направлении относительно корпуса долота (рис. 10). Вращение и перекатывание шарошек по забою происходит за счет зацепления зубьев с образовавшейся

криволинейной поверхностью у стенки скважины.

1.4.2 Ударное бурение

Реализуется дробление и скалывание упругохрупких горных пород под действием удара.

Для бурения используются ударные способы разрушения горных пород под действием энергии сбрасываемого с определенной высоты бурового снаряда, например, ударно-канатное бурение (способ применялся для бурения нефтяных скважин до 1900 г.) или забивной способ с помощью устройства ударного действия.

1.4.3 Комбинированное (с вращательным) механическое разрушение горных пород

а) Ударно-вращательный способ бурения. Реализуется разрушение за счет удара высокого уровня энергии, а вращение инструмента носит вспомогательный характер, определяя схему поражения забоя породоразрушающими вставками долота или коронки. Для бурения используются гидро-, пневмоударники и буровой инструмент с режущими в основном клиновидной и шарообразной формы. Способ успешно применяется для бурения горных пород самой различной твердости и при сооружении скважин различного назначения – взрывных, гидрогеологических, инженерно-геологических, геологоразведочных и др., диаметра и глубины.

б) Вращательно-ударный способ бурения. Способ применяется для бурения твердых горных пород алмазным инструментом при сооружении в основном геологоразведочных скважин.

При бурении реализуется разрушение породы за счет действия осевой силы и усилия резания. Ударное воздействие на породу с высокой частотой, но малой энергией дополняет породоразрушающее воздействие на породу основных факторов, характеризующих вращательное бурение – осевая нагрузка и частота вращения. Для бурения используются алмазный однослойный буровой инструмент или шарошечные долота и высокочастотные гидроударники.

в) Гидромеханический способ бурения. Реализуется при вращательном способе бурения скважин, при котором горные породы разрушаются под воздействием стационарных высоконапорных тонких струй промывочной жидкости (воды или бурового раствора) и механических породоразрушающих элементов (резец, шарошка).

Струями воды формируются щели в породе, а механическим инструментом производится скалывание ослабленных межщелевых блоков. При гидромеханическом разрушении осуществляется непрерывное динамическое и статическое воздействие на забой. Давление жидкости, необходимое для гидромеханического разрушения рыхлых пород, 20–50

МПа, мягких и средней твердости – 70–100, очень твердых – более 150 МПа. Рациональные окружные скорости перемещения насадок 10–40 см/с.

d) Термомеханический способ бурения. Вращательный способ бурения горных пород твердосплавным или алмазным буровым инструментом с одновременным нагреванием до высокой температуры торца инструмента и горной породы на забое. Нагревание породы снижает ее твердость и упругость, повышает пластичность.

1.4.4 Вибрационное бурение

При вибрационном бурении используются приотсранные наконечники (грунтоносы), которые соединяются через бурильные трубы с вибратором (рис. 11). Применяется для бурения преимущественно несвязных горных пород (пески). Углубление скважины происходит практически без разрушения горной породы за счет разуплотнения вследствие уменьшения сил трения между слабосвязанными частицами породы.

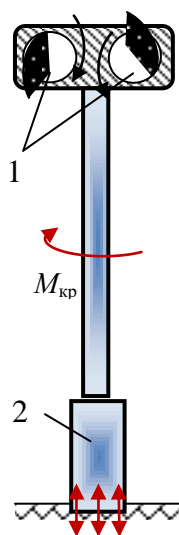


Рисунок 11 - Схема вибрационного бурения

Компания *SonicSampDrill* разработала технику бурения на основе ударного бурения и высокочастотных вибраций, для бурения самых прочных пород. Применение вибрационной установки колонкового бурения (рис. 11) позволяет в 1,5–2 раза увеличить производительность по сравнению с традиционными видами бурения. В зависимости от модели буровой установки колонкового бурения вибрационная мощность импульса составляет до 350 кН. В основе системы *Sonic* заключены два эксцентрика 1, которые приводятся в движение двумя высокоскоростными (12000 мин⁻¹) гидромоторами. Гидромоторы генерируют высокочастотные (до 180 Гц) вибрации, которые непосредственно

передаются на буровой башмак 2 и вызывают активное разупрочнение и разрушение горной породы.

1.4.5 Шароструйное бурение

При шароструйном бурении для разрушения горных пород используется энергия большого количества стальных или твердосплавных шаров, многократно соударяющихся с забоем с большой скоростью. Шары приводятся в движение специальным жидкостным или воздушным инжекторным (шароструйным) аппаратом.

При соударении шаров с твердой горной породой со скоростью порядка нескольких десятков метров в секунду она разрушается. Продукты разрушения частично циркулируют с инжектируемой жидкостью, измельчаются и выносятся из скважины восходящим потоком промывочной жидкости. На рисунке 12 приведены схемы, поясняющие связь основных

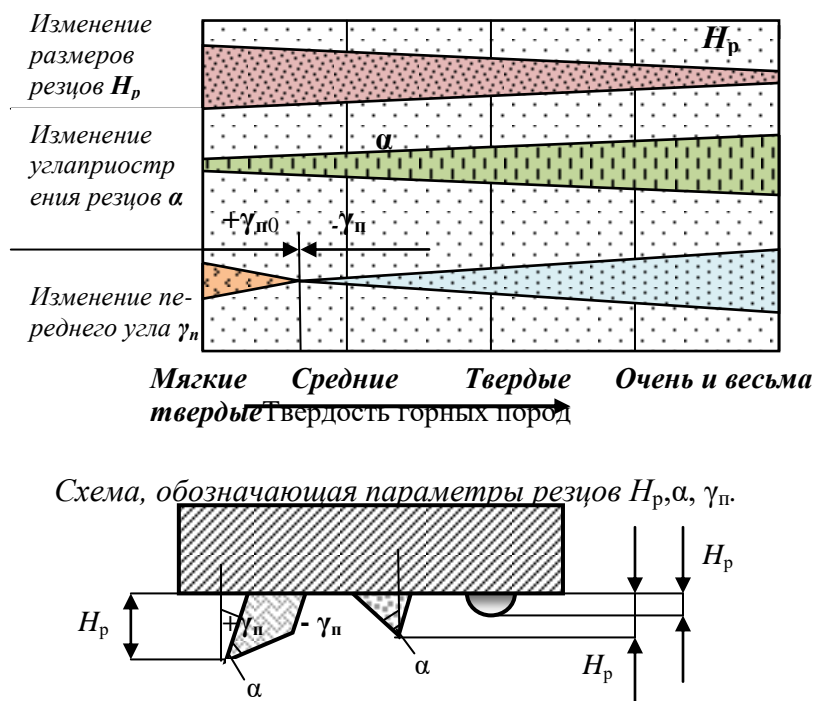


Рисунок 12 - Схемы, показывающие связь размеров резцов H , угла их приострения α и переднего угла γ_n с твердостью горных пород

параметров резцов буровых инструментов, таких как размер, угол приострения и передний угол, с твердостью горных пород.

Как следует из схемы на рис. 12, с увеличением твердости горных пород размер резцов H_p уменьшаются, угол приострения α возрастает, передний угол γ_n из положительного становится отрицательным, а его отрицательное значение увеличивается по мере повышения твердости горных пород.

Наиболее производительным из механических способов бурения скважин в твердых породах является процесс бурения забойными пневмоударниками в режиме ударно-вращательного бурения при высоком значении давления подаваемого воздуха (механическая скорость более 20 м/ч по самым твердым породам).

Вращательное и вращательно-ударное бурение алмазным инструментом, шарошечными долотами твердых пород значительно уступают по производительности пневмоударному бурению.

При бурении скважин на нефть и газ в настоящее время основными инструментами остаются шарошечные долота, реализующие дробяще-скалывающее воздействие на горную породу и долота режуще-скалывающего действия с резцами типа *PDC* (рис. 13). Если для современных шарошечных долот проходка на долото может составлять 100–200 и даже несколько сотен метров при скорости бурения 10–20 м/ч, то долота с резцами *PDC* показывают выдающиеся результаты при разрушении мягких и горных пород средней твердости: проходка может достигать 1000 и более метров, а механическая скорость 20–40 м/ч.



Рисунок 13- Долото *PDC Tornado* после проходки 1150 м

Например, в Эвенкии в июле 2012 г. успешно произведена отработка матричного *PDC* долота 215,9 мм серии *Tornado* производства компании *DDI*, США (рис.

13). Бурение осуществлялось ротором и винтовым гидродвигателем. Проходка на долото составила 1150 м до первой реставрации при средней скорости бурения 20 м/ч, максимальная скорость достигала 40 м/ч.

1.4.6 Основные принципы и закономерности разрушения горных пород при бурении

Эффективность бурения определяется объемом разрушенной буровым инструментом породы в единицу времени. Объем разрушенной породы в единицу времени непосредственно связан с величиной мощности N , подводимой к забою.

Объем породы, разрушаемый в единицу времени, можно определить из зависимости:

$$V = \frac{N}{A_v}, \quad (1)$$

где N – мощность, подведенная к забою для разрушения породы в единицу времени, кВт ч;

A_v – энергоемкость разрушения породы определенного объема, кВт/м³.

Объем разрушенной в единицу времени породы можно определить, используя значение скорости бурения:

$$V = v_m F, \quad (2)$$

где v_m – механическая скорость бурения, м/ч;

F – площадь забоя скважины, м².

Из равенства формул для определения объема разрушенной породы (1) и (2) получим:

$$v_m = \frac{N}{A_v F}, \quad (3)$$

Из данного выражения следует, что скорость бурения пропорциональна количеству подведенной к забою мощности, обратно пропорциональна энергоемкости разрушения породы и площади забоя.

Таким образом, интенсификация процесса разрушения горной породы при бурении может осуществляться вследствие:

- увеличения передаваемой горной породе энергии, что предполагает также необходимость снижения ее потерь при передаче от источника энергии до забоя скважины;
- уменьшения энергоемкости процесса разрушения горной породы;
- уменьшения площади забоя скважины.

В свою очередь, увеличение передаваемой горной породе энергии может быть получено в результате:

- увеличения частоты вращения породоразрушающего инструмента;
- увеличения осевой статической или ударной нагрузки на породоразрушающие резцы бурового инструмента;
- передачи горной породе дополнительной тепловой энергии (термомеханическое бурение);
- передачи горной породе дополнительной гидродинамической энергии (гидромониторное бурение).

Уменьшение энергоемкости разрушения горной породы можно достичь за счет:

- создания породоразрушающего инструмента, максимально соответствующего по своим характеристикам прочностным свойствам горных пород;
- применения понизителей твердости горных пород (жидкости с ПАВ, ультразвуковые колебания жидкости и др.);
- разработки оптимальных режимов бурения.

Реальное уменьшение потерь энергии при передаче от источника до породоразрушающего инструмента возможно вследствие перемещения привода вращения инструмента к забою скважины (применение забойных гидро- или электродвигателей, редукторов-мультипликаторов, повышающих частоту вращения инструмента при умеренной частоте вращения бурильной колонны).

Снижение площади забоя скважины происходит за счет непрерывного уменьшения диаметра породоразрушающих инструментов и площади их торца (применение, например, коронок и долот с утонченной (уменьшенной) рабочей торцевой поверхностью).

Отношение $\frac{N}{F} = N_0$ в формуле (3) определяет значение удельной забойной мощности, подводимой к инструменту для разрушения породы, которая ограничена возможной прочностью породоразрушающего инструмента. Поэтому наиболее перспективным для достижения высокой скорости бурения является поиск условий, обеспечивающих минимальную энергоёмкость разрушения породы.

На рисунке 14 приведены экспериментальные зависимости, отражающие связь механической скорости бурения с мощностью, подводимой к забою. При определенном уровне подводимой мощности механическая скорость бурения начинает снижаться и возрастают удельные энергозатраты, т.е. режим разрушения породы становится менее эффективным.

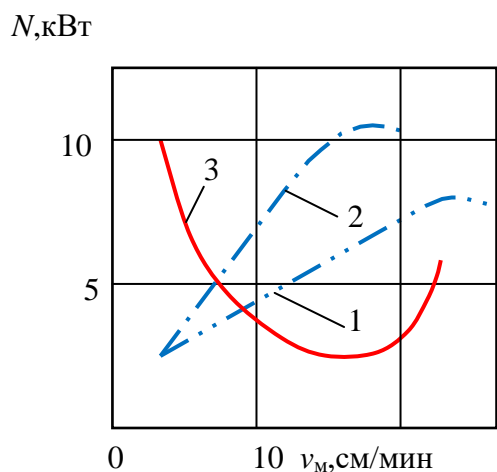


Рисунок 14 - Зависимость мощности разрушения породы при бурении шарошечными долотами диаметром 59 мм (линия 1) и 76 мм (линия 2) от механической скорости бурения v_M ; кривая 3 – удельные затраты мощности, равные отношению N/v_M

Обобщенный параметр режима работы породоразрушающего инструмента при вращательном бурении – реализуемая на забое

МОЩНОСТЬ:

$$N = \frac{\mu_k P_{oc} R \omega}{97,5}, \quad (4)$$

где μ_k – коэффициент сопротивления породы вращению бурового инструмента;

P_{oc} – осевая нагрузка на инструмент, Н;

R – радиус торца бурового инструмента, м;

ω – частота вращения, c^{-1} .

С учетом данной зависимости формула определения скорости бурения (3) получит следующий вид:

$$v_m = \frac{\mu_k P_{oc} R \omega}{97,5 A_v F}, \quad (5)$$

Если частоту вращения выразить через линейную скорость перемещения резцов:

$$\omega = \frac{v_l}{\pi D}, \quad (6)$$

то формулу для расчета скорости бурения можно представить в виде:

$$v_m = \frac{\mu_k P_{oc} v_l}{2\pi 97,5 A_v F}, \quad (7)$$

Соотношение $\frac{P_{oc}}{F} = q_3$ определяет значение удельного контактного давления на забой скважины. Следуя начальным условиям, при расчете q_3 использовано значение всей площади забоя скважины без учета площади породоразрушающих элементов, которыми вооружен торец коронки или долота.

Буровой инструмент опирается на забой породоразрушающими элементами, площадь которых, например, равна F_n . При этом $F_n < F$. В данном случае для эффективной работы инструмента очень важны схема установки, размеры и форма породоразрушающих элементов. Рациональное и эффективное вооружение инструмента значительно влияет на энергоемкость разрушения горной породы, определяет стойкость инструмента. Принимая соотношение $\frac{P_{oc}}{F_n} = q$ за удельное контактное давление на породу со стороны

бурового инструмента, при условии равномерного распространения

напряжений в породе по всей площади забоя, выражение (7) представим в виде:

$$v_m = \frac{\mu_k v_{\text{л}}}{2\pi 97,5 A_v} q, \quad (8)$$

Таким образом, производительным вращательное бурение будет при высоких значениях удельного контактного давления на забой, линейных скоростях перемещения резца, повышенном значении коэффициента сопротивления породы и минимальной энергоемкости разрушения горной породы.

Линейные скорости перемещения резцов при современном бурении не превышают в основном 2–5 м/с, а их увеличение затруднительно по техническим причинам. Одна из проблем бурения, особенно сплошным забоем, связана с реализацией равной и достаточной скорости перемещения резца бурового инструмента.

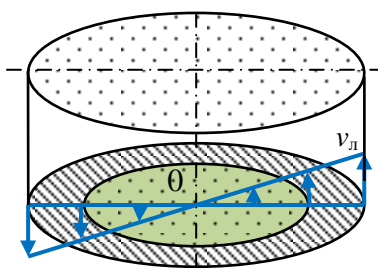


Рисунок 15 - Схема, отражающая значения линейной скорости для резцов коронки при бурении

Из формулы (6) следует, что линейная скорость перемещения резца пропорциональна радиусу бурового инструмента, а значит, в центре торца она будет равна нулю (нулевая точка, рис. 15). Таким образом, при бурении скважины режим разрушения породы на забое, особенно резанием-скалыванием, не является тождественным, что определяет особые подходы при конструировании и

оказывает влияние на результативность отработки буровых инструментов. Например, периферийные и внутренние породоразрушающие элементы фактически разрушают различные по прочностным механическим характеристикам разновидности одной буримой горной породы, поскольку динамическая твердость периферийных участков горной породы линейно возрастает по сравнению с той же характеристикой внутренних участков забоя. Это является следствием более значимого скоростного упрочнения горной породы для резцов долота, размещенных на его периферии.

При бурении кольцевым забоем проблемы нулевой точки и упрочнения горной породы на периферии забоя проявляются в меньшей степени. Для долот проблема нулевой точки является достаточно значимой и требует специальных конструктивных решений, позволяющих устранить влияние нулевой точки на процесс бурения.

Одним из важнейших параметров, определяющих режим разрушения породы, является величина удельного контактного давления на породу q .

В зависимости от величины удельного контактного давления выделяют три режима разрушения породы: - поверхностное (истирание, шлифование); - усталостное; - объемное.

На рисунке 16 дана зависимость механической скорости бурения от осевого усилия и выделены

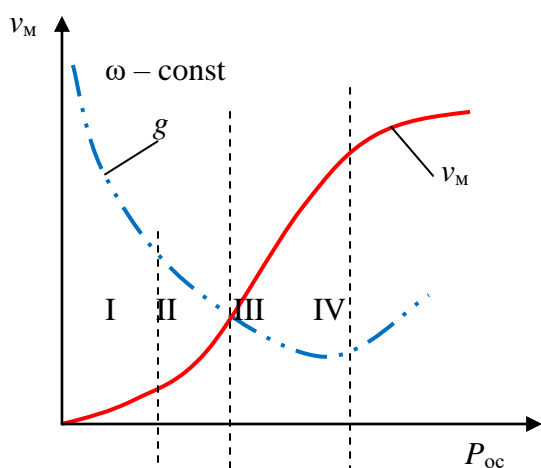


Рисунок 16 - Зависимость механической скорости бурения v_M и удельных энергозатрат на разрушение g от осевого усилия (удельного контактного давления на породу q):

- I – поверхностное разрушение;
- II – усталостное разрушение;
- III – объемное разрушение;
- IV – чрезмерно высокая $P_{ос}$, приводящая к разрушению вооружения бурового инструмента

осевого усилия и выделены основные режимы разрушения горной породы

Режим поверхностного разрушения наблюдается при малом значении осевого усилия, когда удельное контактное давление значительно меньше твердости горной породы $q \ll p_{ш}$.

В этом случае происходит поверхностное истирание и шлифование породы, повышенный нагрев и износ бурового инструмента. Процесс бурения при таком режиме

разрушения не может быть эффективным, что подтверждается высокими энергозатратами (кривая g на рис. 16).

Режим усталостного разрушения горных пород возникает в том случае, если $q < p_{ш}$. При таком соотношении твердости породы и контактного

напряжения разрушение происходит вследствие циклического нагружения, при котором достигается предел усталости горной породы $[\sigma_{-1}]$. Предел усталости любого материала ниже предела прочности в 20–30 раз и он достигается при повторяющихся циклах нагружения породы, возникающих вследствие перемещения по забою резцов бурового инструмента. Аналитически усталостную кривую можно выразить зависимостью, отражающей снижение предела прочности породы до напряжения, уровень которого достаточен для её разрушения под влиянием внешних сил:

$$\sigma_y = \sqrt[m]{\frac{\sigma_B}{N}}, \quad (9)$$

где N – число циклов нагружения;

m – степень усталостной кривой;

σ_B – предел прочности горной породы.

Из зависимости (9) следует, что прочность породы снижается при повышении числа циклов её нагружения. В данном случае под циклом нагружения понимают повторяющееся деформирование породы в режиме «сжатие нагрузкой – восстановление прежнего размера при снятии

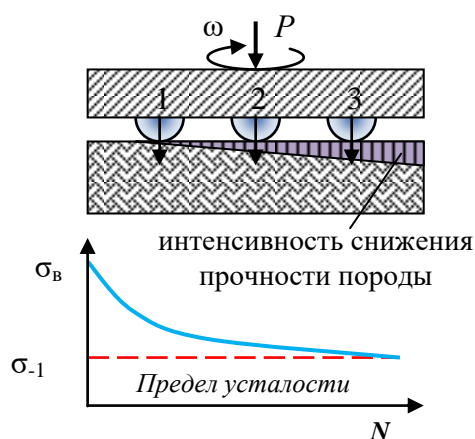


Рисунок 17 - Усталостная кривая снижения прочности породы при циклическом нагружении породы при прохождении резцов по забою: N – число циклов нагружения породы при прохождении резцов инструмента

нагрузки». Цикличность «нагрузка – разгрузка» реализуется при бурении вследствие повторяющегося воздействия резцов бурового инструмента на определенный участок породы на забое (рис. 17). Повторяющиеся циклы «нагрузка–разгрузка» приводят к растрескиванию породы и её ослаблению. В результате прочность породы снижается, приближаясь к значению предела усталости. Соответственно, снижается и твердость породы в поверхностном, ослабленном

трещинами слое до значения $p_{ш}^y < q$. В этом случае наступает разрушение породы в поверхностном слое после нескольких проходов резцов бурового инструмента.

Наиболее оптимален для разрушения горной породы режим объемного разрушения, при котором $q \geq p_{ш}$. В этом случае резцы инструмента внедряются в породу и производят её разрушение за один цикл воздействия с образованием борозды или лунки разрушения, объем которой при бурении твердых пород может значительно превышать объем внедрения резцов в породу.

Дальнейшее повышение осевого усилия уже не приводит к значительному росту скорости бурения, поскольку наступает режим активного разрушения самого бурового инструмента.

Одним их основных положений механики разрушения горных пород при вращательном бурении является правило, в соответствии с которым определенной нагрузке на инструмент соответствует оптимальная скорость движения резца. В этом случае реализуются наибольшая глубина разрушения породы и минимальный износ самого инструмента, т.е. процесс разрушения

горной породы осуществляется в самых оптимальных условиях.

В работе приведены экспериментальные данные о влиянии частоты вращения инструмента на глубину борозды разрушения, которые показывают, что при увеличении скорости перемещения резцов, даже при условии, что осевая нагрузка достаточна для эффективного разрушения породы, глубина борозды разрушения, образуемая алмазом, снижается (рис. 18).

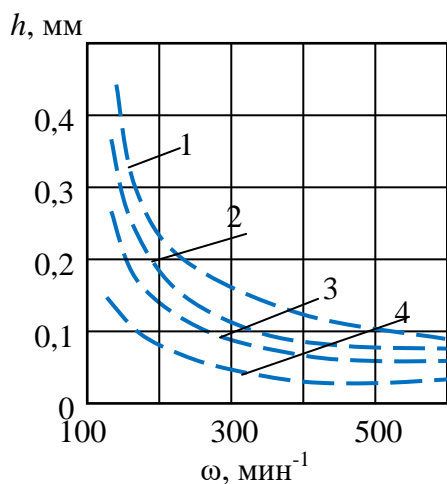


Рисунок 18 - Зависимость глубины борозды разрушения алмазным резцом h от частоты вращения ω при нагрузках на алмаз, H : 1 – 140; 2 – 100; 3 – 56; 4 – 35

Снижение глубины борозды разрушения при повышении частоты вращения инструмента приводит к снижению темпа роста механической скорости бурения. Например, в работе приведены данные о том, что рост частоты вращения инструмента в 6,9 раза привел к повышению механической скорости бурения только в 3,1 – 3,3 раза при различных значениях нагрузки на коронку.

Типичный характер изменения механической скорости от осевой нагрузки показан на рисунке 16. В соответствии с данными из работы данная зависимость может соответствовать следующей эмпирической формуле:

$$v_m = ae^{bP}, \quad (10)$$

где a, b – постоянные коэффициенты;

e – основание натурального логарифма;

P – нагрузка на инструмент.

Крутящий момент, Н·м, в общем виде может определяться из зависимостей:

$$M_{кр} = \frac{N}{\omega} = P_{ос} \mu_k R \quad (11)$$

где N – мощность, затрачиваемая на разрушение породы, кВт;

ω – частота вращения инструмента, c^{-1} ;

$P_{ос}$ – осевая нагрузка, Н;

μ_k – коэффициент сопротивления породы вращению бурового инструмента;

R – средний радиус торца бурового инструмента.

Крутящий момент линейно возрастает при увеличении осевой нагрузки на инструмент (рис. 19). При увеличении частоты вращения крутящий момент несколько снижается, что связано с

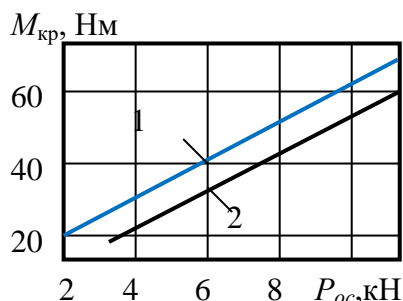


Рисунок 19 - Зависимость крутящего момента от осевой нагрузки при бурении алмазной коронкой диаметром 59 мм с частотой вращения: 1 – 625 $мин^{-1}$; 2 – 1500 $мин^{-1}$

уменьшением углубления резцов инструмента в породе.

Зависимость крутящего момента от углубления за один оборот инструмента на забое показывает линейный рост $M_{кр}$ вследствие увеличения сил сопротивления (рис. 20).

В формулах (4) – (7) показана связь затрат мощности на разрушение породы на забое и механической скорости бурения с коэффициентом сопротивления породы вращению бурового инструмента μ_k , который учитывает механическую и молекулярную составляющие сил трения, а также индивидуальные особенности и свойства горных пород, вызывающие упругие и пластические реакции на продвижение резцов по разрушаемой породе.

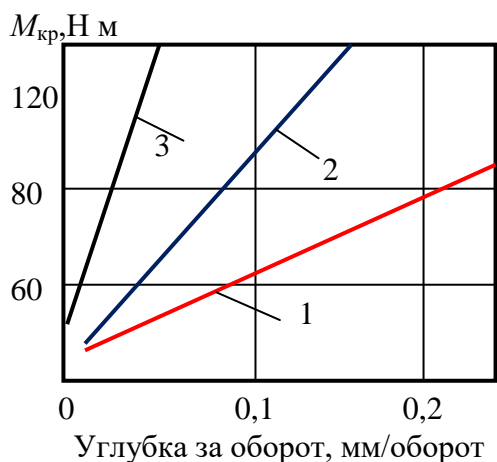


Рисунок 20 - Зависимость крутящего момента от углубления инструмента за один оборот в различных горных породах: 1 – известняк; 2 – кварцит; 3 – гранит

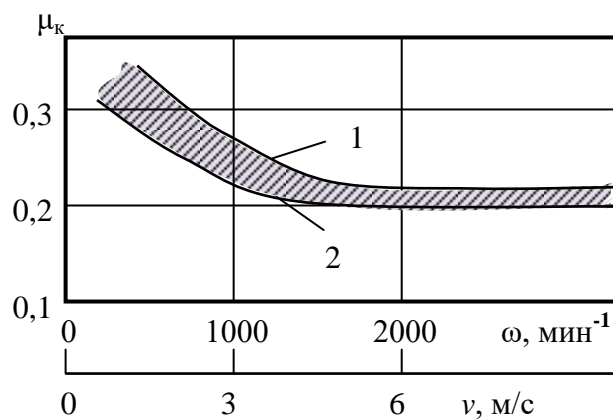


Рисунок 21 - Зависимость коэффициента сопротивления μ_k от частоты вращения (ω) и линейной скорости перемещения резца (v): 1 – $P_{ос} = 12$ кН; 2 – $P_{ос} = 6$ кН

Зависимость коэффициента μ_k от частоты вращения и осевого усилия дана на рисунке 21. Учтя при анализе ранее представленные формулы, а также зависимости крутящего момента от частоты вращения, осевого усилия и углубления инструмента за один оборот вращения, можно установить между всеми этими параметрами закономерную связь, которая устанавливается в зависимости от глубины внедрения резцов в породу при бурении:

- рост осевого усилия приводит к повышению глубины внедрения резцов в породу, а в результате увеличивается сопротивление вращению инструмента на забое и крутящий момент;

- повышение частоты вращения вызывает уменьшение глубины внедрения резцов в породу, что приводит к некоторому снижению сопротивления вращению инструмента на забое и крутящего момента.

В результате разнообразных исследований установлено наличие четкой зависимости механической скорости, углубления за один оборот инструмента на забое и забойной мощности от подачи промывочной жидкости.

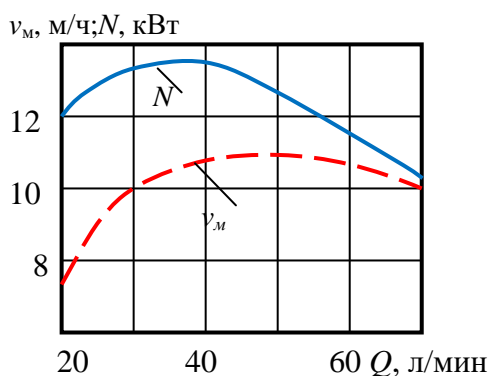


Рисунок 22 - Зависимость забойной мощности N и механической скорости бурения v_m от подачи промывочной жидкости на забой

В большинстве случаев отмечается, что оптимальное количество промывочной жидкости, подаваемой в скважину, соответствует максимальным значениям механической скорости и углубления за один оборот и минимуму удельных энергозатрат на бурение (рис. 22).

При этом выявленный оптимум может смещаться в большую или меньшую сторону по количеству подаваемой к забою жидкости в зависимости от значений параметров режима бурения. В данном случае справедлива зависимость, из которой следует, что при равных значениях углубления в породу за оборот наибольшая подача промывочной жидкости соответствует более высокой частоте вращения.

Таким образом, повышение механической скорости бурения и забойной мощности связано с оптимальными условиями очистки забоя. Дальнейшее повышение подачи промывочной жидкости приводит к проявлению эффекта гидростатического подпора бурового инструмента, что снижает внедрение резцов в породу и, соответственно, понижаются механическая

скорость бурения и затраты мощности на разрушение горной породы. При бурении шарошечными долотами проблема гидродопора наиболее проявляется при бурении долотами с гидромониторными насадками вследствие более значительного перепада давления при равных значениях подачи промывочной жидкости при бурении долотами без насадок и с насадками.

1.4.7 Формирование зоны предразрушения при механическом разрушении горных пород

При механических способах бурения одновременно с отделением от массива продуктов разрушения горной породы в призабойном пространстве формируется особый слой породы, который ослаблен развитой системой микротрещин. Академик П.А. Ребиндер назвал этот слой породы зоной предразрушения.

Зона предразрушения горной породы имеет распространение по поверхности забоя, ствола скважины и керна. С точки зрения интенсификации процесса бурения и снижения энергоемкости разрушения горной породы наиболее продуктивна зона предразрушения забоя скважины.

Причинами появления зоны предразрушения являются напряжения и деформации горной породы, которые распространяются равномерно во все стороны от точек приложения разрушающих усилий со стороны породоразрушающих резцов и вставок бурового инструмента.

Таким образом, образование зоны предразрушения – закономерность процесса механического разрушения горных пород, проявляющаяся при всех механических способах бурения.

Закономерности формирования зоны предразрушения исследовались в ИСМ АН Украины с применением метода люминесцентной дефектоскопии. Зона предразрушения изучалась в призабойных участках пробуренных алмазным импрегнированным инструментом стволов скважин. Бурение

осуществляли при различных осевых нагрузках и фиксировали углубление за один оборот инструмента на забое. После бурения производилась обработка призабойной зоны ствола люминесцентными жидкостями, обладающими высокой смачивающей и проникающей способностью. Полученные срезы призабойной зоны в дальнейшем исследовались на люминесцентном дефектоскопе. По свечению люминесцентной жидкости определяли область распространения трещин зоны предразрушения.

Результаты замеров глубины развития зон предразрушения, образовавшихся при бурении гранит-порфира, габбро и кварцито-песчаника, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования зоны предразрушения

Порода	Показатели	Осевая нагрузка, даН				
		250	500	750	1000	1250
Гранит-порфир	Глубина зоны предразрушения h_3 , мм;	1,8	2,5	2,85	3,0	3,1
	Углубление за оборот h , мм;	0,024	0,039	0,051	0,056	
	h_3/h	75	64	56	53	
Габбро	Глубина зоны предразрушения h_3 , мм;	0,18	0,35	0,4	0,51	0,55
	Углубление за оборот h , мм;	0,0175	0,0335	0,039	0,055	0,0645
	h_3/h	10,2	10,4	10,2	9,2	8,5
Кварцито-песчаник	Глубина зоны предразрушения h_3 , мм;	1,2	1,65	1,87	2,1	2,1
	Углубление за оборот h , мм;	0,0075	0,0125	0,0185	0,0215	0,024
	h_3/h	160	132	101	97	87

Как следует из полученных данных, зона предразрушения по своей глубине значительно превышает величину проходки за один оборот инструмента на забое (рис. 23).

Это соотношение особенно велико в хрупких горных породах, а

минимально у более пластичного габбро. С ростом осевого усилия в диапазоне 250–750 даН величина зоны предразрушения возрастает, а при дальнейшем повышении осевого усилия глубина развития зоны предразрушения увеличивается незначительно.

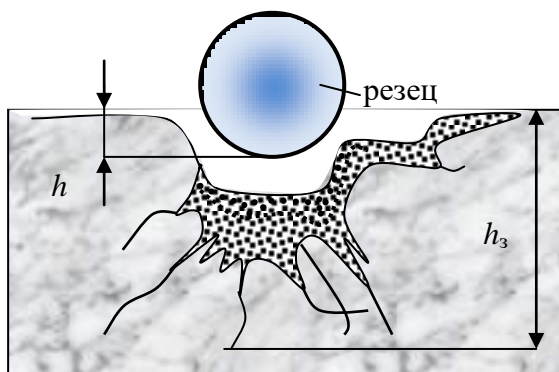


Рисунок 23 - Борозда разрушения и зона предразрушения, образовавшиеся при разрушении

Исследование зоны предразрушения в тех же горных породах после бурения

твердосплавными резцами показало, что наблюдаются выявленные при алмазном бурении закономерности, но глубина развития зоны предразрушения в сравнении с глубиной разрушения породы резцом значительно уменьшилась, особенно у габбро, что связано со значительным увеличением размеров резцов, снижением удельных контактных напряжений на породу и размеров ядра сжатия породы в сравнении с глубиной внедрения резцов.

Таким образом, в результате экспериментов удалось установить:

- при взаимодействии бурового инструмента с породой помимо зоны разрушения формируется образованная системой микротрещин зона предразрушения;
- зона предразрушения образуется при всех рассмотренных видах взаимодействия инструмента с породой – резании, резании-скалывании, раздавливании и смятии;
- зона предразрушения способствует разрушению горной породы при дальнейших циклах нагружения;
- глубина развития зоны предразрушения при разных способах бурения и применяемых инструментах различна, но при этом сохраняются общие закономерности развития образующих зону предразрушения трещин;

- в пластичных горных породах и мягких минералах зона предразрушения не образуется.

Зона предразрушения в упруго-хрупком долерите и упруго-пластичном анизотропном спекшемся туфе изучалась визуально в процессе экспериментальных работ.

Из образцов забоев скважин, полученных после разбуривания блоков пород, были изготовлены шлифы для изучения в отраженном свете под микроскопом *Polam C-111*.

Для изготовления шлифов использованы штуфы забойных зон долерита и спекшегося туфа, полученные при бурении алмазным однослойным инструментом с водой и водным раствором 0,3 % сульфонола.

В процессе изучения шлифов под микроскопом сделаны фотографические снимки зон предразрушения горных пород цифровым фотографическим аппаратом.

С учетом вычисленных значений увеличения микроскопом и фотографическим аппаратом рассчитаны приближенные значения мощностей зон предразрушения горных пород.

На рисунке 24 представлен фотографический снимок зоны предразрушения в образце долерита. На снимке показано, что зона предразрушения в твердой породе, в данном случае долерите, состоит из двух областей (границы областей на рисунке 24 обозначены пунктирными линиями): чрезвычайно разрушенной и ослабленной трещинами. При этом мощность первой составляет 0,17 мм, а мощность второй 1,7 мм (рис. 24). Можно отметить, что форма зоны предразрушения практически повторяет форму забоя.

В спекшемся туфе, упруго-пластичной анизотропной породе зона предразрушения представлена также двумя областями (рис. 25): чрезвычайно разрушенной и пластических деформаций. Область чрезвычайно разрушенной (смятой, разрыхленной) породы расположена на глубине 0,12 мм от забоя породы. Область пластических деформаций охватывает

призобойную область и область стенки скважины. Примерная мощность данной области – 0,42 мм.

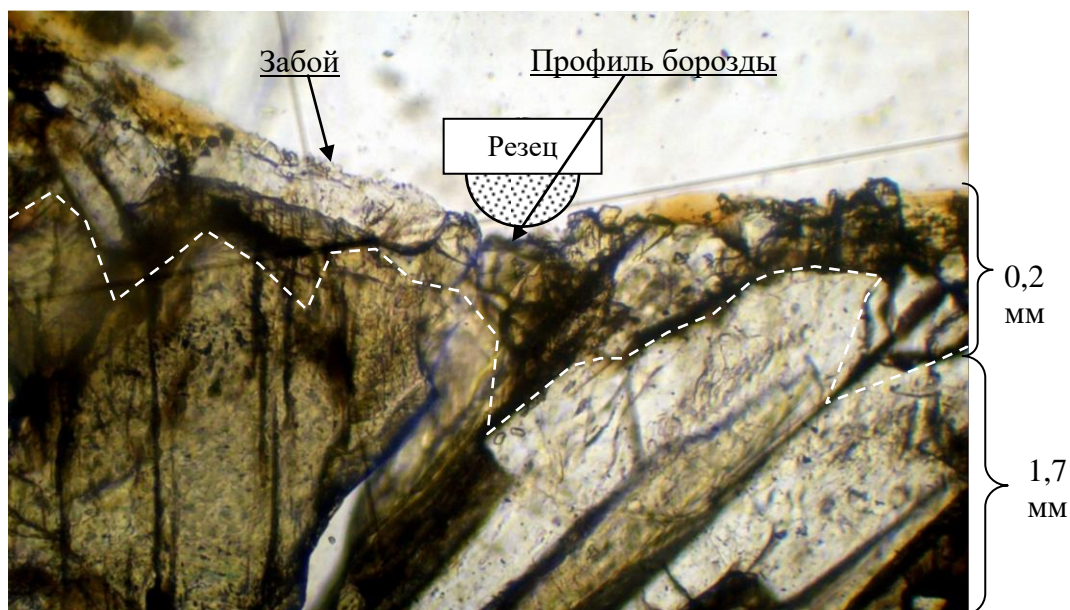


Рисунок 24 -Фотографический снимок зоны предразрушения в образце долерита с указанием областей, составляющих зону предразрушения: 0,2 мм –чрезвычайно разрушенной породы; 1.7 мм –ослабленной трещинами

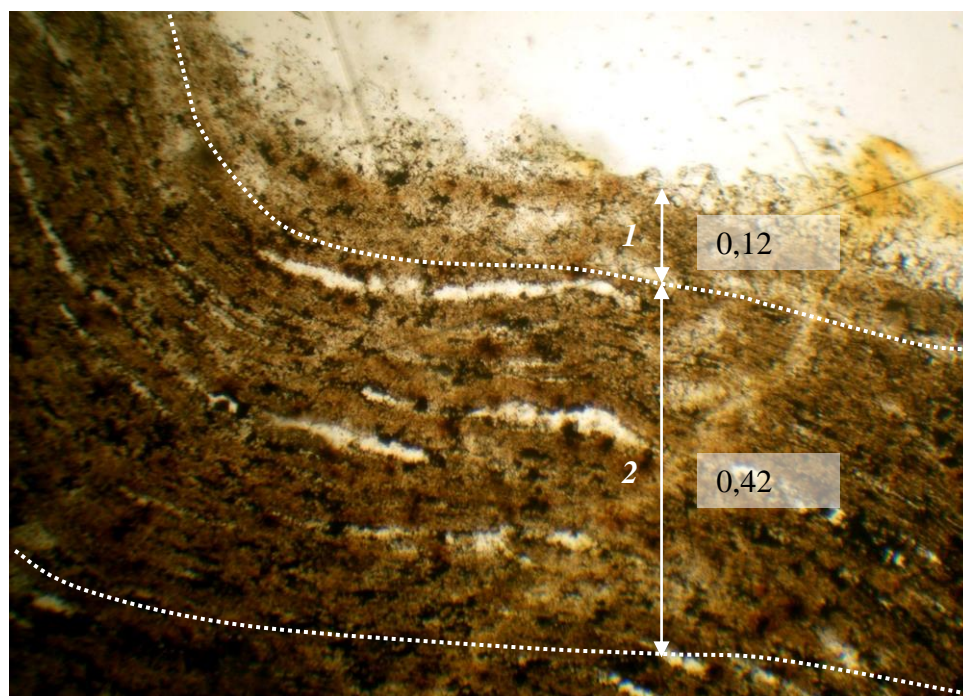


Рисунок 25 - Фотографический снимок зоны предразрушения в образце спекшегося туфа с указанием размеров областей, составляющих зону предразрушения: 1 –разрушенной породы; 2 –пластических деформаций

Образец, фотографический снимок которого приведен на рисунке 25, получен при бурении с осевым усилием – 600 даН, частотой вращения – 150 мин⁻¹ с применением эмульсионного промывочного агента.

По результатам проведенного исследования на данной стадии работ можно сделать следующие выводы:

- размеры зоны предразрушения увеличиваются при повышении осевого усилия и несколько снижаются с ростом частоты вращения бурового инструмента;

- зона предразрушения в упруго-хрупком долерите представлена чрезвычайно разбитой трещинами породы, при этом трещины развиваются, как правило, между минеральными зернами, разрушению также подвергаются более хрупкие кристаллы;

- в породах более пластичных (спекшийся туф) зона предразрушения развивается в виде «разрыхленной», смятой породы без образования явных трещин;

- трещины зоны предразрушения анизотропных пород развиваются преимущественно вдоль плоскостей слоистости, сланцеватости или флюидальности.

Зона предразрушения горной породы при бурении является объектом технологического воздействия с целью интенсификации процессов разрушения, например, за счет адсорбционного понижения прочности. Цель подобного воздействия – развитие зоны предразрушения, ослабление поверхностного слоя забоя скважины и снижение энергоемкости разрушения горных пород при бурении.

1.4.8 Основы динамики работы бурового инструмента

Значительное влияние на эффективность вращательного бурения с передачей крутящего момента от вращателя, располагаемого на поверхности, оказывают виды движения буровых инструментов и соответствующие этим

видам колебания и вибрирование бурильной колонны с буровым инструментом.

В процессе бурения возникают крутильные, поперечные и продольные колебания бурового инструмента.

Крутильные колебания бурового инструмента сопровождаются скручиванием-раскручиванием бурильной колонны, что приводит к изменению её угловой скорости вращения колонны вокруг геометрического центра поперечного сечения.

Таким образом, крутильные колебания приводят к неравномерному вращению бурового инструмента и, соответственно, к неравномерностям передачи на забой крутящего момента и усилия резания-скалывания породы.

Крутильные колебания могут возникать вследствие чрезмерного заглупления в породу резцов, работающих в режиме резания-скалывания породы. При этом разрушение породы происходит циклично: заглупление резцов, остановка вращения и прекращение резания-скалывания – закручивание колонны – резкое скалывание породы и ускоренное вращение инструмента с раскручиванием колонны и вновь заглупление резцов, затем цикл повторяется. Такой режим работы инструмента снижает эффективность бурения и выводит инструмент из строя. Причиной могут быть чрезмерная осевая нагрузка, которую сложно регулировать при чередовании пород различной твердости.

Поперечные колебания бурового инструмента задаются режимом движения бурильной колонны, а также действием поперечных усилий со стороны забоя, которые являются реакцией разрушаемой горной породы и будут максимально проявляться при следующих условиях:

- при бурении трещиноватых, неоднородных по структуре, анизотропных и перемежающихся по твердости горных пород;
- при значительной деформации буровой компоновки и перекосе бурового инструмента.

Поперечные колебания приводят к снижению эффективности бурения вследствие неоправданного дополнительного разрушения горной породы стенки скважины и, соответственно, к повышенному износу бурового инструмента, снижению механической скорости бурения. При поперечном смещении инструмента ствол скважины формируется ступенчато.

Продольные колебания бурового инструмента возникают в процессе крутильных колебаний бурильной колонны, а также в результате динамического режима взаимодействия бурового инструмента с забоем. Это может происходить при бурении шарошечными долотами твердых пород в режиме дробяще-скалывающего действия, а также ударно-вращательном бурении в случае недостаточной осевой нагрузки прижатия инструмента к забою.

В процессе продольных колебаний происходит значительное изменение действующей осевой нагрузки на буровой инструмент, что существенно влияет на механическую скорость бурения и ресурс бурового инструмента.

Основными причинами возникновения колебаний бурового инструмента являются:

- несовершенство системы подачи буровых станков;
- наличие упругой и деформируемой бурильной колонны между буровым инструментом и буровым станком, которая имеет свою чрезвычайно сложную динамику;
- неравномерность резания-скалывания, дробления горной породы, чему способствует возможный перекося бурового инструмента на забое.

Потенциальная энергия упругого деформирования бурильной колонны может определяться следующей зависимостью:

$$U_k = 0,5M_{кр}\varphi_k, \quad (12)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, даН м;

φ_k – угол закручивания колонны при бурении, рад.

С учетом зависимости (11) выражение (12) будет выглядеть следующим образом:

$$U_k = 0,5P_{oc}\mu_k R\varphi_k, \quad (13)$$

Неравномерность подачи бурового инструмента и динамические процессы при вращении деформированной колонны приводят к колебаниям осевой нагрузки на инструмент P_{oc} .

По некоторым оценкам, полученным в результате проведенных экспериментальных работ, колебания величины осевого усилия могут составлять $\pm 30-50\%$. Колебания величины осевой нагрузки вызывают изменение глубины внедрения резцов в породу и углубки инструмента за оборот, что получило отражение в формуле (13) через влияние коэффициента сопротивления разрушению породы при вращении бурового инструмента μ_k . Уменьшение же глубины внедрения резцов в породу приводит к снижению, а повышение – к росту коэффициента μ_k (рис. 20). Соответственно происходит изменение и величины крутящего момента (рис. 21).

Частота колебаний величин осевой нагрузки на инструмент и крутящего момента может быть различна и задается, как правило, частотой

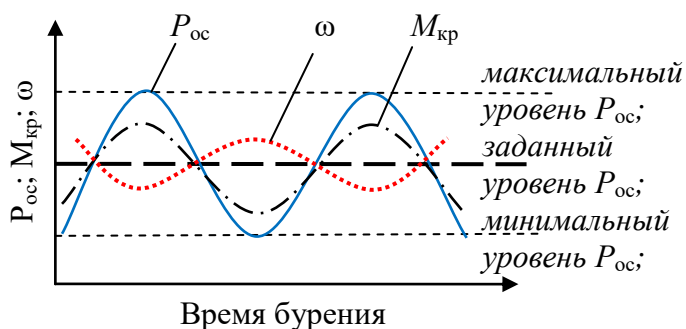


Рисунок 26 - Графики колебаний величины осевого усилия P_{oc} , крутящего момента $M_{кр}$ и частоты вращения ω в процессе бурения при наличии крутильных колебаний бурового инструмента

величин осевого усилия и крутящего момента (рис. 26).

При уменьшении глубины внедрения резцов в породу снижается момент сопротивления вращению, а освобожденная энергия обуславливает вращение бурового инструмента с ускорением. Однако глубина внедрения

колебаний бурильной колонны, вызванной в том числе и дискретным характером разрушения горной породы на забое. За один оборот инструмента на забое может быть несколько периодов изменения

резцов вновь возрастает при повышении осевого усилия, соответственно нарастает сопротивление со стороны породы, и буровой инструмент вращается с замедлением, пока не произойдет разрушение породы.

Таким образом, скорость вращения, передаваемая буровому инструменту, также, как и величина осевого усилия, не постоянна и изменяется в пределах среднего значения с амплитудой и частотой, которые зависят от многих факторов, прежде всего от свойств буримых горных пород, характеристик системы «бурильная колонна – скважина», параметров режима бурения. При этом минимальное значение осевого усилия будет соответствовать ускоренному вращению бурового инструмента, а повышение осевой нагрузки приведет к снижению частоты вращения инструмента.

Направления совершенствования бурового инструмента и буровых технологий должны соответствовать определенным требованиям:

- при вращательном бурении должны использоваться сбалансированные бурильные колонны, а в лучшем случае – забойные приводы;

- величины осевых нагрузок должны быть ограничены, а поиск возможностей повышения механической скорости нужно связывать с использованием эффективных способов интенсификации процесса разрушения горных пород;

- при бурении должны использоваться технические решения, снижающие или исключаяющие колебательные процессы бурильной колонны и бурового инструмента.

Для уменьшения колебательных процессов при бурении наиболее известны следующие решения:

- снижение коэффициента трения между колонной и стенками скважины путем повышения смазывающей способности промывочных растворов и применения консистентных смазок бурильной колонны, устраняющих зазор с одновременным уменьшением коэффициента трения между стенками скважины и колонной;

- снижение деформированности бурильных колонн путем уменьшения радиального зазора между колонной и стенками скважины, понижение осевого усилия на инструмент, например, применением буровых инструментов, способных создавать высокие контактные давления на породу при умеренных осевых нагрузках;

- увеличение радиуса инерции буровых компоновок, например, применением специальных тяжелых труб-маховиков, устанавливаемых над буровым инструментом и гасящих его колебания;

- применение буровых компоновок со смещенным центром тяжести поперечного сечения, при работе которых реализуется механизм гашения, возмущающего равномерное вращение инструмента влияния сил трения бурильной колонны о стенку скважины за счет проявляющегося при работе таких компоновок эффекта самоцентрирования;

- повышение демпфирующей способности материала буровых компоновок, что будет способствовать гашению колебательных деформационных процессов в материале бурильных труб;

- установка для гашения крутильных и продольных колебаний бурильной колонны специальных устройств – упругих и инерционных демпферов;

- использование для бурения забойных электро- или гидродвигателей, исключающих вращение бурильных колонн или забойных мультипликаторов.

***Мультипликатор** (лат. *Multiplicato*) – устройство, устанавливаемое над буровым инструментом для повышения его частоты вращения при малой частоте вращения бурильной колонны.*

ВЫВОД

В данной главе выпускной квалификационной работы был проведен анализ существующих конструкций бурового инструмента и теоретических основ способов разрушения горных пород при бурении скважин.

Особое внимание уделено конструктивным особенностям бурового инструмента, в частности лопастным долотам, их разновидностям и областям применения и рассмотрены конструктивные особенности и возможности применения бурового инструмента – долота с поликристаллическими алмазно-твердосплавными пластинами типа PDC (polycrystalline diamond cutters) Stratapak (General Electric, США), используемого для бурения скважин различного назначения в мягких горных породах и пород средней твердости, а также частично в твердых породах.

Анализ теоретических основ способов разрушения горных пород при бурении скважин, представленный в данной главе позволил определить достоинства и недостатки различных видов бурения (вращательного, ударного, вибрационного, шароструйного), основные принципы и закономерности разрушения горных пород при бурении скважин, формирование зоны предразрушения при механическом разрушении горных пород, а также основы динамики работы бурового инструмента.

Следует отметить, что существующие конструкции бурового инструмента как шарошечного, так и лопастного имеют множество методик построения для всех видов разрушения горных пород, но не отображают методик проектирования бурового инструмента с применением PDC пластин.

Однако, аналитические исследования позволяют разработать модель бурового инструмента с применением пластин PDC, что мы и будем использовать при построении модели шестилопастного бурового инструмента с поликристаллическими алмазно-твердосплавными пластинами типа PDC с помощью программного комплекса САПР SolidWorks во второй главе данного исследования.

Глава 2 Построение модели шестилопастного бурового инструмента с применением пластин PDC

2.1 Вводная часть

Программный комплекс САПР SolidWorks(Солидворкс) предназначен для автоматизации инженерных задач на конструкторском и технологическом этапах проектирования. Разработан программный комплекс компанией SolidWorksCorporation, на сегодняшний день являющейся независимым подразделением компании DassaultSystemes(Франция). Программа появилась в 1993 году и составила конкуренцию таким продуктам, как AutoCADи AutodeskMechanicalDesktop, SDRC I-DEASи Pro/ENGINEER. Программный комплекс САПР SolidWorks(Солидворкс) обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения, работает в среде MicrosoftWindows.

Программный комплекс SolidWorksпомимо стандартной (базовой) конфигурации:SolidWorksStandard, SolidWorksProfessional, SolidWorksPremium, включает в себя различные дополнительные прикладные модули:

Управление инженерными данными: SolidWorksEnterprise PDM;

Инженерныерасчеты: SolidWorks Simulation Professional, SolidWorks Simulation Premium, SolidWorks Flow Simulation;

Электротехническое проектирование: SolidWorksElectrical;

Разработка интерактивной документации: SolidWorksComposer;

Механообработка, ЧПУ: CAMWorks;

Верификация УП: CAMWorksVirtualMachine;

Контроль качества: SolidWorksInspection;

Анализ технологичности: SolidWorksPlastics, DFM и пр.;

Бесчертежные технологии: SolidWorks MBDи др.

Дополнительные прикладные модули программного комплекса SolidWorks позволяют существенно расширить его применение в отдельных сферах проектной деятельности. Так, модуль SolidWorksFlowSimulation позволяет производить комплексные инженерные расчёты, в свою очередь модуль SolidWorksElectrical делает программный комплекс отличным инструментом для электротехнического проектирования, а модуль SolidWorksCAMWorksоткрывает широкие возможности для его использования совместно со станками ЧПУ.

Являясь достаточно простым в изучении и обращении, программный комплекс SolidWorks позволяет выполнять достаточно широкий спектр инженерных задач: проектирование 3Dмоделей (деталей и сборок), подготовка и оформление конструкторской документации в соответствии с нормами ЕСКД и ISO, комплексный анализ проектируемых изделий.

Для построения моделишестиплостного бурового инструмента с применением пластин PDCв данном исследовании будет использован программный комплекс SolidWorks версии 2014 года.

2.2 Начало работы в программном комплексе SolidWorks

Для того, чтобы создать проектируемый объект в программном комплексе САПР SolidWorks, нужно, в первую очередь, определить к какому типу документов он будет относиться: деталь, сборка или чертёж.

В данной выпускной квалификационной работенаша цель спроектировать деталь, поэтому, нажав на кнопку «Создать» в верхнем левом углу экрана (рис. 27), в появившемся диалоговом окне выбираем тип документа «Деталь» (рис. 28).

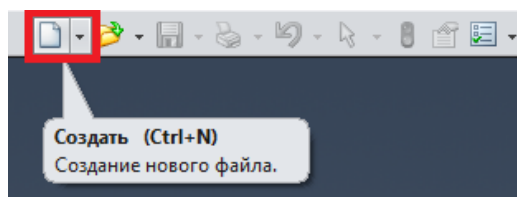


Рисунок 27 – создание нового документа

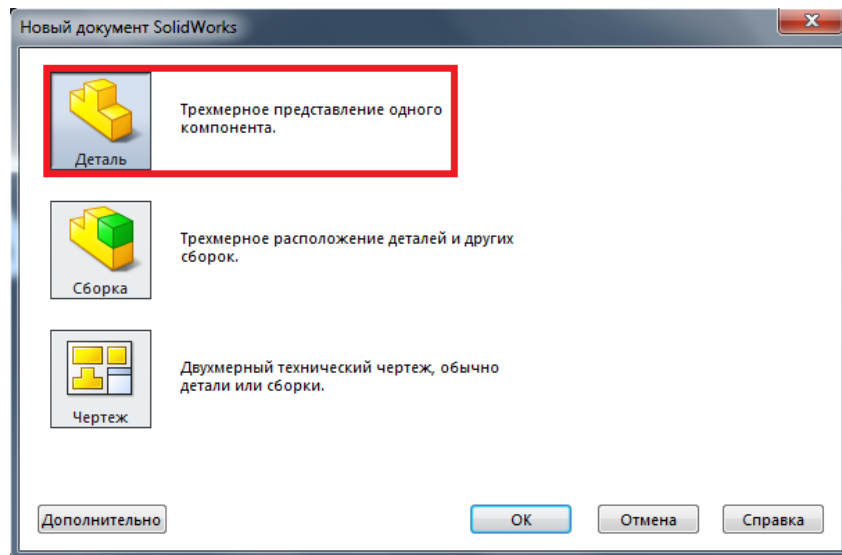


Рисунок 28 – выбор типа документа.

Подтвердим выбор нажатием кнопки «ОК», после чего программа запустит соответствующую рабочую среду.

Интерфейс программы представляет собой окно с различными функциональными панелями (рис. 29).

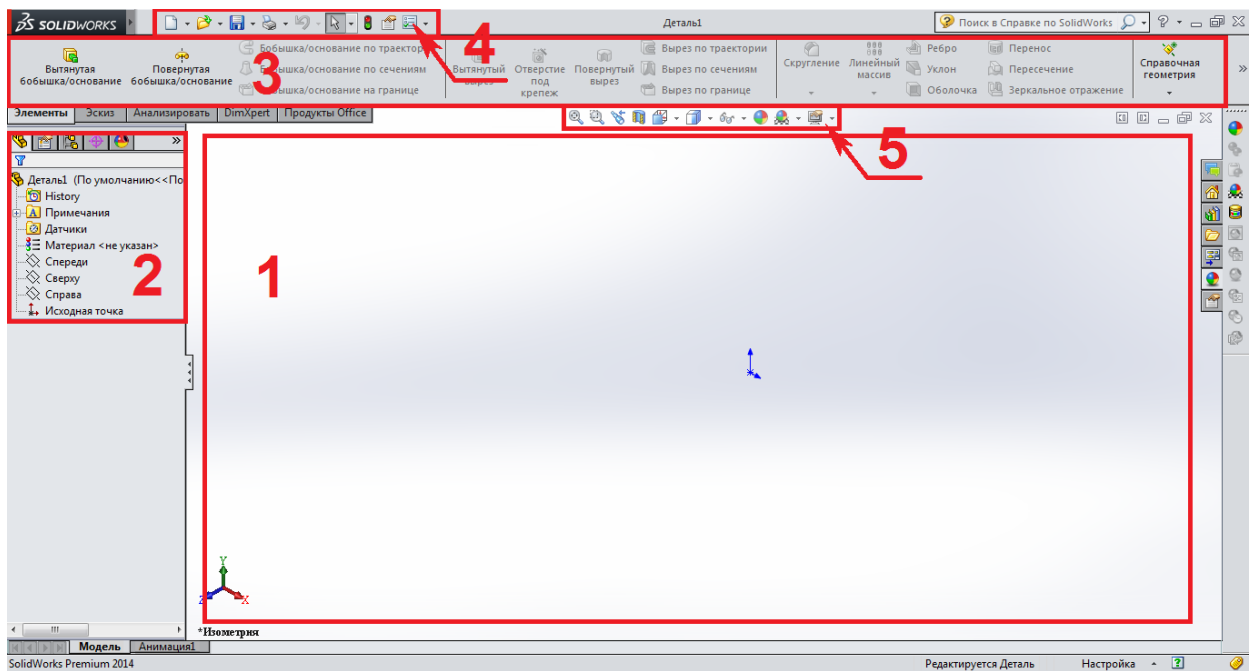


Рисунок 29 – рабочее окно программы SolidWorks

1 – графическая область; 2 – панель управления; 3 – панель инструментов; 4 – стандартная панель; 5 – панель Вид.

Графическая область (1) является основной рабочей областью программы и предназначена для отображения графической части модели (детали), сборки или чертежа. Модель на графической области можно вращать с помощью «мыши», зажав на ней среднюю кнопку (колёсико), и перемещать, зажав среднюю кнопку «мыши» и клавишу Ctrl.

Панель управления (2) содержит вкладки, отображающие те или иные свойства строящегося объекта (детали, сборки, чертежа): Дерево конструирования (FeatureManager), Менеджер свойств (PropertyManager), Менеджер конфигураций (ConfigurationManager), Менеджер размеров (DimXpertManager) и Менеджер отображения (DisplayManager). В совокупности эта панель отображает все свойства модели и все этапы её построения.

На панели инструментов (3) расположены значки основных инструментов программы. Эта панель содержит несколько вкладок, содержащих инструменты для редактирования эскиза, модели, или анализа детали. С помощью меню Параметры на стандартной панели свойств можно добавить другие (нужные) панели инструментов, или удалить ненужные для построения данной детали.

Стандартная панель (4) предназначена для работы с файлом модели и настройки параметров программы.

Панель Вид (5) позволяет варьировать отображение модели в графической области рабочего окна.

2.3 Построение эскиза лопасти бурового инструмента

В рамках данной ВКР необходимо с помощью программного комплекса SolidWorks спроектировать трехмерную модель шестилопастного бурового инструмента с применением пластин PDC.

Построение трёхмерной модели в программном комплексе SolidWorks начинается с создания двухмерного контура – эскиза модели.

Эскиз модели строится на одной из базовых плоскостей Спереди, Сверху, Справа, которые можно найти на вкладке Дерево конструирования (рис. 30).

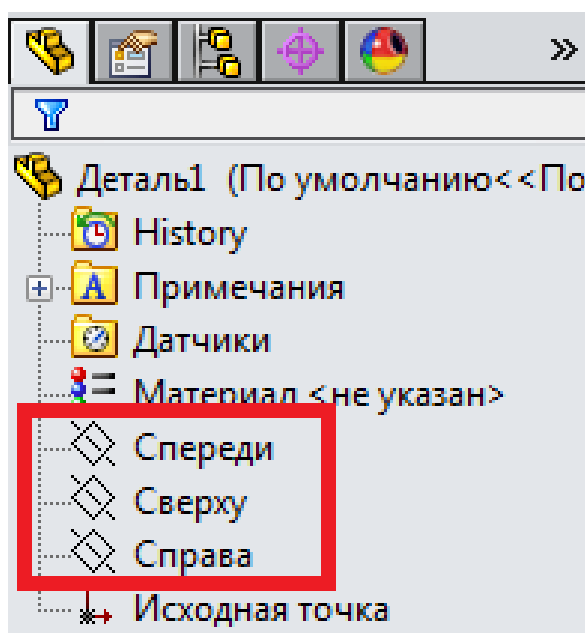


Рисунок 30 – выбор плоскости для построения эскиза

Базовые плоскости ориентированы соответственно координатным осям в трёхмерном рабочем пространстве (рис. 31).

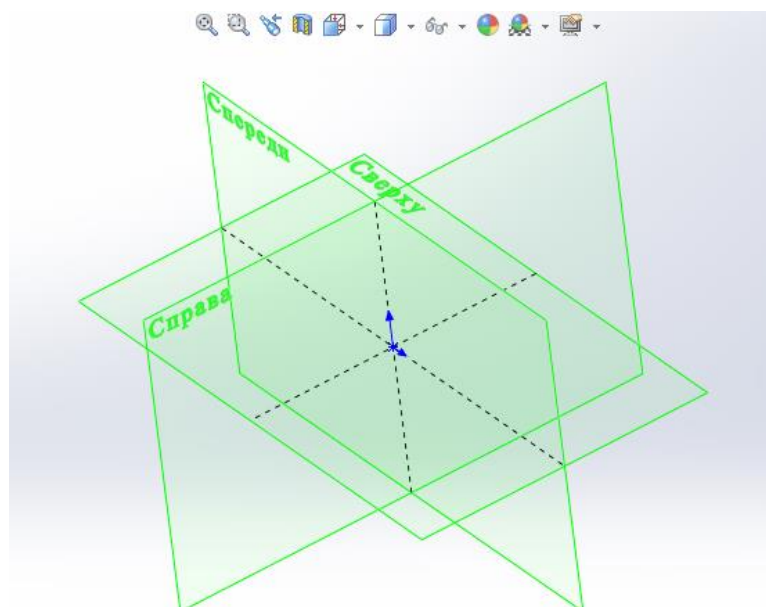


Рисунок 31 – расположение базовых плоскостей

Построение эскиза модели можно начинать на любой из плоскостей, и при создании различных деталей выбор так же будет различным, но в данном

случае проще всего будет начать с плоскости «Спереди», которая к тому же является «плоскостью по умолчанию».

Нажав на значок плоскости, выберем команду «Эскиз», после чего плоскость автоматически будет ориентирована перпендикулярно взгляду, а её границы станут доступны для форматирования. Если этого не произошло, найдём значок плоскости на панели свойств, и, нажав на него мышкой, в появившемся меню выберем команду «Перпендикулярно». В центре плоскости мы увидим точку с исходящими из неё стрелками – это Начальная точка эскиза(рис. 32) и начинать построение объекта следует именно с неё.

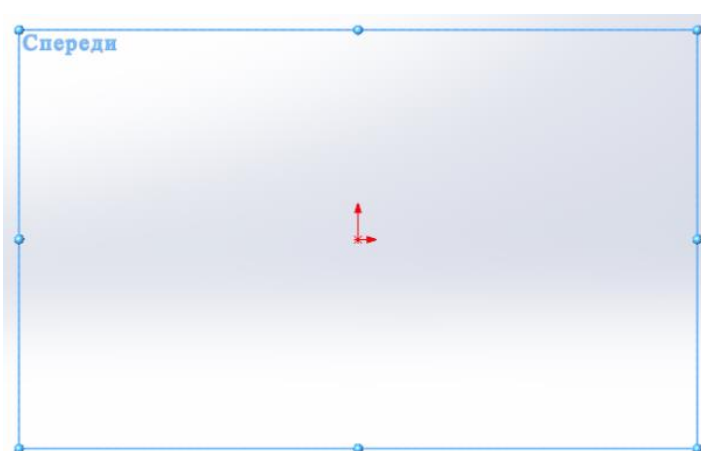


Рисунок 32 – рабочая плоскость и начальная точка эскиза

Построение эскиза начнём с обозначения осевой линии. Инструмент «Осевая линия» находится под кнопкой «Линия» на панели инструментов вверху экрана. Для того, чтобы его активировать, нужно нажать на треугольник справа от кнопки «Линия» и выбрать нужное значение из появившегося списка. Курсор при этом примет вид карандаша с символом того инструмента, который активен в данный момент. Наведём курсор на «Начальную точку» (под курсором при этом появится дополнительный значок, обозначающий тип привязки), нажмём на неё левой кнопкой мыши, и, перетянув курсор в сторону, нажмём кнопку мыши повторно. Чтобы отменить дальнейшее построение линии, достаточно нажать клавишу Esc. Для того, чтобы расположить осевую линию строго вертикально, нажмём на неё мышкой и из появившегося меню, либо в Менеджере свойств выберем

команду «Вертикальность». Цвет линии изменится на чёрный, что будет говорить о том, что линия имеет достаточно привязок (а именно начало, длину и угол поворота) и зафиксирована на плоскости.

Начнем построение детали с основной лопасти бурового инструмента. С помощью инструмента «Линия», построим примерный контур детали. Построение контура так же, как и осевой линии начнём от «Начальной точки» эскиза (рис. 33).

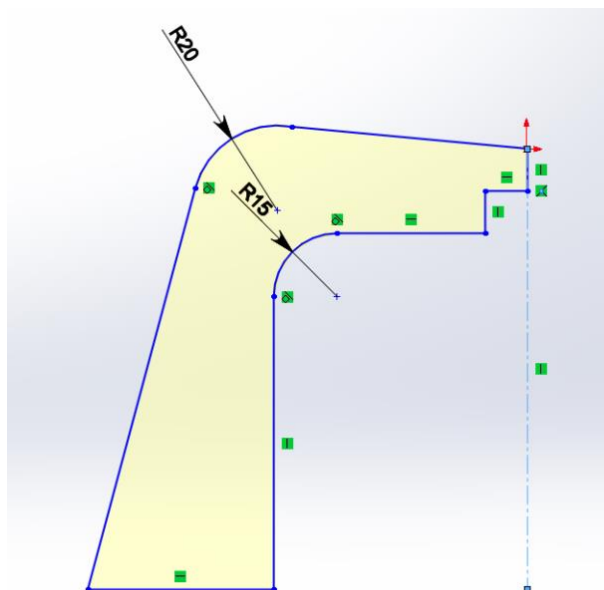


Рисунок 33 – примерный контур детали «Лопасть»

После того, как эскиз построен, его можно сохранить, нажав на кнопку «Принять эскиз» в правом верхнем углу графической области, либо сразу переходить к построению трёхмерной модели.

2.4 Построение трёхмерной модели лопасти бурового инструмента

Инструменты для создания и редактирования трёхмерных объектов находятся на вкладке «Элементы» под панелью инструментов. Для создания лопасти потребуется инструмент «Вытянутая бобышка/основание» (рис. 34).

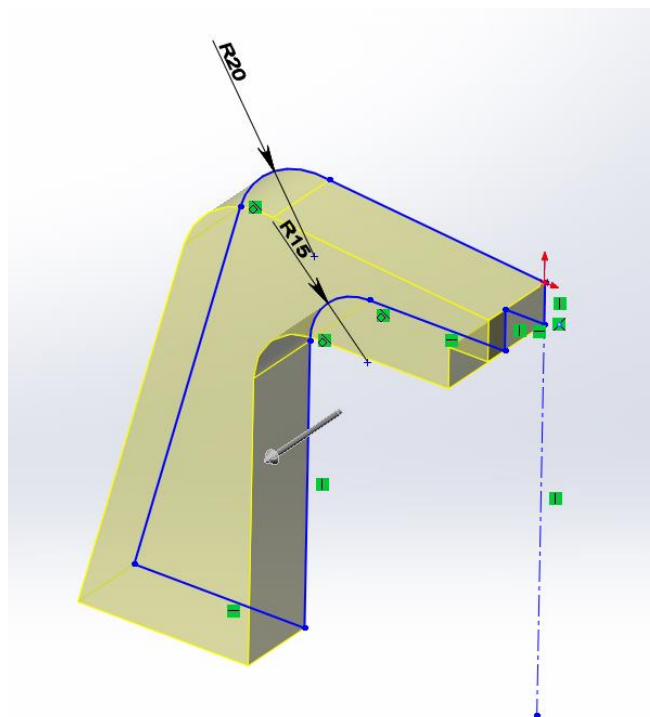


Рисунок 34 – построение трехмерного тела по эскизу (предварительный просмотр)

Программа автоматически построит трёхмерный объект, если эскиз активен (т.е. не была нажата кнопка «Принять эскиз»), если же он был закрыт, то придется эскиз выбрать самостоятельно, а также указать направление вытягивания и расстояние, на которое нужно вытянуть эскиз.

В нашем случае не имеет значения в какую сторону вытягивать деталь, но имеет значение расстояние вытягивания. Необходимое расстояние 20 мм, на которое и было нами вытянуто тело детали.

После того как были определены параметры создания трехмерной модели, программа построит модель в режиме предварительного просмотра. В этом режиме отображается как эскиз, так и трехмерная модель, которая будет построена на его основе. Если модель построена правильно (рис. 35), нужно сохранить изменения, нажав кнопку «ОК» в правом верхнем углу экрана или над панелью управления. Если модель построена с ошибкой, можно изменения отменить и продолжить редактирование эскиза, нажав на кнопку «Отмена».

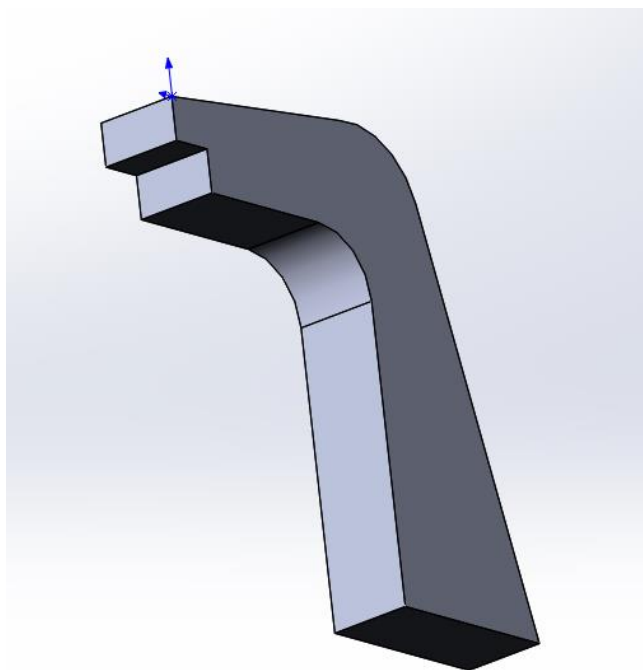


Рисунок 35 – построенное трехмерное тело

2.5 Преобразование исходной модели лопасти с использованием вспомогательной геометрии

В любой конструкции лопастного инструмента с резцами присутствуют отверстия для резцов в лопасти, в которые будут вставляться резцы. Так же потребуется создать вспомогательные плоскости для дальнейшей сборки деталей в общую 3Dмодель.

В первую очередь нужно сделать отверстия под резцы. Для этого на одной из сторон лопасти нужно построить два эскиза: первый с окружностью под резец, с диаметром, который будет совпадать с диаметром резца, а второй с кривой линией, по которой будут распределяться отверстия для резцов(рис. 36, 37).

Далее, для размножения отверстий необходимо использовать инструмент «Массив», управляемый кривой. В меню нужно выбрать «Направление». Направлением и будет как раз эскиз с кривой линией.

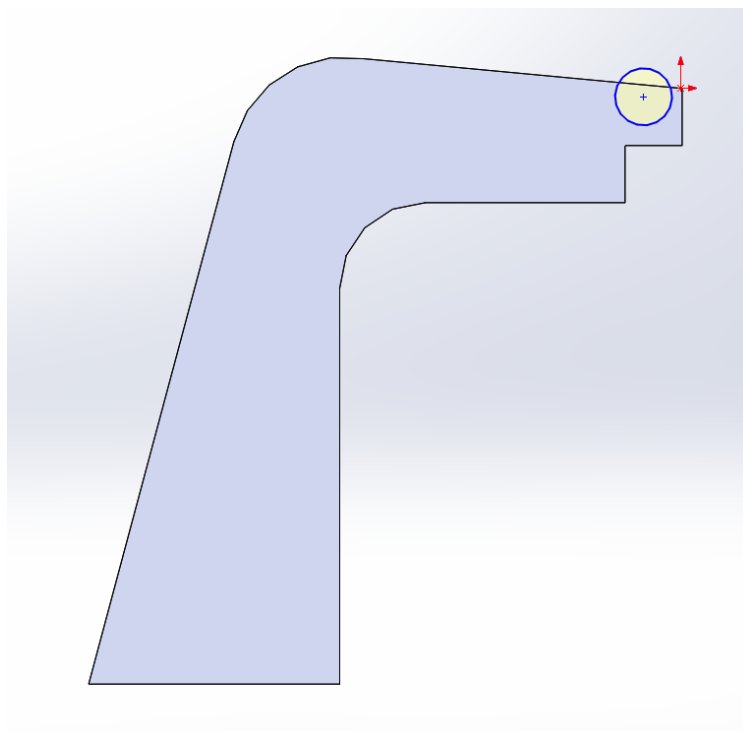


Рисунок 36 – эскиз отверстия для резца

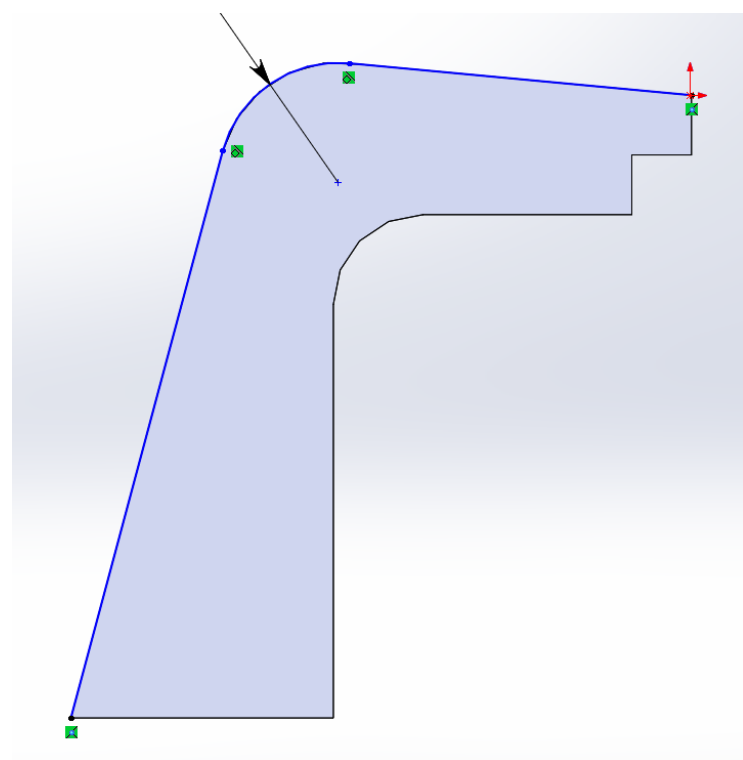


Рисунок 37 – эскиз кривой линии распределения отверстий (синяя линия)

Так же необходимо выбрать «Копируемый элемент», им как раз и будет построенная ранее окружность отверстия (рис. 38). Так же необходимо указать шаг между центрами окружностей и количество копируемых элементов.

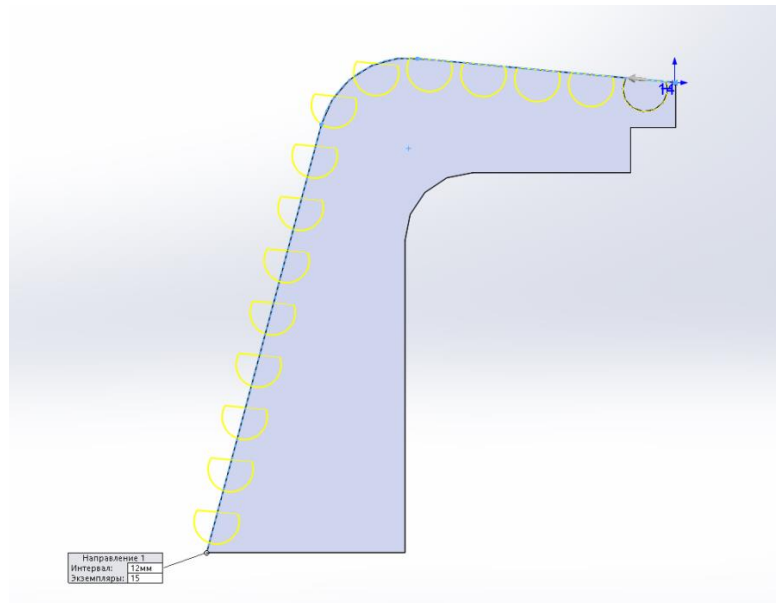


Рисунок 38 – предварительный просмотр будущих отверстий

Модель – трехмерная лопасть с отверстиями под резцы – построена (рис. 39), нужно сохранить изменения, нажав кнопку «ОК» в правом верхнем углу экрана или над панелью управления.

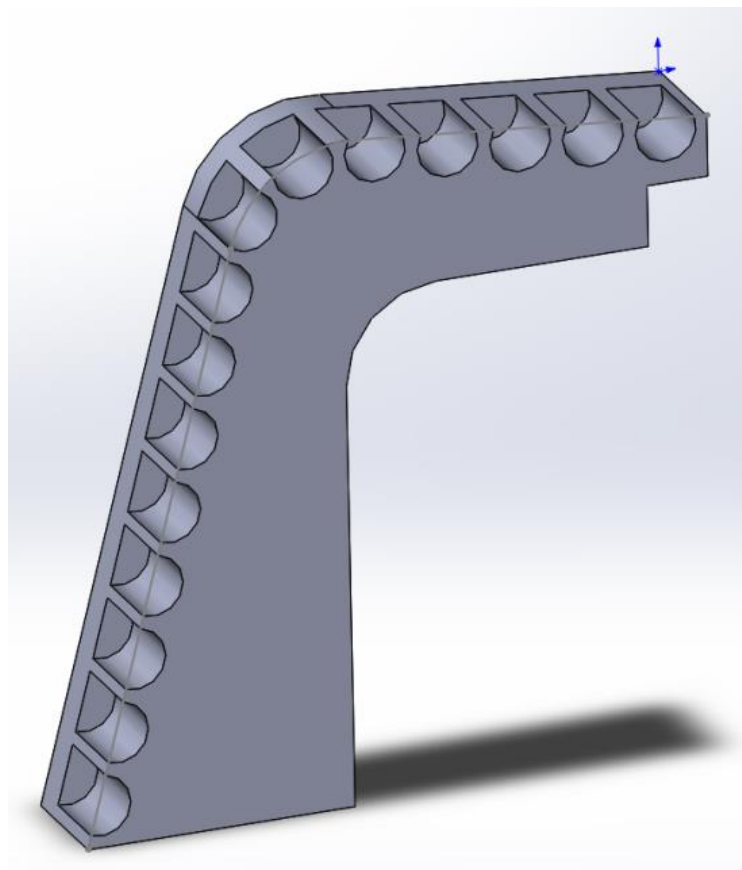


Рисунок 39 – трехмерная лопасть с отверстиями под резцы

Следующим шагом необходимо построить две вспомогательные плоскости, с помощью которых в дальнейшем мы будем привязывать их в общей сборке лопастей. Для этого находим в меню инструмент «Справочная геометрия» → «Плоскость»; далее выбираем ссылки, с помощью которых будет строиться необходимая вспомогательная плоскость. В данном случае нам нужна плоскость прямо по центру детали, для того чтобы в дальнейшем отцентрировать деталь в сборке (рис. 40). Для построения такой плоскости мы выбираем две параллельные плоскости, а третья плоскость построится автоматически между ними на равном расстоянии.

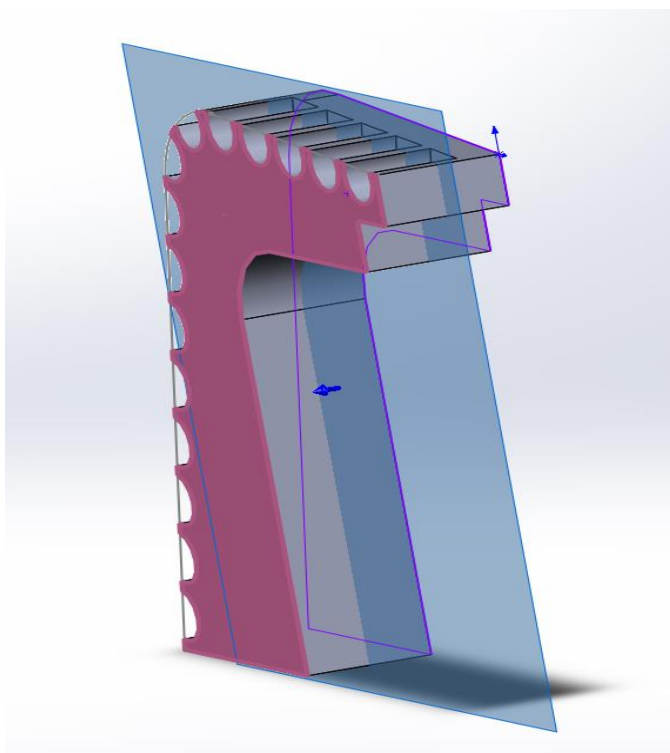


Рисунок 40 – вспомогательная плоскость по центру детали

Вторая плоскость строится прямо на нижней грани лопасти (рис. 41). Для этого аналогично с построением прошлой плоскости выбирается инструмент справочной геометрии «Плоскость», однако для построения плоскости в этот раз, необходимо выбрать только одну ссылку – нижнюю грань лопасти и выбрать расстояние 0 мм.

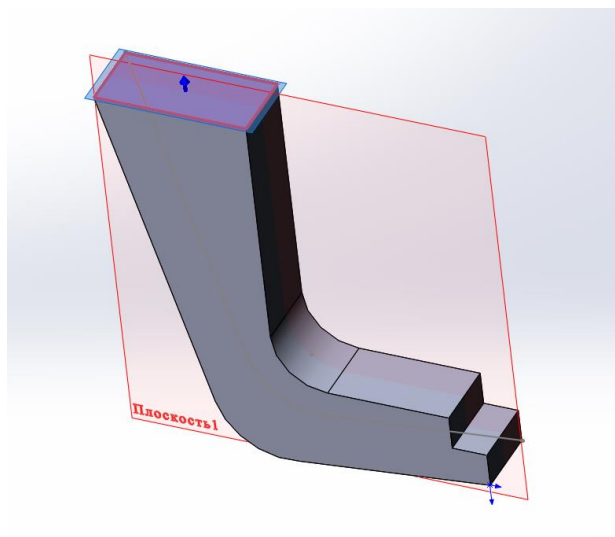


Рисунок 41 – вспомогательная плоскость на нижней грани (синяя плоскость)

На рисунке 42 изображена построенная 3D модель лопасти бурового инструмента.

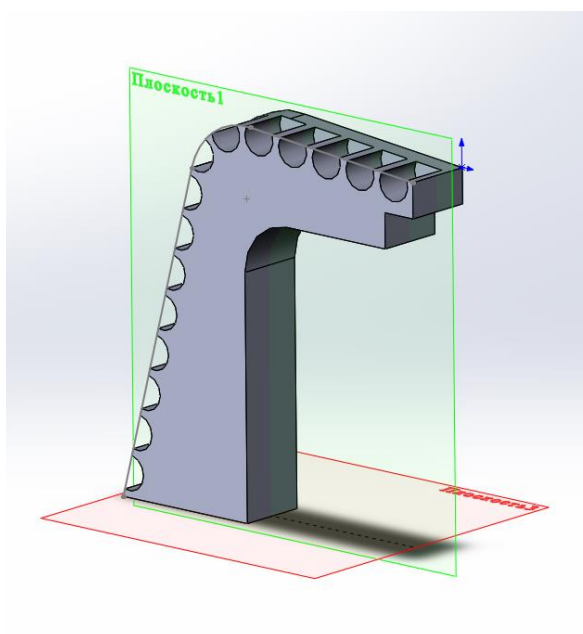


Рисунок 42 – построенная 3D модель лопасти бурового инструмента

Так как буровой инструмент шестилопастной, то нам потребуется построить еще несколько лопастей. По конструктивным особенностям необходимо построить 3 основные (длинные) лопасти, как ранее построенная, и 3 вспомогательные (короткие) лопасти.

Для построения еще двух основных лопастей не обязательно начинать проектирование с самого начала, можно изменить уже существующую

лопасть. Во-первых, необходимо сделать вырез, к которому будет выходить отверстие для промывочной жидкости, во-вторых необходимо сместить отверстия для резцов, потому что там будет вырез упомянутый выше (рис. 43).

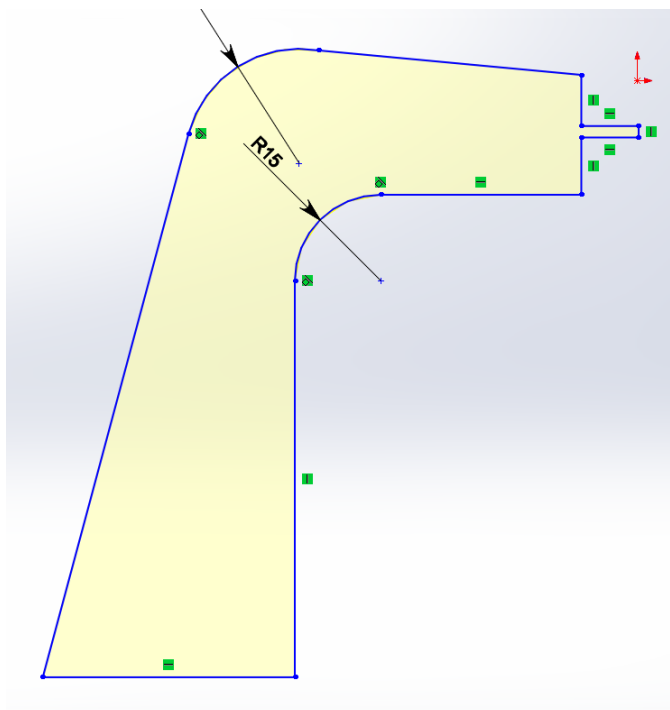


Рисунок 43 – измененный эскиз первой лопасти

Для того, чтобы сделать вырез для второй и третьей лопасти открываем первую лопасть и заходим в редактирование изначального эскиза. Далее необходимо изменить эскиз. Оставленный, необрезанный участок необходим для соединения лопастей между собой.

Следующим шагом необходимо сдвинуть окружности вырезов под резцы. Для этого нужно зайти в эскиз окружности и воспользоваться инструментом «Переместить объекты». В меню необходимо выбрать объект для перемещения, а в графе «Параметры» начальную точку, относительно которой объект будет перемещаться. Эта точка привяжется к курсиву «мыши». Далее нужно перенести окружности чуть левее сделанного ранее выреза.

После этого нужно еще сделать линии соединения, иначе лопасти соединятся под большим диаметром, чем это необходимо. Для этого на

верхней части необрезанного участка нужно создать эскиз с линиями, по которым надо будет отрезать лишнюю часть (рис. 44).

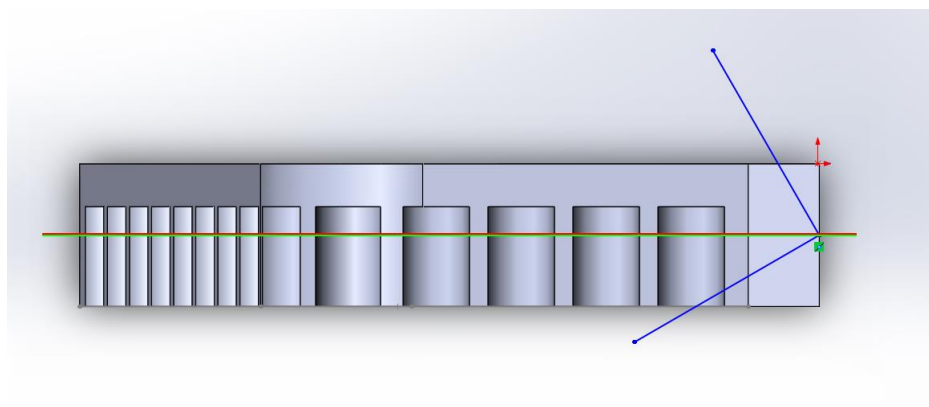


Рисунок 44 – эскиз линий резания, для соединения лопастей между собой

Далее, нужно обрезать мешающую часть, для этого необходимо выбрать инструмент Вытянутый вырез и указать направления, в которых нужно отсечь ненужные объекты (рис. 45).

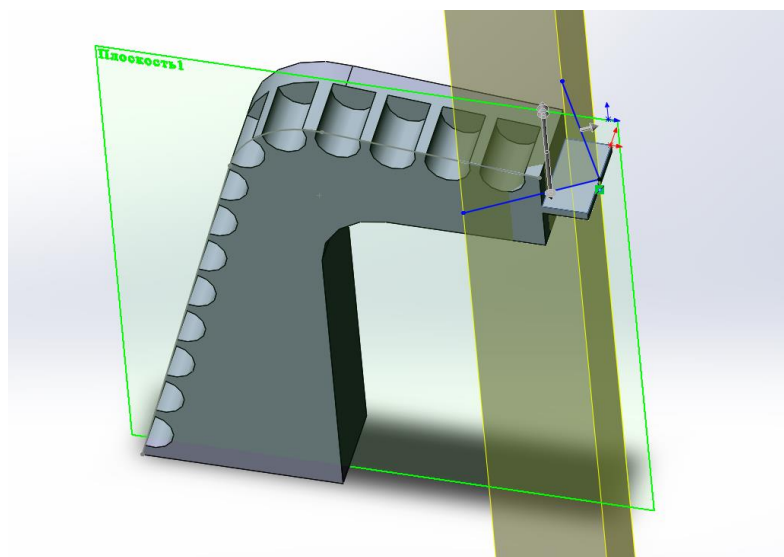


Рисунок 45 – направления отсечения ненужных объектов

После всех преобразований получится лопасть, изображенная на рисунке 46.

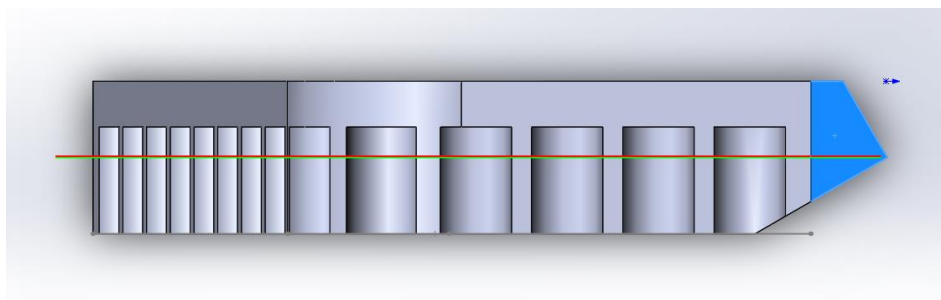


Рисунок 46 – готовая вторая лопасть

Для построения третьей лопасти не обязательно делать те же преобразования с первой лопастью, как для второй, достаточно изменить вторую лопасть. Необходимо просто поменять местами линии резания, чтобы детали в дальнейшем по ним соединились (рис. 47).

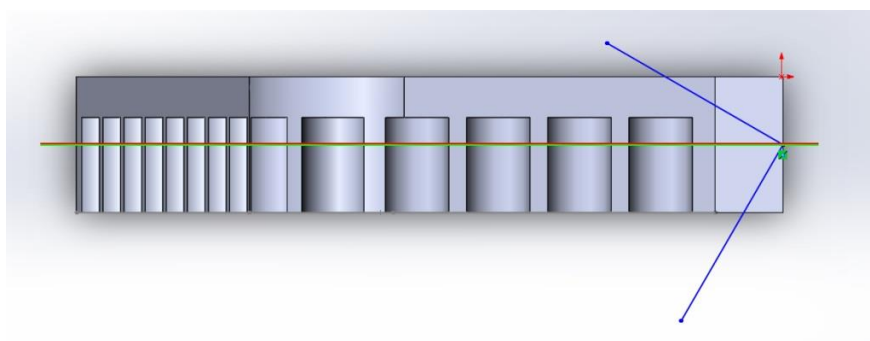


Рисунок 47 – переставленные линии резания

Если эскиз менялся прямо в Вытянутом вырезе, то никаких дополнительных действий не потребуется и после выхода из эскиза вырез сам перестроится (рис. 48).

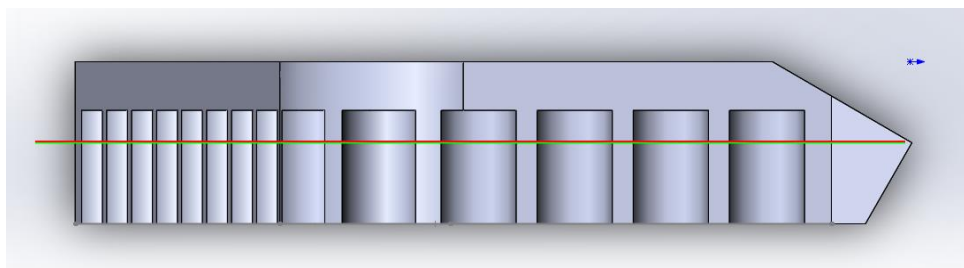


Рисунок 48 – готовая третья лопасть

Для построения вспомогательных лопастей достаточно построить одну, ведь все три лопасти одинаковые. Чтобы построить данную лопасть так же необязательно все строить с самого начала. Достаточно обрезать ненужную часть первой лопасти, то есть укоротить ее. Для этого необходимо создать эскиз на одной из боковых граней лопасти с линией, по которой необходимо отсечь лишнюю часть (рис. 49).

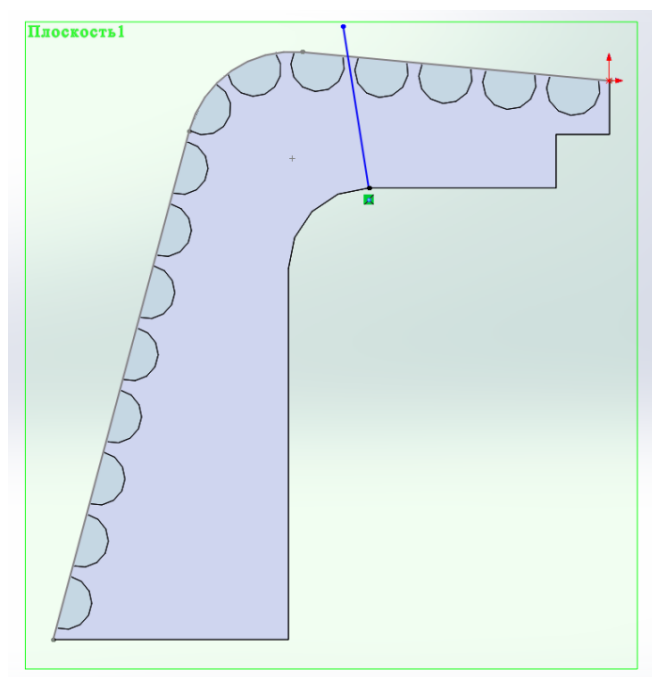


Рисунок 49 – эскиз линии отреза на первой лопасти

Для отсечения лишнего участка нужно использовать инструмент Вытянутый вырез. В меню необходимо указать линию, по которой будет обрез детали, а также направление, с какой стороны от линии будет отсечение объекта (рис. 50).

Теперь все лопасти построены, а значит необходимо их соединить в единую сборку, но еще не хватает одной детали, которая будет соединять лопасти между собой. Деталь будет шестиугольником, на котором будут соединять основные лопасти, а дополнительные с помощью вспомогательных плоскостей.

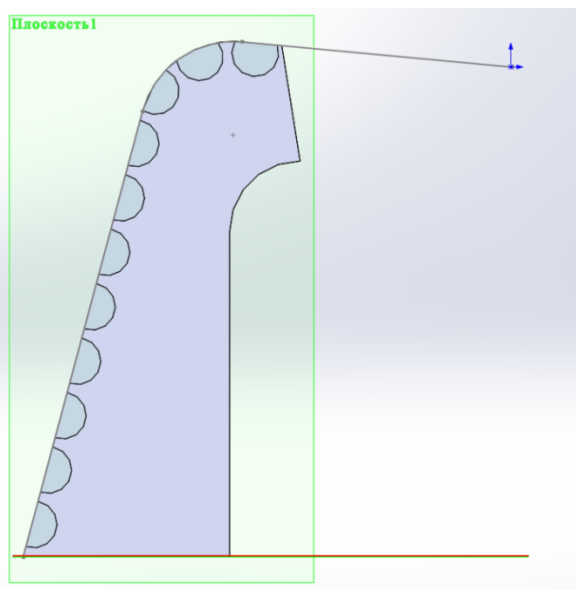


Рисунок 50 – готовая четвертая лопасть

2.6 Построение связующего звена между лопастями

Для построения шестиугольника необходимо создать новый документ и на одной из плоскостей построить шестиугольник нужного размера, с таким радиусом, как длина нижнего выреза у основных лопастей (рис. 51).

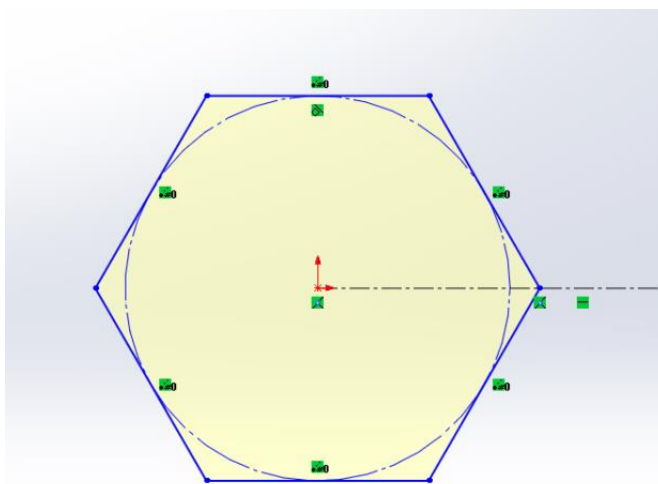


Рисунок 51 – эскиз шестиугольника

Далее, чтобы сделать шестиугольник в объеме, необходимо выбрать инструмент «Вытянутая бобышка/основание». Вытягивать будем на величину глубины выреза на основных лопастях. В нашем случае – 20мм.

После этого следует построить вспомогательные плоскости, для центрирования лопастей на шестиугольнике. Аналогично с прошлыми плоскостями, которые проходили через центр лопасти, строим три вспомогательные плоскости, которые будут проходить через центры граней шестиугольника. Однако в этом случае ссылка нужно выбирать не грани, а линии их пересечения, которые параллельны друг другу. Готовый шестиугольник изображен на рисунке 52, где зелено-красными линиями показаны вспомогательные плоскости, а на рисунке 53 показан шестиугольник в изометрии.

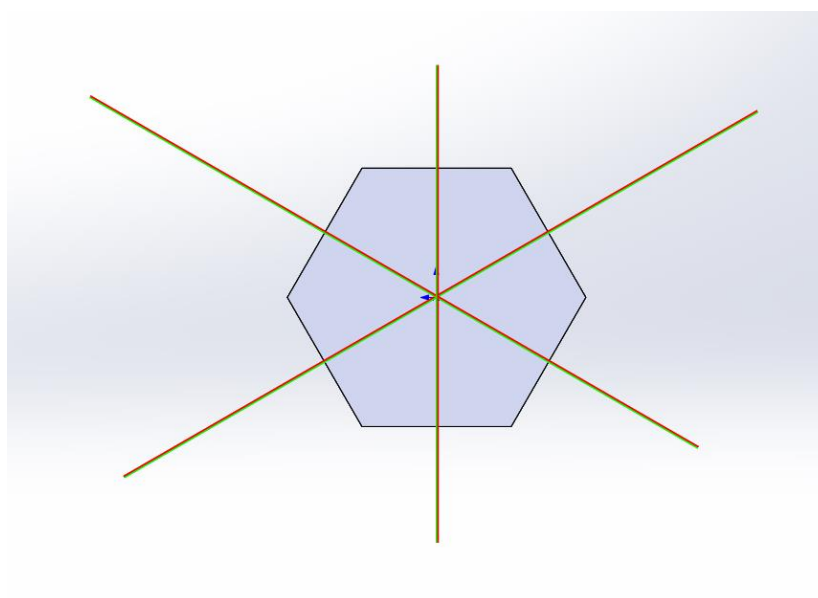


Рисунок 52 – шестиугольник с вспомогательными плоскостями

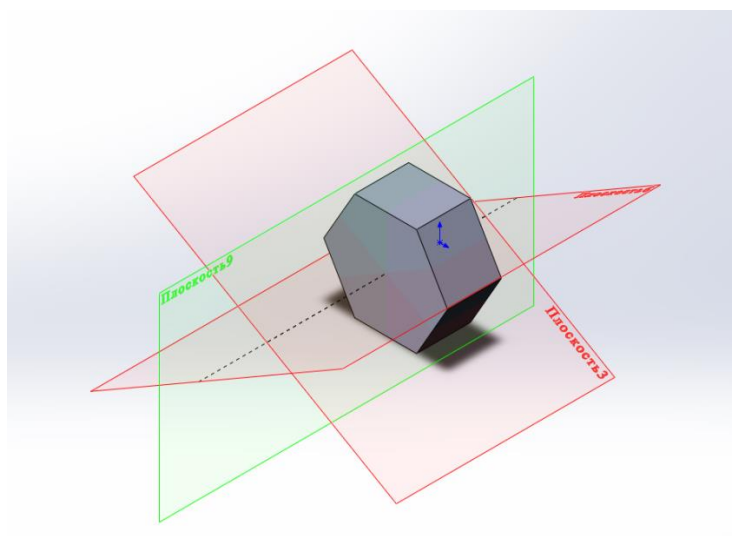


Рисунок 53 – шестиугольник с вспомогательными плоскостями в изометрии

Следующим шагом необходимо построить цилиндр, на котором будут располагаться лопасти. Для построения цилиндра можно воспользоваться двумя способами. Первый – с помощью инструмента «Вытянутая бобышка/основание», второй – с помощью инструмента «Повернутая бобышка/основание». Мы будем использовать первый способ. Сначала нужно построить окружность, для того чтобы в дальнейшем ее вытянуть, но сначала необходимо определить диаметр этой окружности. Для этого сделаем сборку лопастей и измерим диаметр между ними.

2.7 Создание сборки из шести лопастей бурового инструмента

Программный комплекс SolidWorks, как и многие другие САПР, предоставляет пользователю возможности не только работы с чертежами и статичными трёхмерными моделями, но также и комбинирование последних в сборки.

Чтобы собрать уже построенные детали в готовую сборочную единицу, создадим новый документ в формате «Сборка». Воспользуемся кнопкой «Обзор» на панели свойств, чтобы вставить в документ первый компонент будущей сборки – модель шестиугольника. В папке, в которой ранее были сохранены готовые детали, выберем искомую, после чего она сразу же отобразится в рабочей. Можно заметить, что открытая деталь свободно перемещается вслед за движениями мыши. Чтобы её зафиксировать, нажмём на «Начальную точку сборки». Если деталь уже была расположена произвольным образом, совместим начальные точки детали и сборки при помощи привязок. В будущем это поможет комбинировать детали и пригодится при редактировании внешних видов. В режиме работы со сборкой, привязки находятся в разделе «Условия сопряжения» на панели инструментов.

С помощью команды «Вставить компоненты» на панели инструментов добавим к сборке ещё один элемент – лопасть 1 (рис. 54).

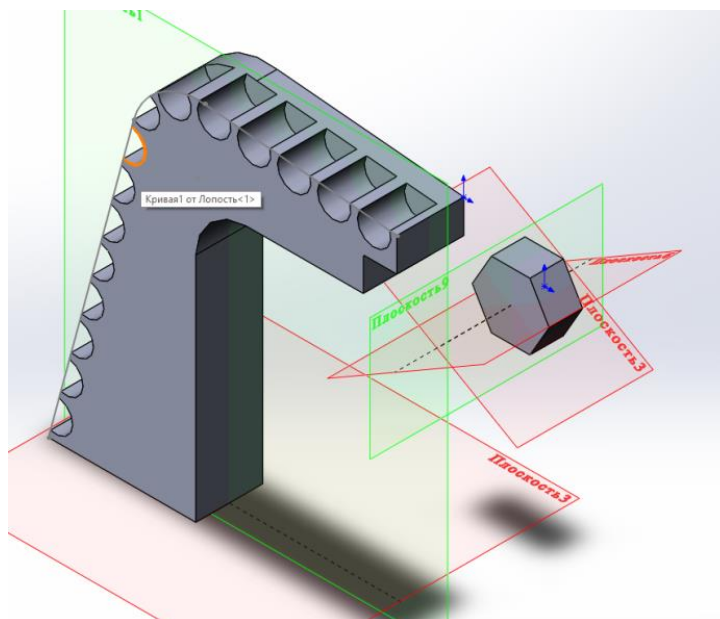


Рисунок 54 – первые элементы сборки

Для того, чтобы правильным образом расположить лопасть, снова воспользуемся привязками. Активируем команду «Условия сопряжения», и поочерёдно нажмём на центральную плоскость лопасти и одну из плоскостей шестиугольника (рис. 55).

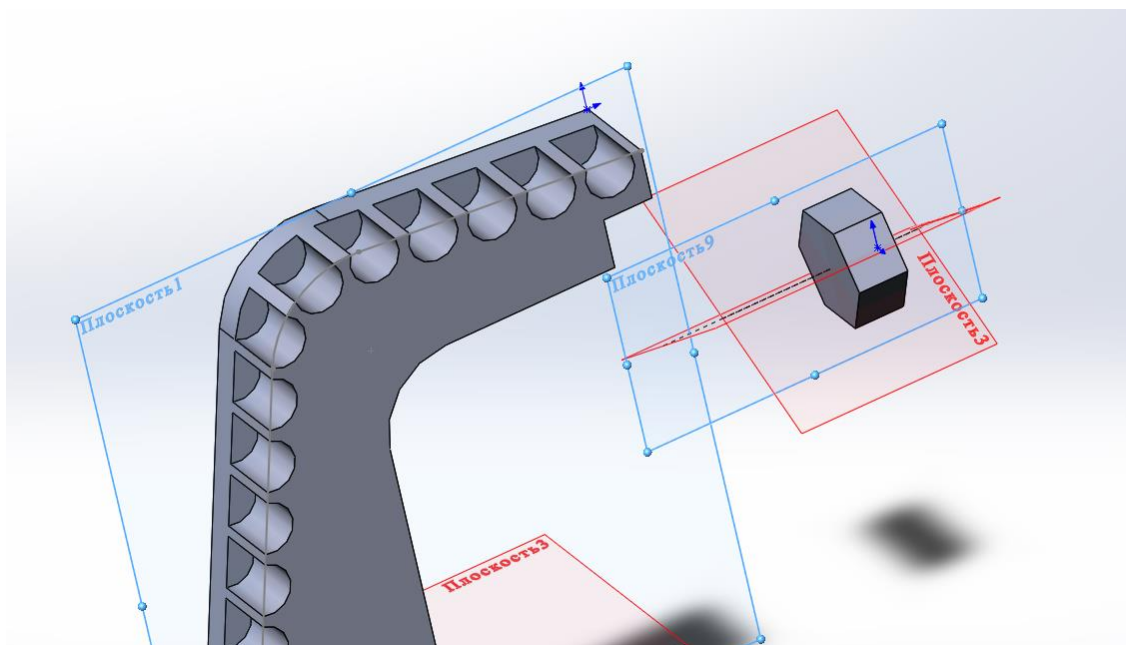


Рисунок 55 – плоскости, участвующие в привязке Совпадение

Для следующей привязке выберем боковую грань шестиугольника, по центру которой находится плоскость и вертикальную грань выреза на лопасти, который делали как раз для крепления к шестиугольнику. Для третьей привязки нужно взять верхние края этих же граней. Тогда лопасть будет неподвижна и встанет на свое место (рис. 56).

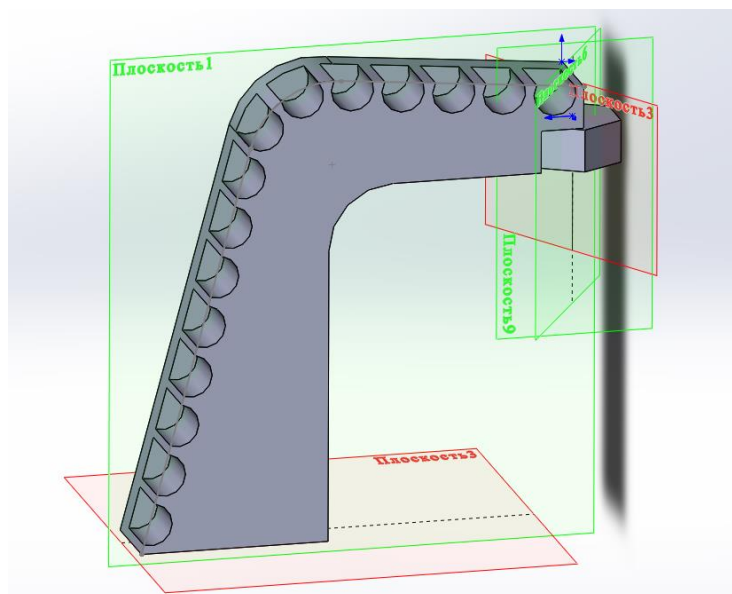


Рисунок 56 – привязанная лопасть к шестиугольнику

Таким же образом привязываем две оставшиеся основные лопасти, чтобы обрезанные части, которые мы делали для соединения лопастей, стыковались между собой (рис. 57).

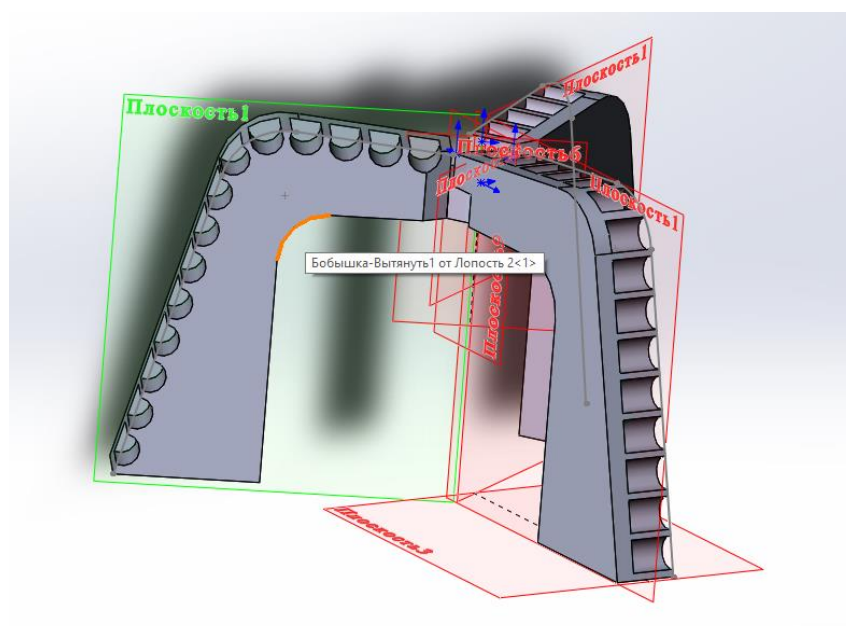


Рисунок 57 – привязанные три лопасти к шестиугольнику

Следующим шагом необходимо привязать дополнительные лопасти, для этого аналогично добавляем лопасть в эту же сборку и привязываем центрированные плоскости, а также нижние плоскости (рис. 58).

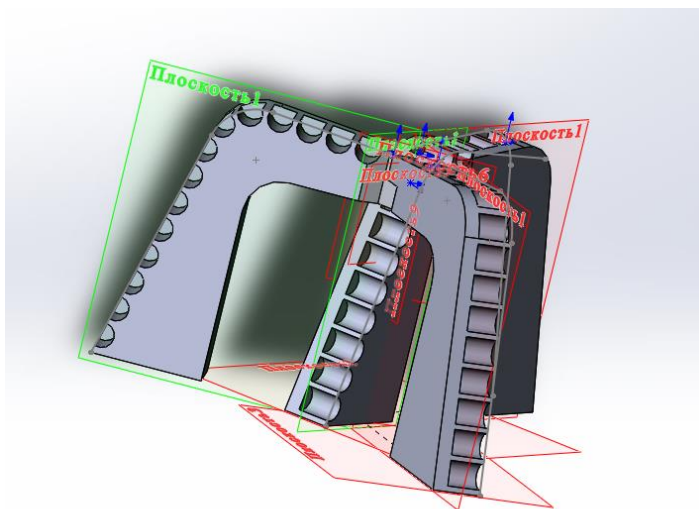


Рисунок 58 – привязанная дополнительная лопасть

Как мы видим, этих двух привязок недостаточно, поэтому нужно сделать вспомогательные круги, для концентрической привязки лопастей между собой. Для этого на нижней вспомогательной плоскости основной лопасти нужно создать эскиз и построить на нем окружность с центром в точке пересечения вспомогательных плоскостей на шестиугольнике и концом на точке, показанной на рисунке 59.

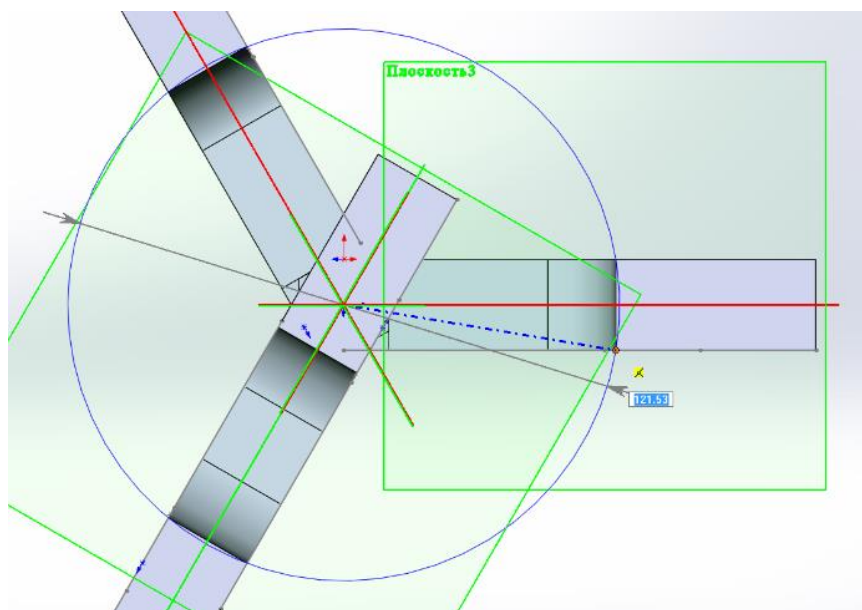


Рисунок 59 – построение вспомогательной окружности

После этого выходим из эскиза и строим окружность такого же диаметра на нижней вспомогательной плоскости четвертой лопасти только не через центр, а с помощью инструмента «Окружность по периметру» (рис. 60).

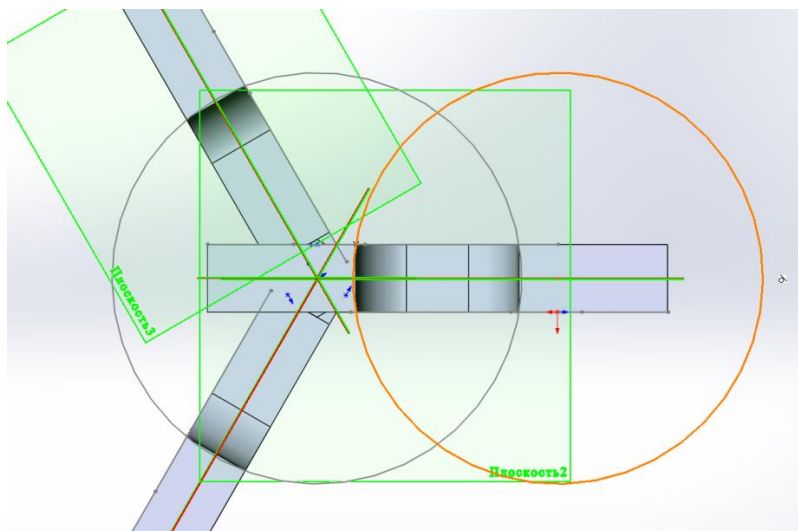


Рисунок 60 – вспомогательная окружность на четвертой лопасти

Теперь можно привязать эти две окружности между собой концентрически и четвертая лопасть встанет на положенное ей место (рис. 61).

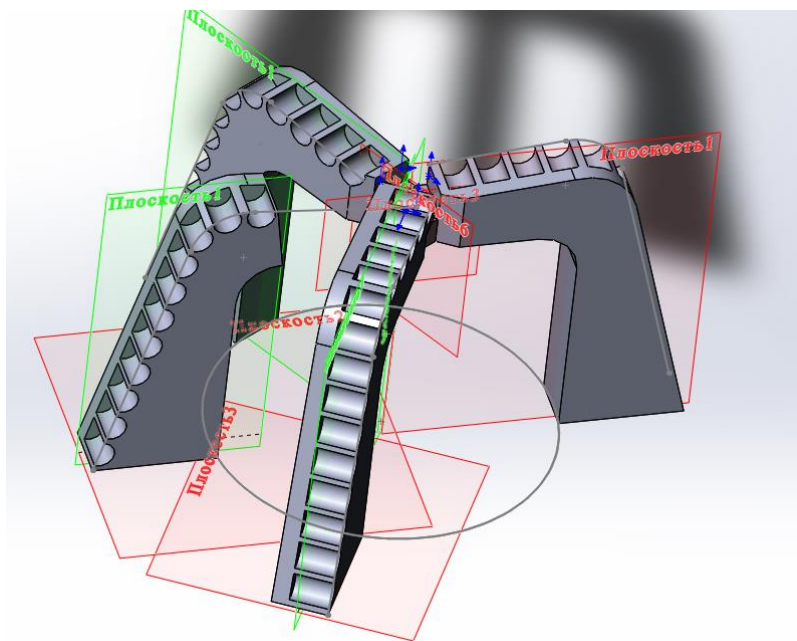


Рисунок 61 – четвертая лопасть в привязке с основными

Таким же образом вставляем и привязываем еще две дополнительных лопасти (рис. 62).

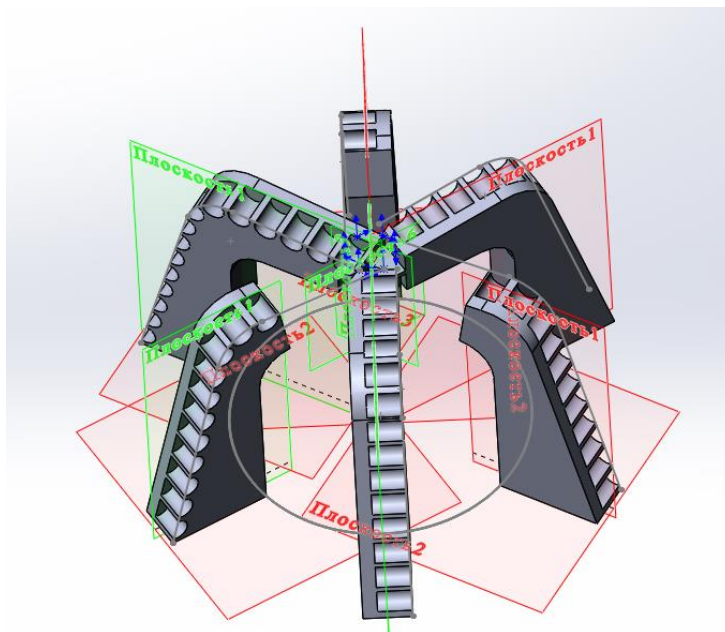


Рисунок 62 – готовая сборка всех шести лопастей

Для дальнейшего удобства создания сборки можно сделать все вспомогательные плоскости и начальные точки деталей невидимыми, чтобы они не загромождали экран. Для этого необходимо в верхней части рабочей области нажать на значок, изображающий очки и в выплывшем списке нажать на элементы, которые хотим сделать невидимыми. Готовый вариант представлен на рисунке 63.

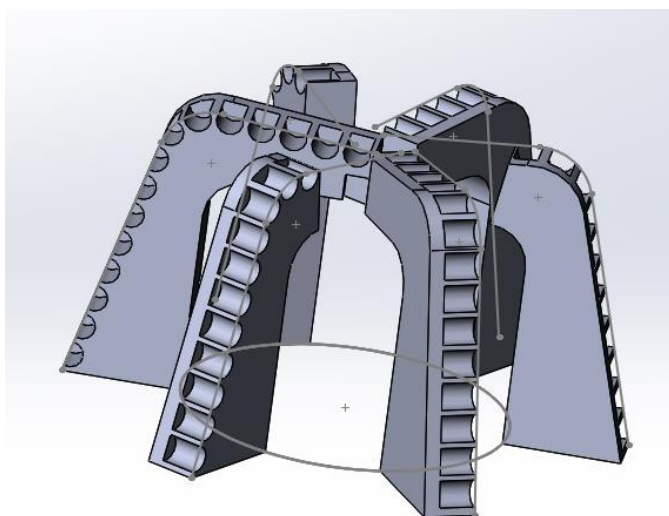


Рисунок 63 – измененная сборка шести лопастей

2.8 Построение цилиндрических деталей бурового инструмента и их составляющих

Ранее говорилось, что мы будем строить цилиндр, на котором будут располагаться лопасти, но нам нужно было узнать диаметр этого цилиндра. В ходе построения сборки шести лопастей мы определили этот диаметр, а именно он будет таким же, как и вспомогательные окружности, нужные нам для концентрического совпадения лопастей.

Итак, создаем новую деталь и в эскизе строим окружность таким же диаметром, что и вспомогательная окружность в сборке шести лопастей. Далее, используя инструмент «Вытянутая бобышка/основание» вытягиваем данную окружность на расстояние на 10мм большее, чем вырез под цилиндр у лопастей (рис. 64).

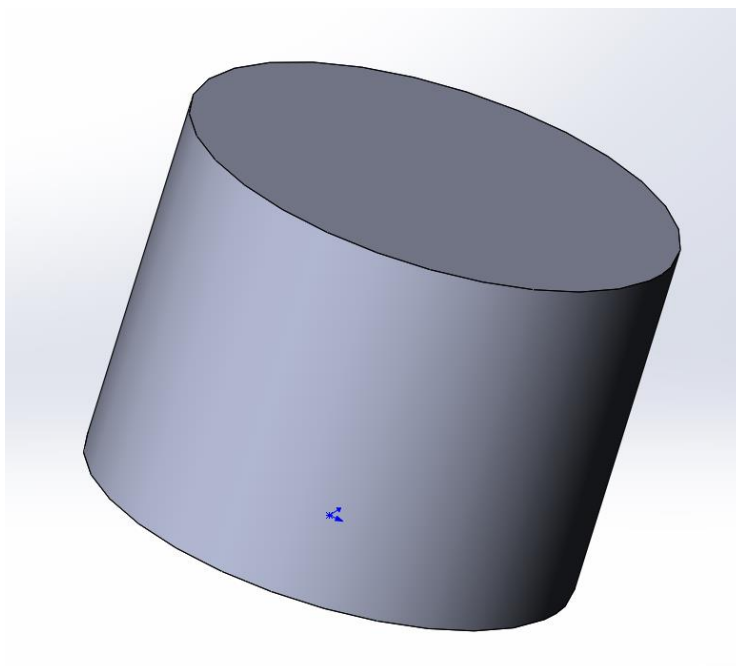


Рисунок 64 – вытянутый цилиндр

Следующим шагом нужно сделать скругление любого угла цилиндра под такой же радиус, как и на вырезе у лопастей. Для этого будем использовать инструмент «Скругление», предварительно выбрав угол на цилиндре (рис. 65).

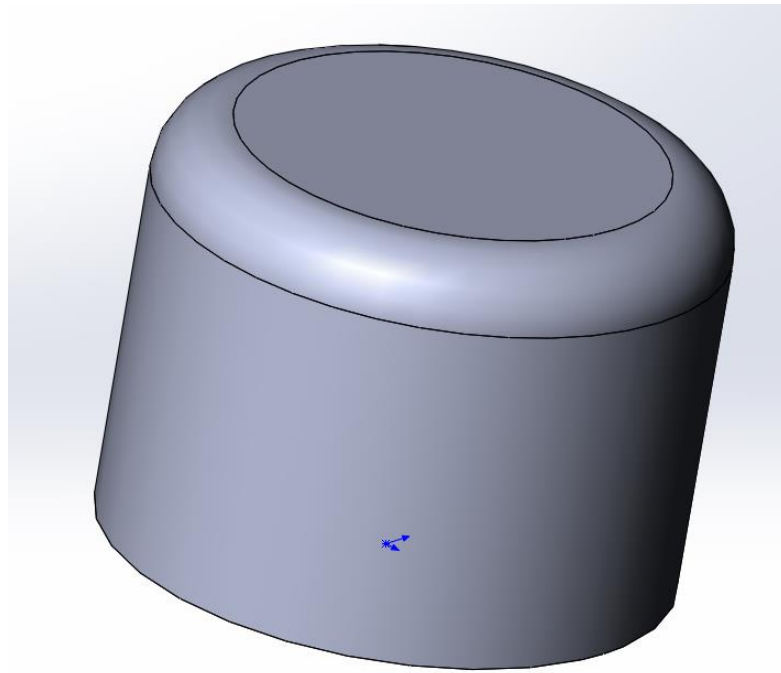


Рисунок 65 – цилиндр с скруглением

Так же в цилиндре необходимо сделать шестиугольное отверстие для крепления некоторых других деталей. Для этого на грани, где отсутствует скругление, нужно построить шестиугольник так, чтобы его центр совпадал с центром окружности этой грани и, воспользовавшись инструментом Вытянутый вырез, вырезать шестиугольное отверстие глубиной 30 мм (рис. 66).

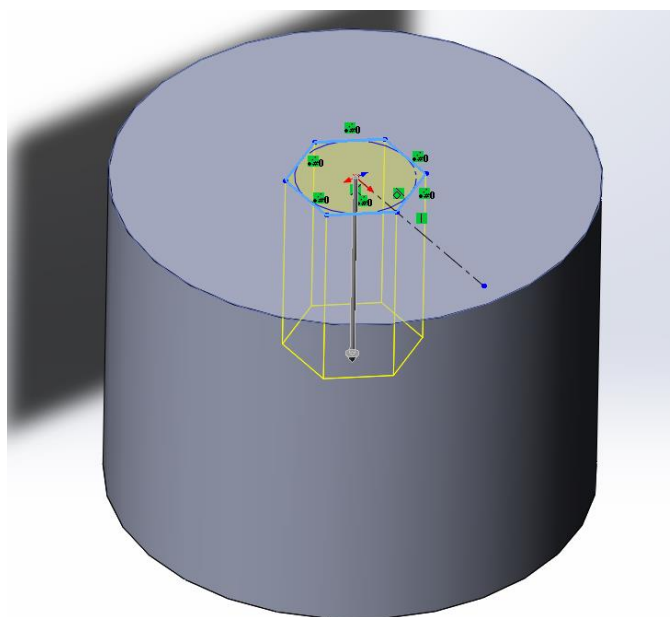


Рисунок 66 – шестиугольный вырез в цилиндре

После этих преобразований цилиндр готов. Далее нужно построить еще один цилиндр такого же диаметра, но менее вытянутый с отверстиями под ключ и отверстием для крепления, как на прошлом цилиндре. Абсолютно по такой же аналогии как с прошлым цилиндром, делаем такой же шестиугольный вырез. Для построения отверстий необходимо создать вспомогательную плоскость параллельно одной из стандартных плоскостей на расстоянии радиуса цилиндра и построить прямоугольник, которым мы будем вырезать в цилиндре отверстие (рис. 67).

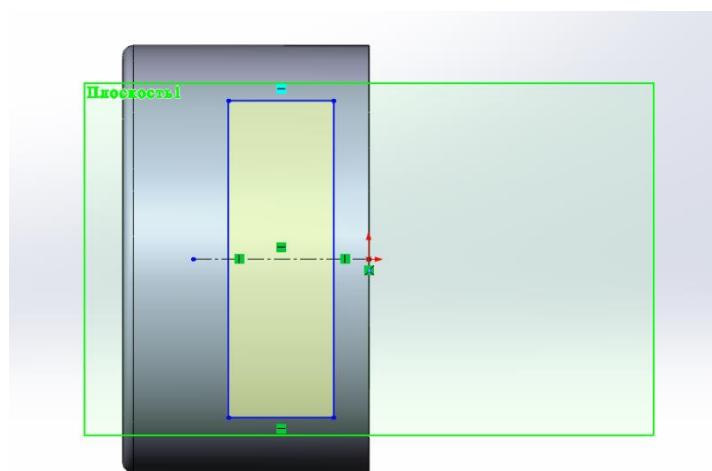


Рисунок 67 – прямоугольник для выреза на цилиндре

Далее, выбрав этот прямоугольник, используем инструмент «Вытянутый вырез» и вырезаем на глубину 10 мм (рис. 68).

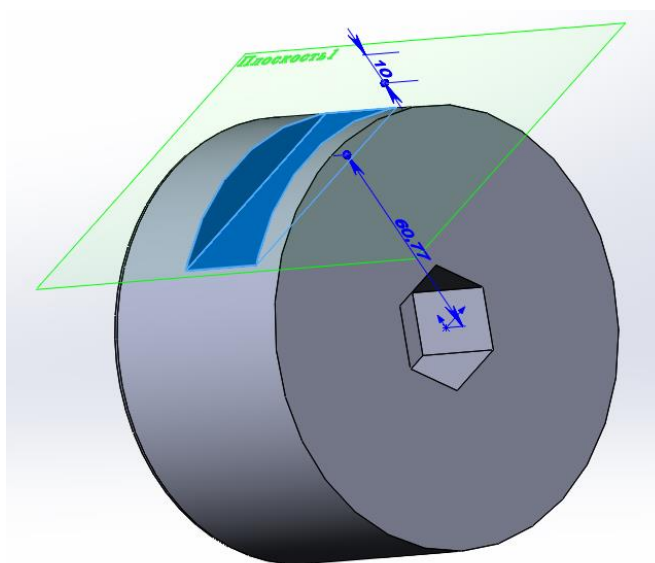


Рисунок 68 – вырез на цилиндре

Для того, чтобы построить второй вырез, воспользуемся инструментом «Зеркальное отображение». В качестве копируемой детали выбираем вырез, а в качестве объекта, относительно которого нужно копировать вырез, выбираем одну из стандартных плоскостей, которая стоит параллельно вырезу (рис. 69).

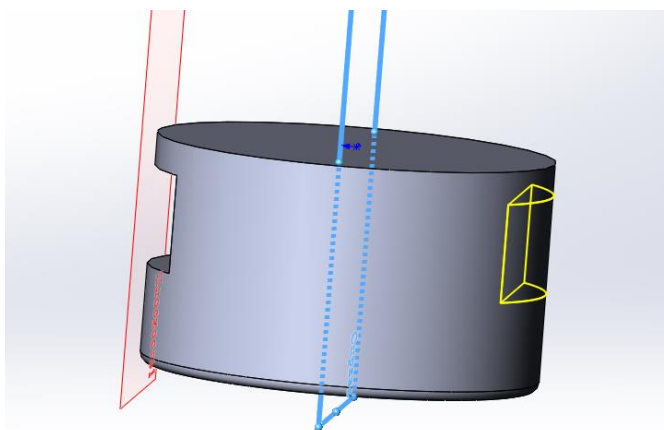


Рисунок 69 – копированный вырез на цилиндре

Следующим шагом построим промежуточную прокладку, через которую будут соединяться цилиндры и к которой будут крепиться шестиугольники. Для этого нужно построить окружность на 10мм меньшего диаметра, чем диаметр цилиндра и воспользовавшись инструментом «Вытянутая бобышка/основание» и вытянуть окружность на 10мм. Так же с каждой стороны нужно сделать шестиугольники для крепления цилиндров. Чтобы их построить нужно на обеих круглых гранях прокладки в центре окружностей построить шестиугольники такого же размера, как отверстия на цилиндрах. После этого каждый из этих шестиугольников вытянуть с помощью инструмента «Вытянутая бобышка/основание» на 30 мм (рис. 70).

Предпоследней деталью будет конец бурового инструмента, с помощью которого он соединяется буровой колонной. Для построения этой детали мы воспользуемся инструментом «Повернутая бобышка/основание», предварительно построив эскиз, показанный на рисунке 71.

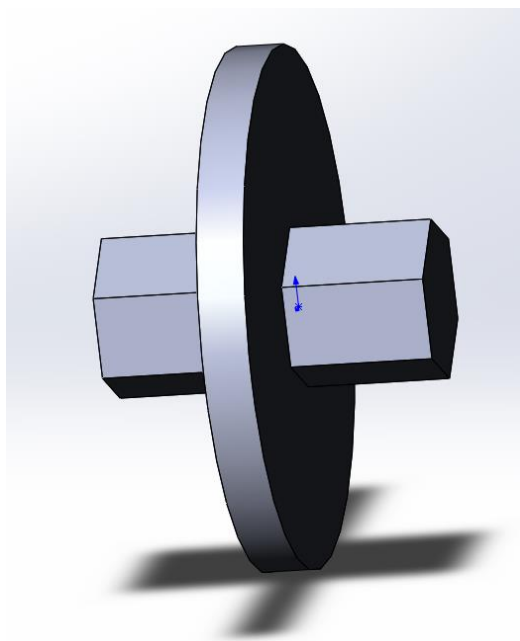


Рисунок 70 – прокладка с шестиугольниками

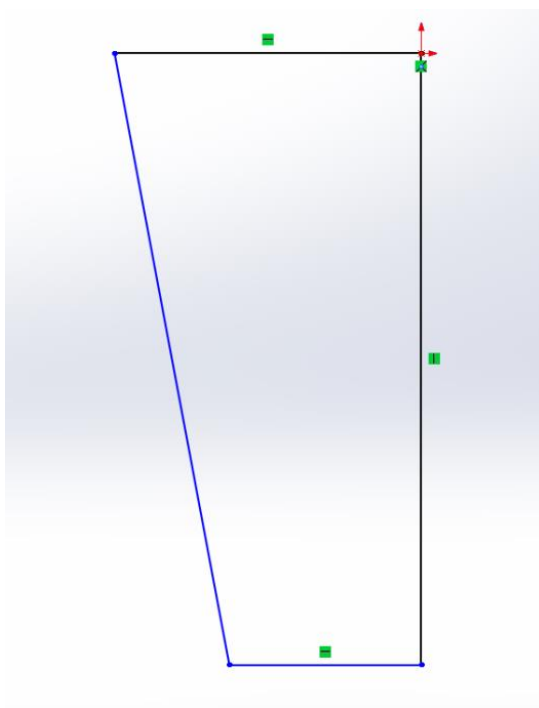


Рисунок 71 – эскиз конечной части бурового инструмента

Выбрав эскиз в дереве построений, нажимаем на инструмент «Повернутая бобышка/основание». В меню необходимо выбрать ось вращения, ей будет служить горизонтальная линия, которая выходит из начальной точки эскиза. Выбираем её и в предварительном просмотре видим, как будет выглядеть готовая деталь (рис. 72). Завершаем построение детали.

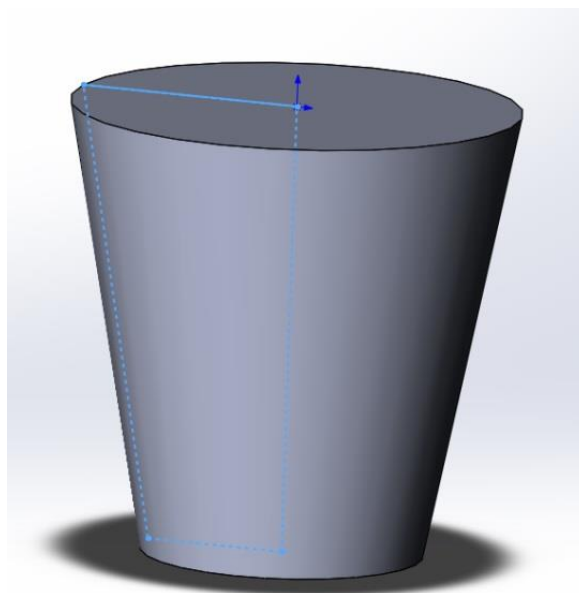


Рисунок 72 – построенная конечная часть бурового инструмента

Последней деталью бурового инструмента является резец. Он представляет собой цилиндр диаметром 10мм, так как именно такого диаметра мы сделали отверстия, и длиной 14мм. По аналогии с большими цилиндрами, этот строим точно так же: сначала на эскизе строим окружность нужного нам диаметра, потом, воспользовавшись инструментом «Вытянутая бобышка/основание», вытягиваем эту окружность на нужное расстояние (рис. 73). Далее соединим все детали в единую сборку бурового инструмента.

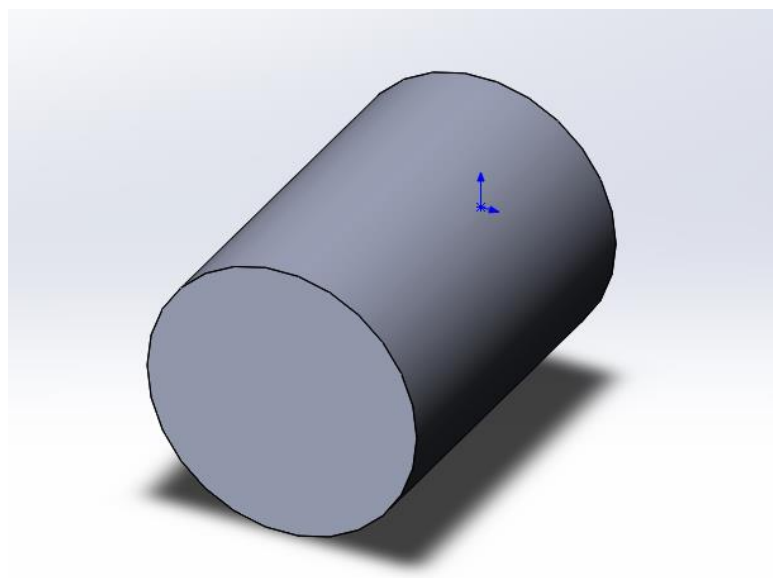


Рисунок 73 – готовый резец (пластина PDC)

2.9 Компоновка единой сборки бурового инструмента

Когда все детали по отдельности построены, можно приступить к составлению единой сборки детали. Для этого необходимо создать новый документ SolidWorks и в меню выбора типа документа выбрать: «Трехмерное расположение деталей и других сборок». Далее нужно добавить на рабочую область «Деталь», которая зафиксируется на начальной точке и относительно которой мы будем собирать сборку. В нашем случае выберем построенный нами самым первым цилиндр, к которому планировалось присоединять сборку лопастей. И сразу же добавим на рабочую область прокладку с шестигранниками (рис. 74).

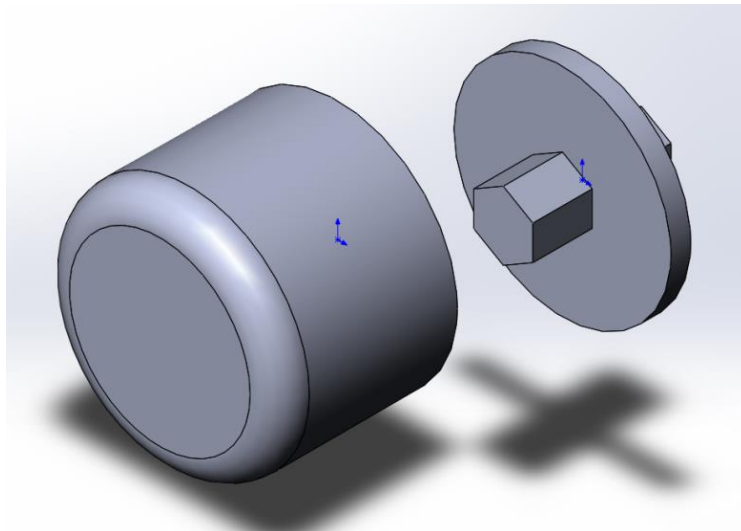


Рисунок 74 – цилиндр с прокладкой на рабочем поле сборки

Дальше необходимо соединить эти две детали между собой «Условием сопряжения». Ранее мы сначала открывали меню «Условия сопряжения», а потом выбирали грани, которые нужно соединить. В этот раз воспользуемся другим способом. Для него в первую очередь нужно выделить грани, которые необходимо соединить, с зажатой клавишей Shift, а потом выбрать пункт меню «Условия сопряжения». Нам, чтобы соединить эти две детали, нужно с зажатой клавишей Shift выделить торцевую грань шестиугольника на прокладке и такую же грань шестиугольника в конце отверстия в цилиндре. На рисунке 75 эти грани показаны голубыми шестиугольниками.

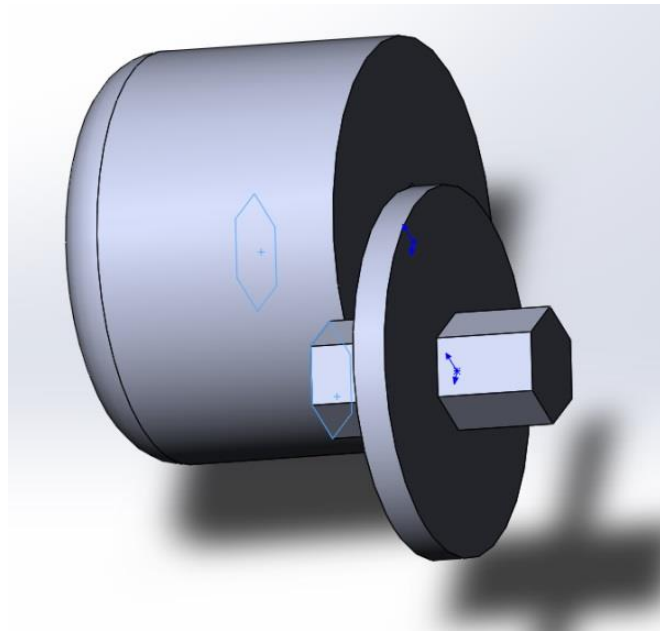


Рисунок 75 – выделенные торцы соединения деталей

Далее выбираем инструмент «Условия сопряжения» и детали соединятся между собой, однако видно, что одного определения сопряжения не хватает, потому что детали продолжают двигаться относительно друг друга по плоскости соединения. Чтобы окончательно их соединить, нужно выбрать одну из граней шестиугольника на прокладке и соответствующую ей грань шестиугольника в вырезе и повторить это действие еще для одной грани, не параллельной прошлой (рис. 76).

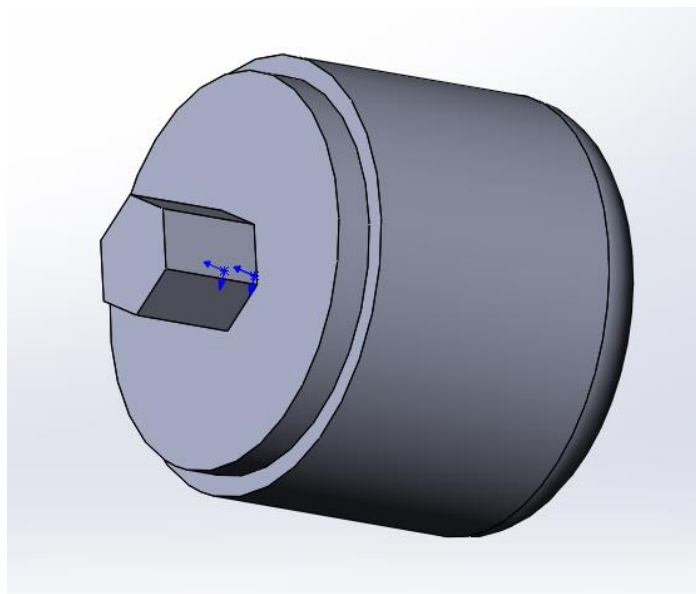


Рисунок 76 – цилиндр, соединенный с прокладкой

Аналогичным способом, с другой стороны прокладки, необходимо присоединить второй цилиндр с вырезом под ключ (рис. 77).

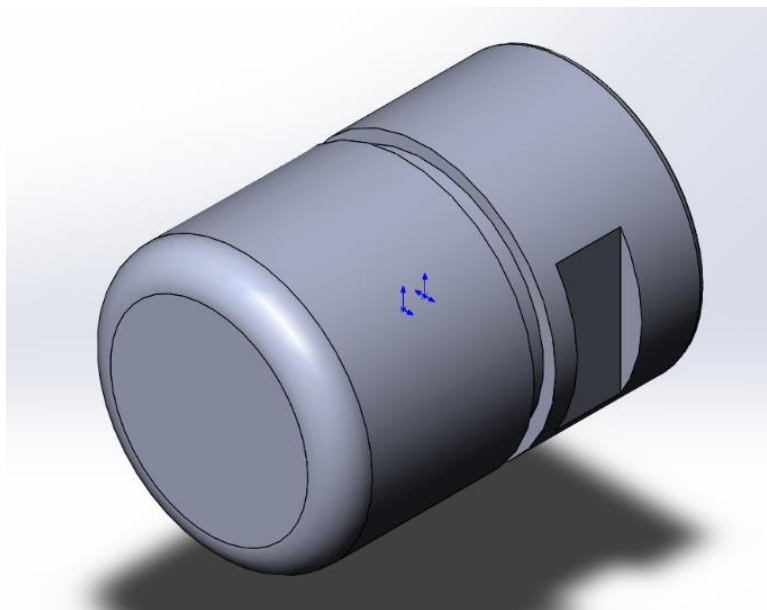


Рисунок 77 – цилиндр соединен с прокладкой и цилиндром с вырезом под ключ

Следующим шагом нужно присоединить конечную часть бурового инструмента. Для этого не хватит одной привязки между двумя торцевыми плоскостями. На цилиндре с вырезом под ключ необходимо построить вспомогательную окружность из центра окружности этого цилиндра такого же диаметра, как и конечная деталь бурового инструмента. На рисунке 78 окружность выделена голубым цветом.

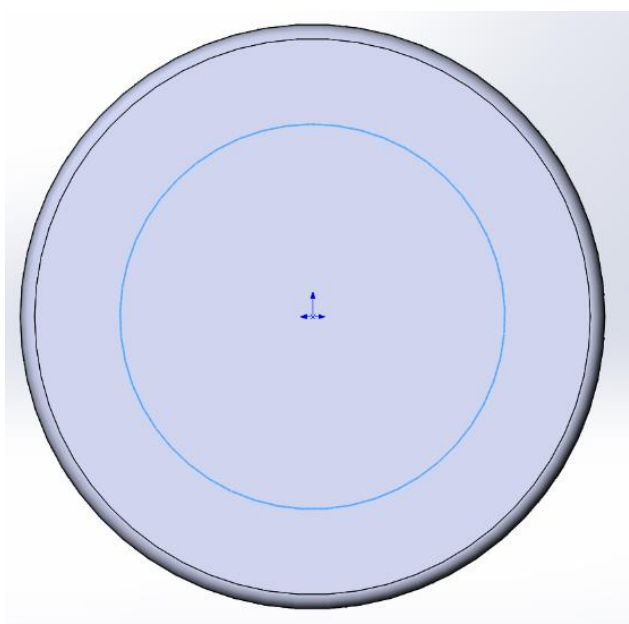


Рисунок 78 – вспомогательная окружность на торце цилиндра

Далее вставляем на рабочее поле конечную часть бурового инструмента и соединяем вспомогательную окружность с контуром торца конечной части, у которого больше диаметр, а также торцы деталей, на которых находятся эти объекты (рис. 79).

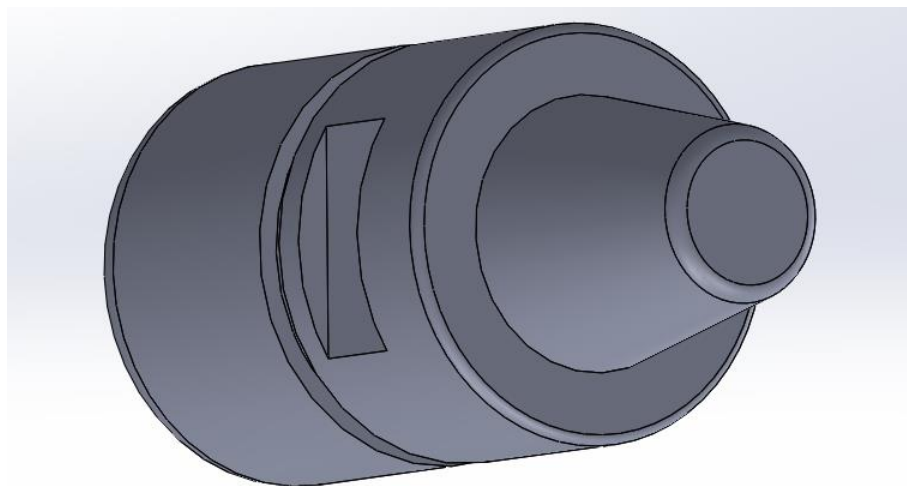


Рисунок 79 – присоединение конечной части бурового инструмента

Остался предпоследний этап – это присоединение к сборке, ранее составленной нами сборки с шестью лопастями. Для этого нужно добавить сборку с шестью лопастями на рабочее поле, затем, во-первых, нижний торец шестиугольника, который соединяет лопасти между собой, соединить с верхним торцом цилиндра, во-вторых, вспомогательный круг, с помощью которого мы соединяли основные лопасти с дополнительными, соединить с закругленным торцом цилиндра концентрически (рис.80).

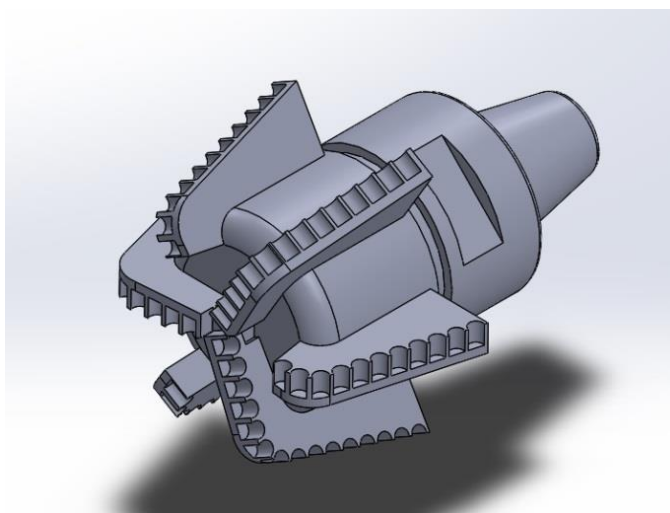


Рисунок 80 – присоединение лопастей к общей сборке

Последним шагом остается добавление резцов в отверстия на лопастях. Мы не будем вставлять каждый резец в соответствующее ему гнездо. Так как резцы все одинаковые, нам достаточно поставить один резец в самом первом отверстии на лопасти с помощью привязки торца резца к такому же торцу в отверстии на лопасти, а закругление резца связать с закруглением отверстия (рис. 81).

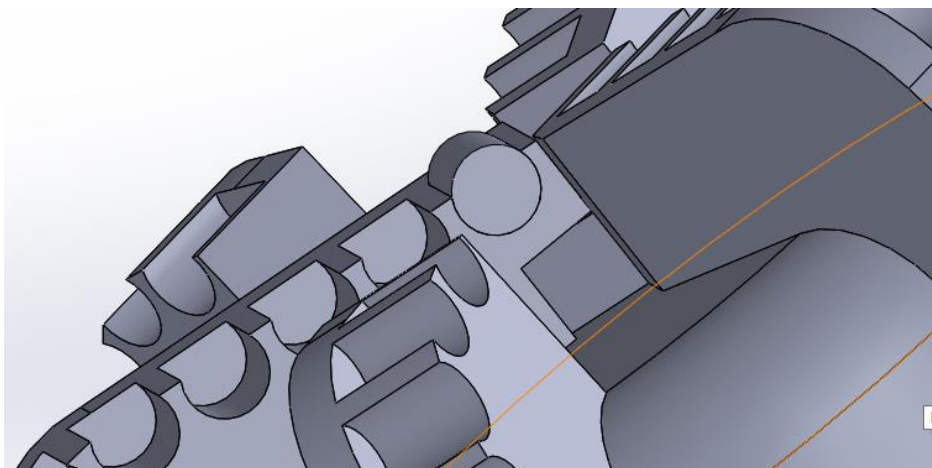


Рисунок 81 – резец в первом отверстии первой лопасти

Далее нужно выбрать инструмент «Массив компонентов, управляемых кривыми». В качестве траектории необходимо выбрать кривую, по которой мы ранее распределяли отверстия под резцы, а компонентом массива (телом, которое будем копировать) резец, вставленный в отверстие ранее. В свойствах нужно выбрать те же значения количества копируемых элементов и шаг между ними, что и когда мы так же копировали отверстия на этой же лопасти (рис. 82).

Такие действия необходимо совершить со всеми лопастями бурового инструмента и тогда мы получим готовую 3Dмодель шестилопастного бурового инструмента с применением пластин PDC (рис. 83).

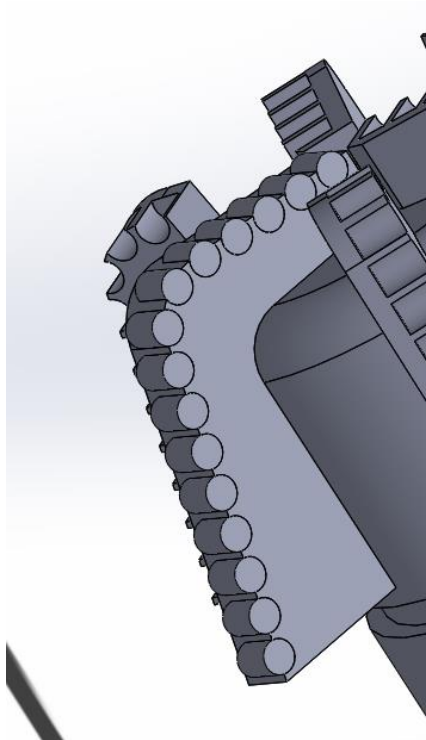


Рисунок 82 – скопированные резцы во все отверстия на лопасти

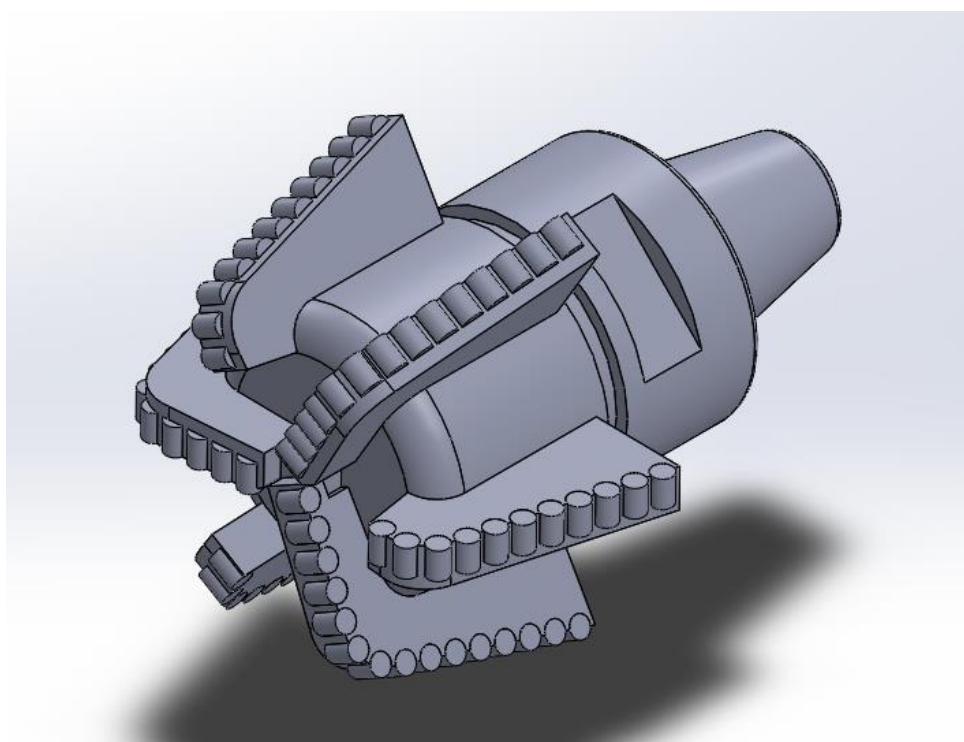


Рисунок 83 – готовая 3D модель бурового инструмента

ВЫВОД

В данной главе ВКР нами была разработана последовательность проектирования бурового инструмента с применением пластин PDC с помощью программного комплекса САПР SolidWorks(Солидворкс). Программный комплекс САПР SolidWorks(Солидворкс) предназначен для автоматизации инженерных задач на конструкторском и технологическом этапах проектирования, включает в себя стандартную (базовую) конфигурацию и различные дополнительные прикладные модули. Все прикладные модули SolidWorks функционируют в интегрированном режиме и построены по принципу единой информационной модели.

Построение модели шестилопастного бурового инструмента с поликристаллическими алмазно-твердосплавными пластинами типа PDC (polycrystallinediamondcutters) Stratapax (GeneralElectric, США), используемого для бурения скважин различного назначения в мягких горных породах и пород средней твердости, а также частично в твердых включает в себя определенные этапы, которые и были нами реализованы:

- построение эскиза лопасти бурового инструмента;
- построение трехмерной модели лопасти бурового инструмента;
- преобразование исходной модели лопасти с использованием вспомогательной геометрии;
- построение связующего звена между лопастями;
- создание сборки из шести лопастей бурового инструмента;
- построение цилиндрических деталей бурового инструмента и их составляющих;
- компоновка единой сборки бурового инструмента.

Этапы построения модели шестилопастного бурового инструмента с поликристаллическими алмазно-твердосплавными пластинами типа PDC с помощью программного комплекса САПР SolidWorks(Солидворкс) подробно описаны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрушение горных пород является основной операцией при добыче и переработке полезных ископаемых. В процессе бурения скважин важную роль играет качество проходки бурового долота и качество забоя. В настоящее время разрабатываются новые виды долот. С использованием современных технологий производства удастся получить долота с высоким сроком службы, большой проходкой и скоростью работы, что позволяет уменьшать затраты и увеличить эффект. Для бурения скважин различного назначения в мягких горных породах и пород средней твердости, а также частично в твердых породах применяются долота с поликристаллическими алмазно-твердосплавными пластинами типа PDC (polycrystallinediamondcutters) Stratapax.

Цель данной работы – разработка последовательности построения твердотельной 3D модели бурового инструмента с применением пластин PDC –, в процессе ее выполнения, была достигнута.

В результате теоретического обзора литературы по теме исследования в первой главе ВКР были изучены и проанализированы существующие конструкции бурового инструмента и способы разрушения горных пород при бурении скважин, рассмотрены конструктивные особенности и возможности применения бурового инструмента. Далее во второй главе ВКР был представлен программный комплекс САПР SolidWorks, изучены ее технические возможности, разработана конструкция шестилопастного бурового инструмента с поликристаллическими алмазно-твердосплавными пластинами типа PDC и выполнена техническая документация этапов его построения. Результаты выполненного исследования могут успешно использоваться специалистами, занимающимися вопросами разработки конструкций шестилопастного бурового инструмента с применением пластин типа PDC, а также в учебном процессе при разработке методических пособий по проектированию данного бурового инструмента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абубакиров В. Ф., Буримов Ю. Г. Буровое оборудование: Справочник: в 2-х т. Т. 2. Буровой инструмент. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 2003.
2. Басарыгин Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: науч. издан. / Булатов А.И., Проселков Ю.М., 2001 г. – 675 с.
3. Борисов К.И. Научная база нового метода оценки эффективности процессов разрушения горных пород современными инструментами режуще-скалывающего действия // Вестник ЦКР Роснедра. – 2011. – № 4. – С. 51–58.
4. Борисов К.И. Научный метод оценки эффективности динамических процессов разрушения горных пород при бурении скважин современными инструментами режуще-скалывающего действия: дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 2012. – 181 с.
5. Данилов А.К., Левкович Е.М., Привалихин Р.С. (2014), Горизонтальное бурение на границе сред разной прочности // Горная промышленность №3(115) 2014 стр. 107
6. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. – Красноярск: СФУ, 2012. – 300 с.
7. Нейштетер И.А. Кинетическая природа статического и динамического разрушения горных пород // Межвузовский научный тематический сборник «Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые». Вып. 21. – Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1998. – С. 53–67.
8. Рожков В.П. Разработка теоретических основ и совершенствование бурения геологоразведочных скважин алмазным породоразрушающим инструментом: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 1999. – 32 с.

9. Овчинников В.П. Справочник бурового мастера. Том 2: Учебно-практическое пособие в 2-х томах / Овчинников В.П. — Москва: Инфра-Инженерия, 2006. — 608 с.

10. Северинчик Н.А. “Машины и оборудование для бурения скважин”

11. Сусликов А. С., научный руководитель доцент кафедры ТМОНГК к.т.н. Данилов А. К. Лопастное долото с поворотными режцами горных машин, УДК 622.23.05Рлабен А.А., Шевалдин П.Е., Максutow Н.Х. Монтаж и ремонт бурового и нефтепромыслового оборудования. М., Недра, 1980.

12. Сусликов А.С., научный руководитель канд. техн. наук Данилов А. К. Повышение работоспособности бурового инструмента лопастного типа на основе применения поворотных режущих элементов, УДК 62-233.3/.9

13. ССК. Справочник специалиста по бурению / ЗАО «ССК». – 456 с.

14. Файловый архив для студентов studfiles [Электронный ресурс]: Породоразрушающий инструмент – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5737899/page:7/>