

Лекция 1.2 Породоразрушающий алмазный буровой инструмент

Алмазный буровой инструмент и его применение

При бурении скважин на нефть и газ на забое скважин встречаются различные по твёрдости и абразивности горные породы. Для повышения эффективности их разрушения и выноса разрушенной породы из скважины целесообразно использовать (особенно при глубине скважин более 2000 м) алмазный буровой инструмент (далее АБИ). Наиболее эффективно применять АБИ в регионах, где стоимость буровых работ высока, например, при использовании тяжёлых буровых установок на суше, при бурении глубоких и очень глубоких скважин или при бурении с платформ, при бурении с отбором керна, при бурении скважин малого диаметра, в том числе наклонно-направленных, при турбинном способе бурения с высокой частотой вращения. Технико-экономический эффект от применения алмазных долот получается за счёт сокращения количества и времени на спуско-подъёмные операции, за счёт больших проходок на алмазное долото.

Алмазные бурголовки обеспечивают наиболее благоприятный режим разрушения горной породы на забое скважины резанием (смятием, сдвигом) с незначительной динамикой (вибрацией), что создаёт необходимые условия для сохранения целостности и качества керна, высокого процента его выноса.

Алмазный буровой инструмент (АБИ) в соответствии с требованиями ГОСТ 26474 — 85 изготавливается пяти типов: М — для бурения мягких пород; МС — для бурения мягких пород с пропластками пород средней твердости; С — для бурения пород средней твердости; СТ — для бурения пород средней твердости с пропластками твердых пород; Т — для бурения твердых пород.

По конструктивному исполнению АБИ подразделяются на инструмент матричного вида и со стальным корпусом. В АБИ матричного вида природные, синтетические и другие породоразрушающие элементы закреплены в износостойком матричном слое способом порошковой металлургии.

В АБИ со стальным корпусом породоразрушающие элементы из композиционного материала, изготовленного на основе природных, синтетических алмазов и алмазно-твердосплавных материалов в виде пластин и цилиндров, закреплены в стальном корпусе с помощью пайки или запрессовки.

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

- первая буква указывает вид инструмента (Д — долото алмазное для бурения сплошным забоем; К — бурильная головка алмазная для бурения с отбором керна, используемая совместно с керноотборным инструментом);
- вторая (третья и четвертая) буква указывает на конструктивные особенности и способ армирования (Р — мелкие торовидные выступы на торцевой рабочей поверхности, Т — ступенчатая форма рабочей торцевой поверхности, И — импрегнированный способ армирования, АП — алмазная пластина, В — резное долото, С — синтетические алмазы, Ф — долото-фрезер для прорезания окна в обсадной колонне);
- цифры обозначают номинальный диаметр долота, наружный и внутренний диаметр бурильной головки (мм);
- буквы после размера указывают тип АБИ, цифры — модификацию.

В шифре АБИ со стальным корпусом используются следующие обозначения: буква У указывает, что изготовителем является Дрогобычский долотный завод; обозначение ИСМ (Институт

сверхтвердых материалов) используется в долотах, изготовителем которых является *Опытный завод ИСМ АН Украины*; цифры обозначают основные размеры инструментов (номинальный диаметр долота, наружный и внутренние диаметры бурильной головки); буква после цифр обозначает тип АБИ; дополнительные буквы в шифре инструмента обозначают: А — долото зарезное, РГ — режущее гидромониторное.

Как правило, для получения технико-экономического эффекта достаточно увеличение проходки на АБИ в 5...10 раз по сравнению со стандартными шарошечными инструментами при соотношении механических скоростей сравниваемых долот и бурголовок в диапазоне 0,7...1,0 и более. Современные АБИ разрабатываются на базе результатов большого объема стендовых и промысловых исследований в процессе бурения реальных скважин в различных геолого-технических условиях. Разработаны также специальные типы алмазных долот: зарезные для зарезки и бурения наклонно направленных и горизонтальных скважин и долота-фрезеры для фрезерования окон в обсадных колоннах.

АБИ изготавливаются в соответствии с международными стандартами. Допуски на диаметры АБИ и резьбовые соединения долот соответствуют стандартам Американского нефтяного института (API). Резьбовые соединения бурголовок предназначены для соединения с резьбовыми соединениями керноприёмных устройств российского производства, которые соответствуют отечественным стандартам на резьбы. Алмазные долота и бурголовки рекомендуется присоединять к бурильной колонне с помощью спецключей для навинчивания долот и бурголовок на бурильную колонну, что позволяет избежать повреждения алмазных режущих элементов на торцевой и калибрующей поверхностях алмазных долот и бурголовок. Для оснащения АБИ используются различные алмазные режущие элементы (природные алмазы, синтетические алмазы, алмазно-твердосплавные пластины). Опыт практического бурения показал, что синтетические отечественные алмазы успешно разрушают не только горную породу различной твёрдости, но и эффективны при фрезеровании обсадных колонн.

АБИ классифицируется по кодам международной ассоциации буровиков-подрядчиков (CodeIADS). По результатам сравнительных испытаний отечественных АБИ и зарубежных, оснащённых идентичными режущими элементами, установлено, что по конструкции, технологии производства и показателям бурения отечественные АБИ сопоставимы с зарубежными.

Для получения положительного эффекта от использования АБИ очень важно выбрать тип АБИ, соответствующий горно-геологическим условиям бурения. Как правило, рекомендации по выбору эффективного типа АБИ разрабатываются на основании информации о глубине и интервале бурения, литологическом описании горной породы, её твёрдости и абразивности, показателя бурения в соседних скважинах при использовании шарошечных инструментов, свойствах бурового раствора, его расходе, конструкции низа бурильной колонны и способе бурения.

Конструкции алмазного бурового инструмента

Алмазные долота предназначены для бурения скважин сплошным забоем. На торцевой части рабочей поверхности алмазных долот алмазные режущие элементы установлены по определённой схеме таким образом, что разрушение забойной поверхности происходит от оси до стенки скважины. Разрушенная порода удаляется с забоя буровым раствором, который поступает из внутренней полости бурильных труб в промывочные каналы долота и под его торцевую поверхность. Алмазные бурголовки применяют для отбора керна, который формируется в центральной части забоя скважины и, по мере углубления скважины, поступает через бурголовку в компоновку кернорвателя и керноприёмное устройство.

Наличие стандартного отверстия диаметрами от 40 до 100 мм в центральной части рабочего торца алмазной бурголовки обеспечивает при бурении формирование керна диаметрами от 40 до 100 мм, а наличие компоновки кернорвателя позволяет оторвать керн от забоя скважины в конце рейса. Навинченная на керноприёмную трубу компоновка кернорвателя размещается во внутренней полости стального корпуса алмазной бурголовки с целью приближения её к забою скважины.

Долота имеют ниппельную, а бурголовки - муфтовую конические резьбы для соединения с инструментом. Матричная карбид-вольфрамовая рабочая головка АБИ, содержащая алмазные режущие элементы, спекается на стальном корпусе долот и бурголовок методом порошковой металлургии. Преимуществами конструкций АБИ матричного типа являются:

- 1) высокая износостойкость рабочей головки к эрозионному размыву при использовании для промывки скважины утяжелённого бурового раствора, а также при высокооборотном турбинном способе бурения с увеличенными расходами бурового раствора;
- 2) более точное изготовление рабочей головки АБИ;
- 3) точное размещение по схеме алмазных режущих элементов в поверхностном объёме рабочей головки АБИ, обеспечение заданного выступа их из матрицы и надёжное закрепление;
- 4) возможность изготавливать сложные формы рабочих головок с целью повышения эффективности разрушения горной породы и устройства более эффективной системы промывки и удаления шлама из зон резания и из - под торцевой поверхности АБИ.

Конструкции современных АБИ создают на базе результатов комплекса исследовательских, конструкторских и технологических работ:

- научно - исследовательских работ в области алмазных породоразрушающих элементов (алмазно - твердосплавных пластин АТП, синтетических и природных алмазов) с целью определения их свойств и пригодности для использования в алмазном буровом инструменте;
- научно-исследовательских работ в области разрушения горных пород, в том числе в условиях, приближённых к забойным;
- опытно-технологических работ по производству алмазного бурового инструмента, опытно-технологических работ по отработке АБИ в промышленных условиях.

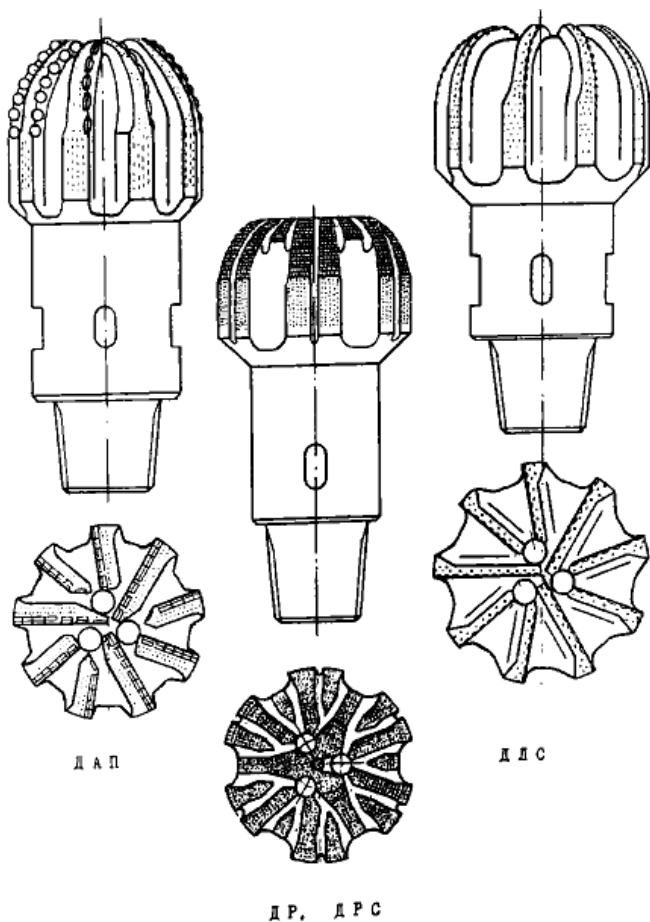
Специальные лабораторные стенды и установки позволяют оптимизировать конструкторские и технологические разработки, контролировать качество АБИ. Наружные диаметры разработанных АБИ: алмазные долота диаметрами от 101,6 до 295,3 мм; алмазные бурильные головки диаметрами от 114 до 295,3 мм; специальный алмазный буровой инструмент, в том числе долота-фрезеры диаметрами 118 и 139,7 мм для вырезания окон в обсадных колоннах в заданном направлении.

Алмазные долота и бурильные головки с твердосплавной стойкой к эрозии матрицей оснащаются:

- алмазно-твердосплавными пластинами и резцами (АТП и АТР);
- синтетическими поликристаллическими и термостойкими алмазами в форме цилиндров, их частей, а также трёхгранных призм. Размер синтетических алмазов, устанавливаемых в АБИ, может изменяться от 1 до 5,5 мм, в зависимости от свойств разбуриваемых пород;
- природными алмазами размерами от 1 до 3 мм.

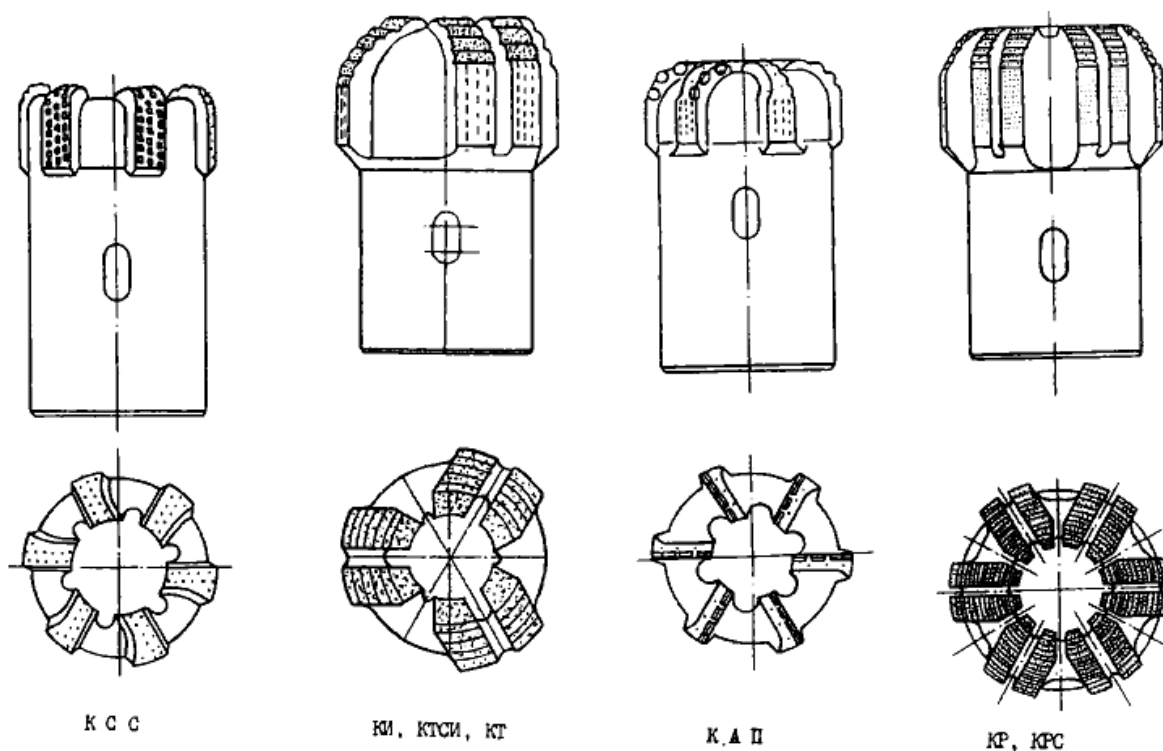
На рис. 1.28 и 1.29 представлен общий вид некоторых типов алмазных буровых долот и бурильных головок.

Рисунок 1.28 Типы долот



АБИ по способу оснащения алмазными режущими элементами делятся на однослойные и импрегнированные. В однослойных АБИ алмазные режущие элементы закрепляются на торце и калибрующей поверхности АБИ в один слой. Алмазные режущие элементы устанавливаются по определённым схемам, обеспечивающим разрушение всей забойной поверхности и удаление шлама из зон разрушения породы. Увеличение твёрдости породы предполагает уменьшение размера алмазных режущих элементов и увеличение их количества. В импрегнированных АБИ алмазы закрепляются в объёме торцевой части матричной рабочей головки на глубину до 6...7 мм от поверхности. Степень насыщения алмазами импрегнированного слоя определяется уровнем концентрации алмазов в матрице. Увеличение твёрдости разбуриваемой породы предполагает увеличение концентрации алмазов в матрице импрегнированного АБИ.

Рисунок 1.29 Типы бурильных головок



Первые опытные образцы АБИ, оснащенных природными алмазами, для бурения нефтяных и газовых скважин были изготовлены в 1959 г. АБИ, оснащенные природными алмазами, рекомендуется применять для разбуривания пород средней твёрдости и твёрдых. Природные алмазы имеют сравнительно изометричную форму, приближающуюся к шаровидной. Природные алмазы с незначительными дефектами используются в необработанном виде. Природные алмазы с большими и очень большими трещинами или включениями, а также извлечённые из отработанных АБИ должны пройти предварительную обработку дроблением и в овализаторе с целью выбраковки слабых алмазов и скалывания слабых кромок и вершин.

Природные алмазы для оснащения АБИ отбирают визуально с помощью микроскопа или лупы. Для оснащения АБИ используются природные алмазы следующих зернистостей:

- 0,03 - 0,05 кар/шт. (30 - 20 шт./кар) и 0,05 - 0,08 кар/шт. (20 -12 шт./кар) - для импрегнированных АБИ;
- 0,08 - 0,12 кар/шт. (12 - 8 шт./кар), 0,12 - 0,20 кар/шт. (8-5 шт/кар.), 0,20 - 0,25 кар/шт. (5-4 шт/кар.), 0,25 - 0,34 кар/шт. (4-3 шт/кар) - для однослойных долот.

Синтетические поликристаллические термостойкие алмазы СВС - П рекомендуется применять для разбуривания пород средней твёрдости с пропластками твёрдых. Синтетические поликристаллические термостойкие алмазы СВС - П имеют первоначальную форму цилиндров диаметром 4 мм и высотой 4 мм. Они используются как недроблёнными, так и после предварительного дробления до определённых форм и размеров. Дроблёные синтетические алмазы СВС-П подвергаются процессу выбраковки слабых и дефектных алмазов механическим и визуальным способами. Затем дроблёные синтетические алмазы разделяют на фракции:

- 0,03 - 0,10 кар/шт. (30 - 10 шт./кар) - для импрегнированных АБИ;
- 0,10 - 0,20 кар/шт. (10 - 5 шт/кар.), 0,20 - 0,25 кар/шт. (5 - 4 шт/кар.), 0,25 - 0,34 кар/шт. (4-3 шт/кар), 0,34 - 0,50 кар/шт. (3-2 шт/кар) и 0,50 - 0,80 кар/шт. (2 - 1 шт/кар.) – для однослойных долот.

Синтетические поликристаллические термостойкие алмазы СВС - П целые и дроблёные массой более 0,25 кар/шт. используются для оснащения калибрующих поверхностей большинства конструкций алмазных долот. Синтетические поликристаллические термостойкие алмазы ПСТА в форме трёхгранных призм имеют массу около 1 карата (0,2 грамма). Этот тип синтетических алмазов применяют для оснащения торцевой части рабочей головки однослойных АБИ. Алмазно-твердосплавные пластины представляют собой режущие элементы, состоящие из твердосплавной подложки в форме цилиндра или его части, на одном основании которого закреплен алмазный слой толщиной от 0,6 до 0,8 мм. Алмазно-твердосплавные пластины припаивают низкотемпературным припоем в специальных выемках к передней кромке лопастей. Качество пайки и отсутствие отслоения или трещин между алмазным слоем и твердосплавной подложкой проверяется ультразвуковым способом. Алмазно-твердосплавными пластинами оснащают АБИ, которые рекомендуется использовать для бурения интервалов скважин, сложенных мягкими и средней твёрдости породами. В зависимости от свойств породы, применяют АБИ, имеющие от 3 до 12 лопастей, оснащённых алмазно-твердосплавными пластинами. АБИ с меньшим количеством лопастей предназначены для использования в более мягких породах. Тонкий алмазный слой обеспечивает эффективное резание породы при малых площадях контакта и высоких

контактных нагрузках, а твердосплавная подложка предохраняет тонкий алмазный слой от скалывания.

Тип АБИ	Область применения
М	Мягкие породы
МС	Мягкие породы с пропластками пород средней твёрдости
Т	Породы средней твёрдости
СТ	Породы средней твёрдости с пропластками твёрдых пород
Т	Твёрдые породы

Буквы, обозначающие тип и область применения АБИ в его шифре, помещают после цифрового обозначения диаметра АБИ. В ГОСТ 26474-85 стандартизованы типы и область применения АБИ. К мягким породам относятся глина, рыхлый песок, аргиллит, слабосцементированный песчаник и известняк.

Твёрдость мягких пород по штампу $R_{ш}$ до 500 МПа (50 кгс/мм²). К породам средней твёрдости относятся аргиллит, мергель, известняк, песчаник, алевролит, глинистый сланец, доломит и ангидрит с $R_{ш}$ 500...1500 МПа (50...150 кгс/мм²). К твёрдым породам относятся мергель, известняк, песчаник, алевролит, доломит с $R_{ш}$ 1500...3000 МПа (150...300 кгс/мм²).

Разновидности предлагаемых АБИ

НПП «Азимут» разрабатывает и изготавливает различные типы долот с алмазным и твердосплавным вооружением:

- долота лопастные с алмазным вооружением типа Л-РСА, армированные алмазно-твердосплавными пластинами, предназначены для бурения скважин сплошным забоем нефтяных и газовых скважин в мягких и средних малоабразивных породах (рис. 1.30);
- долота с алмазным вооружением типов РСА, РСГА, армированные алмазно-твердосплавными пластинами, предназначены для бурения сплошным забоем нефтяных и газовых скважин в мягких и средних малоабразивных породах типа РСА и горизонтальных участков стволов скважин типа РСГА (рис. 1.31);
- долота с твердосплавным вооружением типов РСТ, Л-РСТ предназначены для бурения сплошным забоем нефтяных и газовых скважин в мягких и средних малоабразивных породах, а также для разбуривания цементных мостов и песчаных пробок (рис. 1.32);

Рисунок 1.30 Лопастное долото с алмазным вооружением, армированное алмазно-твердосплавными пластинами типа Л-РСА НПП «Азимут»



Рисунок 1.31 Долото с алмазным вооружением, армированное алмазно-твердосплавными пластинами типов РСА и РСГА НПП «Азимут»



- долота бицентричные алмазные типа ДБА предназначены для бурения с одновременным расширением ствола скважины в мягких и средних малоабразивных породах (рис. 1.33); применяются для расширения боковых стволов из ранее пробуренных обсаженных скважин, а также расширения ствола в продуктивном интервале с целью увеличения дебита скважины;



← Рисунок 1.32 Долото с твердосплавным вооружением типов РСТ и Л-РСТ НПП «Азимут»

Рисунок 1.33 Долото бицентричное алмазное типа ДБА НПП «Азимут» →



– пикобуры предназначены для расширения ствола скважины, разбуривания цементных пробок, металлических деталей низа обсадной колонны, а также для проработки забоя перед проведением ловильных работ по удалению металлических предметов из скважины (рис. 1.34); в зависимости от назначения они изготавливаются как с твердосплавным, так и с алмазным вооружением;



Рисунок 1.34 Пикобур с алмазным и твердосплавным вооружением типа ПБЛ НПП «Азимут»



Рисунок 1.35 Долота резные с алмазным и твердосплавным вооружением типа ДЗА НПП «Азимут»: а — типа ДЗА-214,3; б — типа ДЗА-118; в — типа ДЗА-159,4

– долота резные с алмазным (зубки «Славутич») типа ДЗА (рис. 1.35) и твердосплавным вооружением типа ДЗТ предназначены для резки нового ствола в необсаженной части ствола скважины; обладают самоцентрирующими свойствами, позволяющими «удерживать» траекторию ствола скважины.

СП ЗАО «Удмуртские долота» (УДОЛ) (ОАО «Удмуртнефть» и ГПО «Боткинский завод» при участии фирмы Diamond Products International) изготавливает долота с алмазно-твердосплавными режцами типов У123 ST- 45, У123 SF-45G, У123 SF-45, У144,4 SF-45, У215,9 SF-5М, У215,9 ST-67) для бурения вертикальных, наклонно направленных и горизонтальных скважин в породах средней твердости, а также долота с твердосплавным вооружением (У59 РС—У124 РС) для разбуривания цементных стаканов и технологической оснастки внутри обсадной колонны.



Рисунок 1.36 Долото с алмазно-твердосплавными режцами типа У 123 ST-45 СП ЗАО УДОЛ

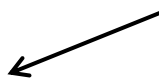


Рисунок 1.37 Долото бицентричное типа
У215,9х240 ST-544 СП ЗАО УДОЛ



1. Защита калибрующей поверхности долот типа У123 ST-45 (рис. 1.36) осуществляется с помощью резцов PDC и наплавленного слоя из карбида вольфрама. Рациональное расположение резцов обеспечивает наиболее эффективный процесс разрушения забоя, а добавочные резцы с увеличенным объемом алмазов повышают эффективность резания при изношенности долота и сопротивляемость ударным нагрузкам и абразивности пород. Конфигурация калибрующей поверхности долота выполнена с учетом обеспечения условий эффективного выноса выбуренной породы с забоя и стабилизации работы долота на забое.

2. К преимуществам долот типа У215,9×240 ST-544 (рис. 1.37) относятся: бурение скважин большего диаметра, чем возможно долотами обычной конструкции при данном диаметре спущенной обсадной колонны; скорость бурения сопоставима со скоростью, получаемой с использованием стандартных долот с поликристаллическими алмазными вставками (PDC); бурение с одновременным расширением ствола скважины; регулирование направления ствола скважины от вертикального до горизонтального; исключение операций, связанных с проработкой и калибровкой ствола скважины перед спуском обсадной колонны; исключение аварийных ситуаций из-за отсутствия подвижных элементов в конструкции долота; возможность восстановления долот после неоднократного использования; уменьшение затрат времени на бурение расширенного ствола по сравнению с другими способами.

3. Долота режуще-истирающего типа У59РС оснащены резцами с большой режущей поверхностью, обеспечивающей высокую износостойкость. Система крепления резцов и использование высококачественных материалов при пайке снижают риск возникновения аварийных ситуаций при бурении скважины.

Комбинированная схема промывки с направленными на каждый резец промывочными отверстиями улучшает качество очистки забоя и обеспечивает эффективное охлаждение резцов долота. Благодаря специальной конструкции, облегчающей ремонт, имеется возможность многократного восстановления долота после того, как оно успешно выработало свой ресурс.

Опытный завод ИСМ АН Украины выпускает алмазные буровые долота режущего, микрорежущего, истирающего типа и зарезные со стальным корпусом, оснащенные вставками из композиционного материала (ИСМ), предназначенные для бурения турбинным и роторным способами скважин различного назначения в интервалах залегания пород от мягких до твердых, в том числе абразивных.

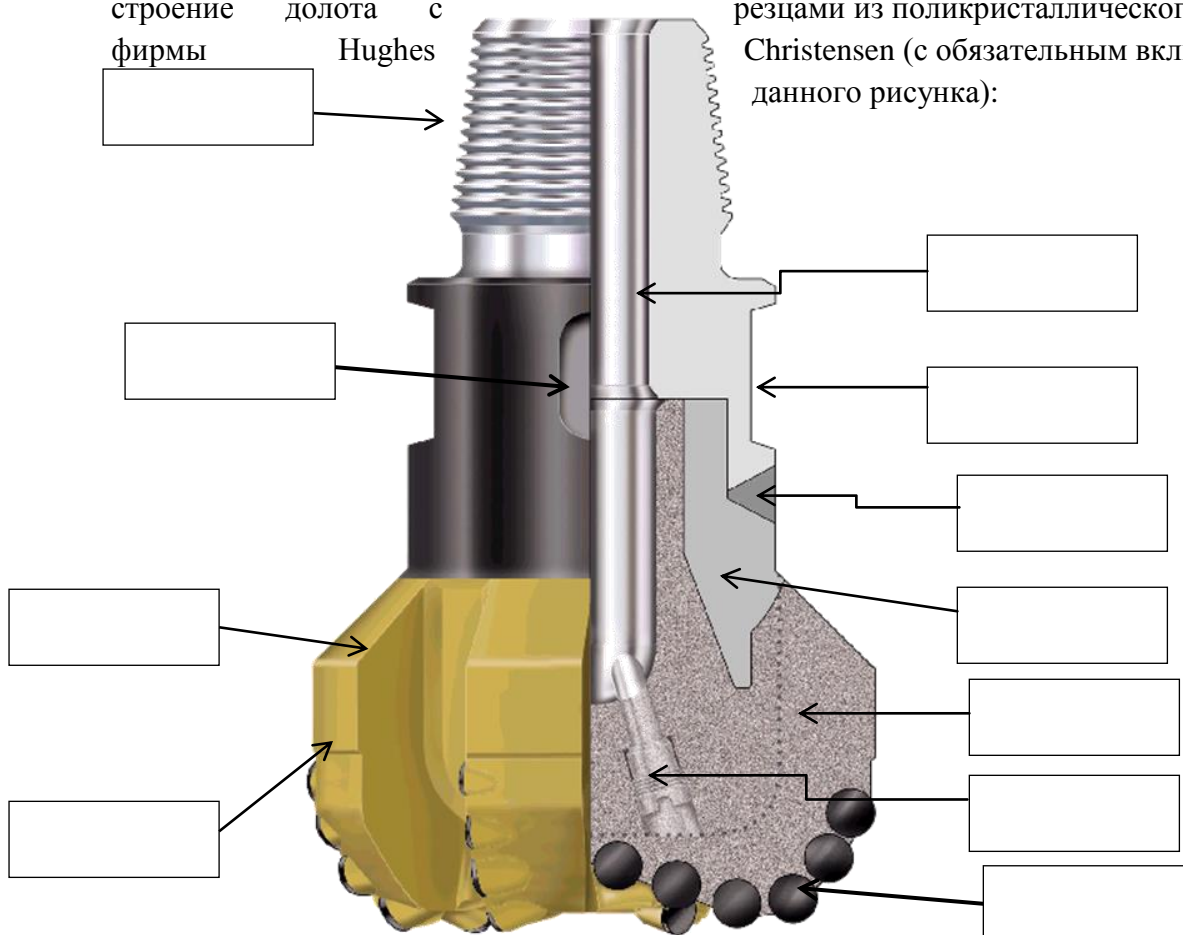
I. Закрепление знаний по тематике алмазный буровой инструмент

Проверьте свои знания по данной тематике, ответив на следующие вопросы:

1. При каких условиях наиболее эффективно применение АБИ?
2. Какие используются обозначения в шифре АБИ матричного вида, оснащенных природными и синтетическими алмазами?
3. Каковы специальные типы алмазных долот?
4. Как рекомендуется присоединять алмазные долота и бурголовки к бурильной колонне и почему?
5. Каково назначение алмазных долот и алмазных бурголовок?
6. Что представляет собой рабочая головка АБИ?
7. Каковы преимущества конструкций АБИ матричного типа?
8. Чем оснащаются алмазные долота и бурильные головки матричного типа?
9. В чём отличие однослойных АБИ от импрегнированных?
10. Что представляют собой алмазно-твердосплавные пластины, которыми оснащают АБИ?

II. Освоение дополнительных (самостоятельная внеаудиторная работа) знаний по тематике конструкции узлов и элементов буровых шарошечных долот

1. Выполнить задание в электронном виде по следующей тематике: «Классификация АБИ». В данном задании должны быть представлены сведения по следующим материалам: типы, конструктивное исполнение и специальные типы, по способу оснащения и виду алмазных резцов. Требования к оформлению: выполняется блок-схемой в виде графического объекта SmartArt.
2. Выполнить в электронном виде расшифровку позиций конструктивного исполнения строения долота с резцами из поликристаллического алмаза (PDC) фирмы Hughes Christensen (с обязательным включением данного рисунка):



III. Список литературы (библиографический список):

1. Базовый курс по основным типам долот компании Hughes Christensen .ppt.
2. Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование/ Коллектив авторов; под общей редакцией А.М. Гусмана и К.П. Порожского: Научное издание. Екатеринбург; УГГГА, 2002. 592 с. с илл.
3. Абубакиров В.Ф., Буримов Ю.Г., Гноевых А.Н., Межлумов А.О., Близнюков В.Ю. Буровое оборудование: Справочник: В 2-х т. Т. 2. Буровой инструмент. — М.: ОАО «Издательство «Недра», 2003. — 494 с.: ил.