

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202290760 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.06.20

(51) Int. Cl. E21B 27/00 (2006.01)
E21B 49/02 (2006.01)
E21B 49/06 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.09.04

(54) ИНСТРУМЕНТ, УЗЕЛ И СПОСОБ ВНУТРИСКВАЖИННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

(31) 102019000015584

(72) Изобретатель:

(32) 2019.09.04

Хайц Сильвия, Бьёнди Андреа,
Фаваретто Мауро (IT)

(33) IT

(86) PCT/IB2020/058258

(87) WO 2021/044367 2021.03.11

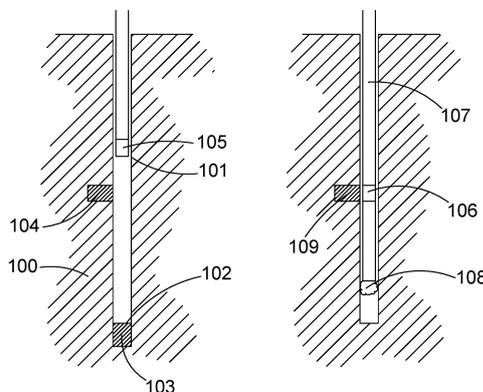
(74) Представитель:

Фелицына С.Б. (RU)

(71) Заявитель:

ЭНИ С.П.А. (IT)

(57) Изобретение относится к бурению нефтяных скважин и, более конкретно, к инструменту для испытаний, узлу для испытаний и способу их применения при измерении выбранных механических характеристик горной породы внутри скважины.



A1

202290760

202290760

A1

ИНСТРУМЕНТ, УЗЕЛ И СПОСОБ ВНУТРИСКВАЖИННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Патентная заявка испрашивает приоритет итальянской патентной заявки № 102019000015584, поданной 4 сентября 2019 г., полное содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

Область техники

Изобретение относится к бурению нефтяных скважин и, более конкретно, к инструменту для испытаний, узлу для испытаний и способу их применения при измерении выбранных механических характеристик горных пород в скважине.

Предшествующий уровень техники

Полезно, особенно в разведочных скважинах, собирать образцы керна для анализа в лаборатории. Такие образцы пласта скважины могут предоставлять полезные данные о характеристиках, которые можно использовать, например, для оценки устойчивости ствола скважины.

В связи с этим при проведении нефтегазовых работ часто берут керн из пласта на различных стадиях разведки и добычи. Образцы керна полезны, поскольку они представляют собой реальный образец пласта скважины, по которому геологи могут анализировать характеристики скважины. Образец керна часто берется во время бурения разведочных, оценочных, эксплуатационных или нагнетательных скважин. В этом отношении образец керна может отбираться с определенными интервалами в соответствии с планом скважины или может отбираться на разовой основе, когда инженеру или геологу требуются данные для принятия решений.

На фиг. 1А показано обычное расположение пласта 100, в котором пробурена скважина 101. Может оказаться желательным взять образцы керна в концевой области 102 скважины 101, например, в первом месте 103 расположения образца керна или в месте, удаленном от конца 102 скважины 101, и в боковой стенке скважины 101, например, во втором месте 104 расположения образца керна. Как правило, образец 105 керна, который может быть взят из первого или второго места расположения образца керна, извлекают на поверхность для анализа. В этой связи на фиг. 1В показано известное расположение инструмента 106 для отбора керна внутри бурильной колонны 107, но не на ее конце. Бурильная колонна 107 имеет буровое долото 108, и один или более образцов керна могут быть взяты из места 109 отбора керна, которое находится на удалении от бурового долота 108. Бурение может быть остановлено на некоторое время для извлечения образца керна, а

затем продолжено.

Существует ряд коммерческих предложений в области керноотборников. Например, нефтесервисная компания Baker Hughes предлагает традиционный керноотборник NT30 (RTM) Max Core Barrel System, который может отбирать большие образцы керна в направлении продолжения скважины и извлекать их на поверхность для анализа. Другая нефтесервисная компания Halliburton, предлагает керноотборник из боковой стенки скважины, RSCT (RTM), который отбирает образцы керна в боковой стенке скважины и извлекает их для анализа. Различные компании также предлагают оборудование для анализа керна как в стационарной лаборатории, так и для испытания образцов керна на месте бурения. В связи с этим инструмент Wombat компании Epslog для анализа керна используется для определения свойств керна и может использоваться в лаборатории или на месте расположения скважины.

Имеется несколько проблем с отбором образцов керна для испытаний традиционным способом. Во-первых, когда образец керна извлекают из пласта и транспортируют на поверхность, даже если его не доставлять в лабораторию, расположенную далеко от места расположения скважины, он уже не находится в исходном напряженном состоянии, в котором он находился на своем естественном месте. Это может отрицательно сказаться на качестве модели устойчивости ствола скважины, которую можно получить на основе анализа образца керна. Кроме того, образец керна часто повреждается и/или чрезмерно растрескивается, так что проведение анализа образца может оказаться невозможным. Это увеличивает непроизводительные потери времени, так как необходимо получить еще один образец.

Имеют место также значительные затраты средств и времени, связанные с извлечением образца и его транспортировкой в лабораторию для тестирования, особенно если лаборатория находится в нескольких тысячах километров от места отбора проб. Извлечение и транспортировка образца должны выполняться с осторожностью, чтобы сохранить его целостность, что опять же требует временных и денежных затрат. Кроме того, может потребоваться приостановка других операций на время получения, транспортировки и анализа образца керна.

Как и во всех операциях на нефтяных месторождениях, с точки зрения безопасности желательно сократить количество операций, связанных с ручным трудом. Операции по отбору керна обычно требуют опускания в скважину керноотборника, что требует сборки всей бурильной колонны, а затем извлечения образца керна путем разборки всей бурильной колонны. Как сборка, так и разборка бурильной колонны, как правило, являются трудоемкими и потенциально опасными операциями. Кроме того,

транспортировка керна для анализа может создавать проблемы логистической безопасности. Поэтому с точки зрения безопасности желательно уменьшить количество собираемых бурильных колонн и транспортируемых образцов керна.

Изобретение призвано решить одну или более из этих проблем.

В связи с этим, к параметрам, характеризующим горные породы, которые обычно рассчитывают на основе анализа образцов керна, относят одноосную (или иначе «неограниченную») прочность при сжатии и угол внутреннего трения. Одноосная (неограниченная) прочность при сжатии является мерой прочности материала и определяется в глоссарии отраслевых стандартов Schlumberger Oilfield Glossary как максимальное осевое сжатие, которое может выдержать прямоцилиндрический образец материала в незамкнутых условиях, т.е. когда ограничивающее напряжение равно нулю. Она также известна как одноосная прочность материала при сжатии, потому что приложение сжимающего напряжения происходит только вдоль одной оси – продольной оси образца. Угол внутреннего трения является мерой способности единицы горной породы или грунта выдерживать напряжение сдвига. Это угол, измеряемый между нормальным усилием и равнодействующим усилием, при котором происходит разрушение в ответ на тангенциальное напряжение. Коэффициент трения равен тангенсу угла внутреннего трения.

Когда пласт находится в напряженном состоянии, например, под значительным давлением, желательно измерять одноосевую прочность при сжатии и угол внутреннего трения на месте, то есть там, где пласт подвергается напряжению. Как упоминалось выше, извлечение образца керна имеет недостатки, поскольку изменение местных условий изменяет напряженное состояние образца после его извлечения из пласта, что может исказить результаты измерений.

Изобретение направлено на преодоление вышеупомянутых проблем с отбором керна и определением угла внутреннего трения или одноосевой прочности при сжатии, особенно для пластов, находящихся в напряженном состоянии.

Раскрытие изобретения

В первом аспекте изобретения предлагается скважинный инструмент для проведения внутрискважинных испытаний по определению характеристик горных пород на испытываемом участке пласта, содержащий по меньшей мере один резец для подготовки поверхности и по меньшей мере один резец для испытаний, при этом по меньшей мере один резец для подготовки поверхности приспособлен для удаления обломков между испытываемым участком и инструментом при подготовке к взаимодействию по меньшей мере одного резца для испытаний с испытываемым

участком. Инструмент позволяет проводить внутрискважинные испытания по определению характеристик горных пород вместо того, чтобы отбирать образец испытываемого пласта и доставлять его на поверхность для испытаний традиционным способом. Это дает значительные преимущества, в том числе сохранение образца в его первоначальном напряженном состоянии, гарантирование того, что образец не будет поврежден и/или чрезмерно разрушен перед испытанием, увеличение продуктивного времени за счет исключения необходимости поднимать образец на поверхность, повышение безопасности операций за счет исключения необходимости иметь на буровой площадке инструменты для обработки образца керна и исключения необходимости опускания инструментов в скважину и извлечения из нее для получения образца.

В предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере один резец для подготовки поверхности дополнительно приспособлен для удаления слоя испытываемого участка. Это позволяет удалять обломки/корку бурового раствора с испытываемого участка, чтобы можно было эффективно протестировать участок резцом для испытаний. В качестве альтернативы, резец для подготовки поверхности может удалять слой испытываемого участка, чтобы удалять поврежденную или расколотую область пласта, которая была повреждена буровым долотом во время бурения скважины. Это позволяет удалить пласт, который не предназначен для испытаний, и освобождает место для соответствующего испытываемого участка, на котором резец для испытаний может проводить испытания.

В предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере один резец для подготовки поверхности предварительно настроен на удаление пласта глубиной, по существу, 20 мм. В этой связи удаление около 20 мм пласта при использовании бурового долота диаметром 12 ¼ дюйма (31,1 см) обычно достаточно для удаления любого поврежденного пласта, который не пригоден для проведения испытаний с помощью резца для испытаний. Достижимая глубина будет варьироваться в зависимости от размеров долота и соответствующего диаметра пробуриваемой или испытываемой скважины.

В предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере один резец для испытаний является, по существу, тупым, для проведения испытания на угол внутреннего трения. По существу, тупой резец позволяет проводить испытание на угол внутреннего трения, которое обычно проводится с извлеченным и поднятым на поверхность образцом керна.

В предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере один резец для испытаний является, по существу, острым для проведения испытания на неограниченную прочность при сжатии. Острый резец позволяет проводить испытание на неограниченную

прочность при сжатии в скважине, а не отделять образец керна и поднимать его на поверхность для проведения испытания на неограниченную прочность сжатие.

В предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере один резец для испытаний содержит острый резец для проведения испытания на неограниченную прочность при сжатии и тупой резец для проведения испытания на угол внутреннего трения. Использование как острого, так и тупого резцов позволяет проводить испытания на неограниченную прочность при сжатии и испытания на угол внутреннего трения в скважине, а не поднимать образец керна на поверхность для проведения испытания пласта как на неограниченную прочность при сжатии, так и испытания на угол внутреннего трения.

В предпочтительном варианте осуществления резец для подготовки поверхности выполняют с возможностью движения по первой круговой траектории для подготовки поверхности. Движение резца для подготовки поверхности по круговой траектории позволяет расчистить область, подлежащую испытанию резцом для испытаний. Кроме того, вращательное движение по круговой траектории относительно легко и надежно обеспечивается, когда резец для подготовки поверхности приводится в действие двигателем, так как двигатель может вращать вал, на котором резец для подготовки поверхности расположен так, что он прорезает круговую траекторию без использования дополнительных звеньев или направляющих, необходимых для перемещения резца по различным траекториям.

В предпочтительном варианте осуществления резец для испытаний выполняют с возможностью движения по второй круговой траектории для проведения одного или более из испытания на угол внутреннего трения или на одноосевую (неограниченную) прочность при сжатии. Движение резца для испытаний по второй круговой траектории позволяет провести испытание на той же круговой траектории, которая была очищена резцом для подготовки поверхности, или на меньшей круговой траектории в пределах большей круговой траектории, расчищенной резцом для подготовки поверхности.

Удобно, когда вторая круговая траектория находится в пределах окружности первой круговой траектории. Это обеспечивает траекторию резца для испытаний только к испытываемому пласту, очищенному резцом для подготовки поверхности от обломков или от растрескавшегося пласта. Это приводит к более точным результатам испытания желаемого пласта.

В предпочтительном варианте осуществления острый резец и тупой резец интегрированы в единый резец для испытаний. Это позволяет одному резцу для испытаний выполнять испытания на угол внутреннего трения и на неограниченную

прочность при сжатии. Это дает преимущества по сравнению с конфигурациями, в которых острый резец и тупой резец представлены отдельными резцами. Например, нет необходимости в дополнительных компонентах, которые несут каждый тип резца. Уменьшение количества компонентов дает преимущества с точки зрения простоты изготовления и повышения надежности. В предпочтительном варианте осуществления резец для испытаний имеет профилированную скошенную режущую кромку.

Удобно, когда по меньшей мере один резец для подготовки поверхности содержит множество резцов для подготовки поверхности, и по меньшей мере один резец для испытаний содержит множество резцов для испытаний. Это обеспечивает более быструю подготовку поверхности и/или одновременное испытание нескольких областей, и/или получение более точных результатов, так как измеренное усилие вдоль оси вращения резца для испытаний и значение крутящего момента резания могут быть приняты от каждого из резцов для испытаний и усреднены, или могут быть исключены противоречивые данные, что приводит к более надежному результату испытания. Использование множества резцов для подготовки поверхности снижает нагрузку на каждый отдельный резец для подготовки поверхности.

Удобно, когда по меньшей мере один резец для подготовки поверхности и по меньшей мере один резец для испытаний устанавливаются с возможностью их относительного перемещения, чтобы их можно было попеременно позиционировать в активном режущем и пассивном втянутом состояниях. Это позволяет резцам для подготовки поверхности и резцам для испытаний перемещаться между режущим состоянием и втянутым состоянием, так что подготовка поверхности и испытание могут выполняться по очереди. В предпочтительном варианте осуществления скважинный инструмент дополнительно выполнен так, что по меньшей мере один резец для подготовки поверхности может выборочно перемещаться из первого положения инструмента для удаления обломков во второе положение инструмента, позволяющее по меньшей мере одному резцу для испытания проводить испытание. Это позволяет инструменту выполнять как подготовку поверхности, так и испытание без необходимости опускать в скважину новый инструмент или даже перемещать бурильную колонну, чтобы доставить к пласту другой инструмент. Это экономит время при выполнении операции испытания.

Удобно, когда скважинный инструмент дополнительно выполнен так, что по меньшей мере один резец для испытаний может выборочно перемещаться из упомянутого первого положения, в котором по меньшей мере один резец для подготовки поверхности удаляет обломки, в упомянутое второе положение по меньшей мере одного резца для

испытаний для проведения испытания. Это позволяет инструменту выполнять как подготовку поверхности, так и испытания без необходимости опускания нового инструмента в скважину или даже перемещения бурильной колонны для подачи другого инструмента к пласту. Это экономит время при выполнении операции испытаний.

В предпочтительном варианте осуществления по меньшей мере один резец для подготовки поверхности и по меньшей мере один резец для испытаний соединены механической связью так, что перемещение резца для подготовки поверхности из первого положения инструмента во второе положение инструмента вызывает перемещение резца для испытаний из первого положения во второе положение. Использование механической связи позволяет устанавливать резец для подготовки поверхности и резец для испытаний в одном инструменте, а не в разных инструментах внутри забойной компоновки скважины, что приводило бы к необходимости перемещения бурильной колонны и забойной компоновки бурильной колонны после того, как резцы для подготовки поверхности подготовили поверхность, чтобы подвести резцы для испытаний к испытываемому участку для проведения испытаний.

Удобно, когда по меньшей мере один резец для подготовки поверхности и по меньшей мере один резец для испытаний выполнены так, чтобы перемещаться друг относительно друга с помощью гидравлического поршневого устройства. Использование гидравлического поршневого устройства обеспечивает надежное перемещение резцов относительно друг друга.

В предпочтительном варианте осуществления скважинный инструмент дополнительно содержит керновое буровое долото, приспособленное для перемещения по меньшей мере одного резца для подготовки поверхности и по меньшей мере одного резца для испытаний к испытываемому участку. Это позволяет устанавливать оба типа резцов на одном компоненте, т.е. на керновом буровом долоте, которое можно перемещать к испытываемому участку, а не перемещать каждый резец по отдельности. Это позволяет предоставить опорное основание, из которого могут выдвигаться резцы для подготовки поверхности и испытаний.

В предпочтительном варианте осуществления керновое буровое долото перемещают на испытываемом участке под углом относительно осевого направления скважины. Удобно, когда керновое буровое долото перемещается на испытываемом участке в направлении, по существу, перпендикулярном осевому направлению скважины. При этом резцы для подготовки поверхности и резцы для испытаний подходят к пласту под прямым углом.

В еще одном аспекте изобретения предлагается узел скважинного инструмента,

содержащий вышеупомянутый инструмент, при этом узел имеет несущую конструкцию, внутри которой компоненты инструмента могут быть изолированы от скважинной среды, причем одна или более характеристик среды внутри несущей конструкции настраиваются в соответствии с условиями в скважине. Настройка характеристик среды в пределах несущей конструкции позволяет сбалансировать характеристики для обеспечения безопасной и точной работы инструмента, гарантируя, что инструмент не подвергнется опасным условиям, которые могут повредить инструмент, в частности его уплотнения или другие деликатные компоненты.

В предпочтительном варианте осуществления одна или более характеристик включают в себя одно или более из давления и температуры. Изменение этих характеристик может существенно влиять на эффективность компонентов. Балансировка или управление давлением и температурой обеспечивает надлежащую работу инструмента.

Удобно, когда керновое буровое долото выполнено с возможностью выдвижения из несущей конструкции наружу несущей конструкции. Это позволяет керновому буровому долоту перемещаться к испытываемому участку для подготовки поверхности или для проведения испытаний.

В предпочтительном варианте осуществления узел скважинного инструмента дополнительно содержит компенсатор, выполненный с возможностью закачки текучей среды в несущую конструкцию или выкачивания текучей среды из нее так, что давление внутри несущей конструкции уравнивается с локальным внешним давлением несущей конструкции. Это обеспечивает безопасную и точную работу инструмента, гарантируя, что внутреннее давление не станет опасным и/или не повредит или не повлияет негативно на работу компонентов инструмента.

В предпочтительном варианте осуществления узел скважинного инструмента дополнительно содержит разvertываемое обездвиживающее средство для закрепления узла внутри скважины. Это обеспечивает фиксацию, относительно которой можно прикладывать усилия, а также измерять их либо при подготовке поверхности, либо при проведении испытаний пласта. Без обездвиживающих средств инструмент будет перемещаться в стволе скважины, что затруднит выполнение необходимой подготовки поверхности или проведение испытаний.

В предпочтительном варианте осуществления обездвиживающее средство содержит один или более компонентов башмака для упора в стенку скважины с целью создания реакции фиксации во время проведения испытаний. Компоненты башмака обеспечивают фиксацию для стабилизации инструмента.

Узел скважинного инструмента может дополнительно содержать соединительные средства для соединения с бурильной трубой или инструментами забойной компоновки бурильной колонны. Это позволяет собирать скважинный инструмент в бурильной колонне для спуска к испытываемому участку. Узел скважинного инструмента в бурильной колонне позволяет расположить скважинный инструмент там, где он может выполнять испытания между каждой свечой бурильных труб, добавляемой, например, в ходе операции бурения, или по требованию в ходе операции бурения, когда это необходимо. Кроме того, это позволяет соединять скважинный инструмент с другими компонентами и инструментами в забойной компоновке бурильной колонны, что позволяет запускать его, например, непосредственно за другими измерительными устройствами, что, вероятно, является желаемым местом, где должны быть получены данные о характеристиках горных пород.

В предпочтительном варианте осуществления узел скважинного инструмента дополнительно содержит модуль питания для снабжения питанием двигателя, обеспечивающего перемещение кернового бурового долота к испытываемому участку. Это дает преимущество надежной системы перемещения кернового бурового долота к испытываемому участку и гарантирует, что керновое буровое долото при необходимости может быть перемещено к испытываемому участку.

В предпочтительном варианте осуществления модуль питания представляет собой аккумуляторную батарею. Это дает преимущество независимости вращения турбины для приведения в действие двигателя от циркуляции бурового раствора через систему, что позволяет проводить испытания при отсутствии циркуляции раствора. Кроме того, использование аккумуляторной батареи позволяет использовать инструмент, не нуждающийся в постоянном питании с поверхности, которому присущи существенные недостатки и который может оказаться ненадежным на практике.

Удобно, когда узел скважинного инструмента дополнительно содержит по меньшей мере один датчик усилия, приспособленный для определения первого усилия на по меньшей мере одном резце для подготовки поверхности. Преимущество использования датчика усилия состоит в том, что он может обеспечить измерение усилия реакции для подтверждения того, что резец для подготовки поверхности вошел в зацепление с подлежащими очистке обломками/коркой бурового раствора или что он вошел в зацепление с пластом, что позволяет точно перемещать резец для подготовки поверхности при подготовке испытываемого участка к испытаниям.

В предпочтительном варианте осуществления узел скважинного инструмента дополнительно содержит по меньшей мере один датчик усилия и по меньшей мере один

датчик крутящего момента, приспособленные для определения второго усилия и крутящего момента на по меньшей мере одном резце для испытаний. Это дает возможность использовать измеренное усилие вдоль оси вращения резца для испытаний и измеренный крутящий момент резания для определения угла внутреннего трения или неограниченной прочности при сжатии.

Удобно, когда узел скважинного инструмента дополнительно содержит средство обработки данных для расчета угла внутреннего трения или неограниченной прочности при сжатии исходя из второго усилия вдоль оси вращения резца для испытаний и измеренного крутящего момента резания. Это позволяет инструменту рассчитывать угол внутреннего трения или неограниченную прочность при сжатии напрямую, без необходимости отправки данных на поверхность для обработки. Это обеспечивает множество преимуществ, поскольку передача на поверхность может быть проблематичной из-за значительного времени передачи, возможности потери данных или ухудшения их качества во время передачи вследствие шумов или помех. Обработка данных в инструменте свободна от этих недостатков. Кроме того, объем обработанных данных может быть значительно меньше объема необработанных данных об усилении, поэтому передача только обработанных данных может происходить быстрее, чем передача необработанных данных об усилении. В качестве альтернативы, необработанные или обработанные данные могут сохраняться в инструменте на время прогона и выгружаться из инструмента, когда инструмент поднимается на поверхность в конце прогона.

В еще одном аспекте изобретения предлагается способ проведения испытаний для определения характеристик горной породы на испытываемом участке в стволе скважины, при этом способ включает в себя следующие этапы, на которых: размещают скважинный инструмент или узел скважинного инструмента, определенные выше, в скважине; перемещают по меньшей мере один резец для подготовки поверхности к испытываемому участку для удаления обломков, находящихся вдоль траектории перемещения; перемещают по меньшей мере один резец для испытаний к испытываемому участку; и осуществляют взаимодействие резца для испытаний с испытываемым участком. Упомянутый способ позволяет проводить внутрискважинное определение характеристик горной породы вместо того, чтобы отбирать тестовый образец пласта и доставлять его на поверхность для испытаний традиционным способом. Это дает существенные преимущества, в том числе сохранение образца в его первоначальном напряженном состоянии, гарантию того, что образец не будет поврежден и/или чрезмерно разрушен перед испытанием, увеличение продуктивного времени за счет исключения

необходимости доставки образца на поверхность, повышение безопасности операций за счет исключения необходимости использования на буровой площадке инструментов для работы с образцом керна и исключения необходимости опускания инструментов в скважину и извлечения из нее для доставки образца керна на поверхность.

В предпочтительном варианте осуществления, после размещения в скважине на испытываемом участке узел инструмента уравнивают по давлению, так что один или более измерительных компонентов, заключенных в оболочку, оказываются под давлением, которое соответствует локальному давлению окружающей среды. Уравнивание давления внутри инструмента способствует безопасной и точной работе инструмента, гарантируя, что инструмент не подвергнется воздействию опасных условий, которые могут повредить или неблагоприятно повлиять на инструмент, в частности, на уплотнения или другие деликатные компоненты инструмента.

В предпочтительном варианте осуществления способ дополнительно включает в себя этапы, на которых: осуществляют взаимодействие тупого резца с испытываемым участком; и измеряют усилие вдоль оси вращения тупого резца и крутящий момент резания. Это обеспечивает измерения, которые можно использовать для расчета характеристик породы, в частности, для расчета угла внутреннего трения.

В предпочтительном варианте осуществления способ дополнительно включает в себя следующие этапы, на которых: осуществляют взаимодействие острого резца с испытательным участком; и измеряют усилие вдоль оси вращения острого резца и крутящий момент резания. Это обеспечивает измерения, которые можно использовать для расчета характеристик горных пород, в частности, их можно использовать для расчета неограниченной прочности при сжатии.

В предпочтительном варианте осуществления способ дополнительно включает в себя следующие этапы, на которых: вычисляют угол внутреннего трения на основе измерений, выполненных с помощью тупого резца. Это дает преимущество, заключающееся в том, что не требуется извлечение образца керна и последующая его транспортировка на поверхность для анализа с целью определения угла внутреннего трения.

В предпочтительном варианте осуществления способ дополнительно включает в себя следующие этапы, на которых: вычисляют одноосную (неограниченную) прочность при сжатии на основании измерений, выполненных с использованием острого резца. Преимущество такого подхода заключается в том, что не требуется извлечение образца керна и последующая его транспортировка на поверхность для анализа с целью определения одноосной (неограниченной) прочности при сжатии.

В еще одном аспекте изобретения предлагается резец для применения в скважинном инструменте, узле скважинного инструмента или определенном выше способе, имеющий профилированную скошенную режущую кромку, так что он может выполнять функции как тупого, так и острого резца. В предпочтительном варианте осуществления скос имеет радиус от 0,1 мм до 0,5 мм.

Краткое описание чертежей

Теперь в качестве примера будут описаны варианты осуществления изобретения со ссылкой на чертежи.

На фиг. 1А схематично показана конструкция скважины предшествующего уровня техники, пробуренной в пласте;

на фиг. 1В – бурильная колонна предшествующего уровня техники, содержащая известный инструмент для отбора керна в скважине, пробуренной в пласте;

на фиг. 2 – инструмент для определения характеристик горных пород согласно одному из вариантов осуществления изобретения, причем инструмент для определения характеристик горных пород собран внутри забойной компоновки бурильной колонны и расположен внутри скважины;

на фиг. 3А показано керновое буровое долото инструмента для определения характеристик горных пород согласно одному из вариантов осуществления изобретения, вид с торца;

на фиг. 3В – керновое буровое долото, показанное на фиг. 3А, и инструмент для определения характеристик горных пород, установленный в скважине и удаляющий обломки с испытываемого участка, вид сбоку;

на фиг. 4 – керновое буровое долото согласно одному из вариантов осуществления изобретения;

на фиг. 5А – керновое буровое долото согласно еще одному варианту осуществления изобретения;

на фиг. 5В – альтернативный вариант осуществления, в котором керновое буровое долото продвигается с помощью наклонного кулачка;

на фиг. 5С – альтернативный вариант осуществления, в котором керновое буровое долото продвигается с помощью второго электродвигателя, подсоединенного посредством червячной передачи;

на фиг. 5D – альтернативный вариант осуществления, в котором керновое буровое долото продвигается с помощью держателя долота, соединенного с керновым буровым долотом с помощью винтового кулачка;

на фиг. 5Е – альтернативный вариант осуществления, в котором керновое буровое

долото продвигается вперед с помощью червячной передачи, соединенной со вторым электродвигателем;

на фиг. 5F – альтернативный вариант осуществления, в котором керновое буровое долото продвигается с помощью гидравлического устройства;

на фиг. 5G – альтернативный вариант осуществления, в котором отдельные резцы продвигаются вперед поршнем, приводимым в движение червячной передачей;

на фиг. 5H – альтернативный вариант, в котором каждый резец имеет выделенный гидравлический исполнительный механизм;

на фиг. 6 схематично показан узел инструмента для определения характеристик горных пород в одном из вариантов осуществления изобретения;

на фиг. 7 показаны два вида основных компонентов инструмента для определения характеристик горных пород, показанного на фиг. 6;

на фиг. 8 – инструмент для определения характеристик горных пород, показанный на фиг. 7, вид в разрезе;

на фиг. 9A – инструмент для определения характеристик горных пород согласно изобретению, опускаемый в скважину для проведения испытаний на испытываемом участке пласта в соответствии с одним из аспектов изобретения;

на фиг. 9B – инструмент для определения характеристик горных пород, показанный на фиг. 9A, расположенный на испытываемом участке для проведения испытаний пласта;

на фиг. 10A – пример острого резца, вид сбоку;

на фиг. 10B – пример острого резца, показанного на фиг. 10A, вид спереди;

на фиг. 10C – пример острого резца, показанного на фиг. 10A, вид сверху;

на фиг. 10D – пример острого резца, показанного на фиг. 10A, вид в изометрии;

на фиг. 11A – пример тупого резца, вид сбоку;

на фиг. 11B – пример тупого резца, показанного на фиг. 11A, вид спереди;

на фиг. 11C – пример тупого резца, показанного на фиг. 11A, вид сверху;

на фиг. 11D – пример тупого резца, показанного на фиг. 11A, вид в изометрии;

на фиг. 12A – пример резца со скошенной кромкой, вид сбоку;

на фиг. 12B – пример резца со скошенной кромкой, показанного на фиг. 12A, вид спереди; и

на фиг. 12C – пример резца со скошенной кромкой, показанного на фиг. 12A, вид сверху.

Варианты осуществления изобретения

Как обсуждалось выше, на фиг. 1A и 1B показаны известные конструкции для

отбора керн из пласта для его анализа на поверхности.

В отличие от этого, изобретение относится к способу анализа характеристик горных пород в скважине, а также к инструменту для определения характеристик горных пород и узлу, которые можно использовать для осуществления этого способа.

В связи с этим, как показано на фиг. 2, инструмент 200 для определения характеристик горных пород приспособлен для спуска в скважину как часть забойной компоновки 201 бурильной колонны. В описываемом варианте осуществления инструмент 200 для определения характеристик горных пород приспособлен для размещения примерно в 35-45 метрах от бурового долота 202. Могут использоваться большие или меньшие расстояния от бурового долота в зависимости от конфигурации бурильной колонны, пластов, подлежащих бурению, и собираемых данных. В связи с этим за забойной компоновкой 201 бурильной колонны может находиться от нескольких сотен до нескольких тысяч метров бурильной колонны. Забойная компоновка 201 бурильной колонны обычно содержит в дополнение к буровому долоту 202 инструменты 204 для измерения в процессе бурения (ИПБ), инструменты 205 для каротажа в процессе бурения (КВБ) и/или другое оборудование, располагаемое за буровым долотом 202.

В описываемом варианте осуществления инструмент 200 для определения характеристик горных пород представляет собой автономный модуль, однако следует понимать, что инструмент 200 для определения характеристик горных пород может интегрироваться в другой компонент забойной компоновки 201 бурильной колонны, такой как, например, инструмент 204 ИПБ или инструмент 205 КВБ.

Если инструмент 200 для определения характеристик горных пород представляет собой автономный модуль, он выполнен так, чтобы его можно было подсоединять к другим компонентам бурильной колонны 203. Это обычно осуществляется с помощью стандартного резьбового соединения, хотя могут использоваться любые другие средства соединения, известные в данной области техники.

Точно так же, инструмент 200 для определения характеристик горных пород выполнен так, чтобы с ним можно было связываться, когда он используется в бурильной колонне и в скважине. Чтобы обеспечивать связь с поверхности, инструмент 200 для определения характеристик горных пород данного варианта осуществления может использовать телеметрию по гидроимпульсному каналу связи. Понятно, что инструмент 200 для определения характеристик горных пород может использовать любую известную технологию связи для связи с поверхностью, включая, например, сигналопроводящую бурильную трубу.

Инструмент 200 для определения характеристик горных пород содержит керновое

буровое долото 300, показанное на фиг. 3А, которое, в отличие от конструкций предшествующего уровня техники, не извлекает образец керна из пласта. Вместо этого керновое буровое долото 300 содержит один или более резцов 301 для подготовки поверхности и один или более резцов 302 для испытаний. Резцы 301 для подготовки поверхности используются для удаления обломков 303 слоев породы, как показано на фиг. 3В, которые отложились на внутренних стенках скважины. Такие обломки могут включать в себя, но не ограничиваются ими, частицы бурового раствора, которые оседают в виде покрытия внутри ствола скважины, широко известного как корка бурового раствора. Резцы 301 для подготовки поверхности выполнены так, чтобы прорезать обломки 303 породы и обнажать поверхность фактического пласта 304, то есть ствола скважины, на котором резцы 302 для испытаний могут выполнять испытания. В этом отношении на фиг. 3В показано, как резцы 301 для подготовки поверхности очистили обломки породы, так что резцы 302 для испытаний оказались на поверхности пласта.

Резцы для подготовки поверхности могут дополнительно врезаться в пласт 304, например, на глубину около 20 мм при использовании бурового долота диаметром 31,1 см, чтобы удалить часть пласта, которая могла быть повреждена или каким-то образом подверглась неблагоприятному воздействию в процессе бурения. Это позволяет резцам 302 для испытаний выполнять испытания на неповрежденном и более репрезентативном пласте, чтобы получать более точные и надежные результаты. В этом отношении резцы 301 для подготовки поверхности убирают обломки с испытываемого участка, на котором резцы 302 для испытаний будут затем проводить испытания. Резцы 301 для подготовки поверхности могут очищать большую область, например, большую круговую область, при этом резцы 302 для испытаний выполнены так, чтобы взаимодействовать с пластом 304 в более сфокусированной области, например, в меньшей круговой области в пределах большей расчищенной области, которая была расчищена резцами 301 для подготовки поверхности.

В варианте осуществления, показанном на фиг. 3А, резцы 301 для подготовки поверхности и резцы 302 для испытаний установлены на одном и том же керновом буровом долоте 300, и каждый из них может выбираться для использования в зависимости от необходимости. Инструмент 200 для определения характеристик горных пород может быть приспособлен для обеспечения возможности выбора необходимых резцов, т.е. либо резцов 301 для подготовки поверхности, либо резцов 302 для испытаний, либо в пассивной конфигурации, либо в активной конфигурации.

В этой связи пассивно сконфигурированный инструмент 200 для определения характеристик горных пород позволяет выбирать и переключать резцы 301, 302 без

специально предназначенного для этого исполнительного механизма, как правило, с использованием зубчатой передачи, уже имеющейся в инструменте 200 для определения характеристик горных пород для обеспечения его вращения. Приводной механизм инструмента 200 для определения характеристик горных пород может иметь только один двигатель, а зубчатая передача может включать в себя конфигурации с понижающей передачей и/или с реверсивной передачей, чтобы позволять резцам 301 для подготовки поверхности и резцам 302 для испытаний вращаться по часовой стрелке с различными скоростями/крутящими моментами и против часовой стрелки с различными скоростями/крутящими моментами. Как понятно из фиг. 3А, в этой конфигурации резцы 301 подготовки поверхности расположены так, что они эффективно выполняютрезы для подготовки поверхности при вращении в направлении А и неэффективны при выполнении резов для подготовки поверхности при вращении в направлении В. С другой стороны, резцы 302 для испытаний эффективно выполняют свои испытательные резы или царапины при вращении в направлении В и неэффективны при выполнении испытательных резов или царапин при вращении в направлении А.

В рассматриваемом здесь варианте осуществления керновое буровое долото 300, следовательно, может эффективно прорезать обломки 303 породы при вращении в направлении А, зацепляя резцами 301 для подготовки поверхности подлежащие удалению обломки 303 породы. После того, как керновое буровое долото 300 продвинется в положение, показанное на фиг. 3В, направление вращения керна бурового долота 300 можно изменить на направление В, таким образом вращая резцы 302 для испытаний в направлении, требуемом для выполнения ими необходимой функции. Каждый набор резцов может немного выступать при вращении в направлении, требуемом для того, чтобы эти резцы вошли в контакт с пластом или с обломками породы. Торсионные пружины (не показаны) могут способствовать тому, чтобы одна пара резцов выступала при необходимости, а другая – не выступала.

В таком дополнительном варианте осуществления, использующем торсионную пружину, резцы 301 для подготовки поверхности могут располагаться так, чтобы они выступали за пределы резцов 302 для испытаний в первой конфигурации, а резцы 302 для испытаний могли выступать за пределы резцов 301 для подготовки поверхности во второй конфигурации.

Ножи резцов 302 для испытаний могут быть выполнены так, чтобы при вращении керна бурового долота 300 в первом направлении к пласту подводилась, по существу, тупая режущая кромка, а при вращении керна бурового долота 300 во втором направлении, противоположном первому направлению, к пласту подводилась, по

существо, острая режущая кромка.

В связи с этим тупая режущая кромка необходима для измерения угла внутреннего трения, а острая режущая кромка необходима для измерения неограниченной прочности при сжатии.

На фиг. 4, на виде в разрезе, показана часть узла инструмента для определения характеристик горных пород, содержащая активный механизм для перемещения резцов 401 для подготовки поверхности и резцов 402 для испытаний к передней части кернового бурового долота 400, готового к подготовке поверхности или испытанию соответственно. Керновое буровое долото 400, как правило, выполнено с возможностью вращения с помощью зубчатой передачи 403, 404, 405.

В этом отношении активный механизм содержит первый винт 406А и второй винт 406В. Каждый из первого и второго винтов 406А, 406В имеет соответствующие участки 407А, 407В со спиральной резьбой, которые расположены так, что вращение по часовой стрелке и линейное перемещение в направлении С первого винта 406А вызывает вращение против часовой стрелки и линейное перемещение в направлении D второго винта 406В. Керновое буровое долото 400, как правило, может приводиться во вращение посредством зубчатой передачи 403, 404, 405 с помощью двигателя 408. Первый винт 406А приводится во вращение двигателем 409, которому не требуется приводить во вращение второй винт 406В из-за ранее описанного расположения взаимодействующих винтовых резьбовых участков 407А, 407В. Первый винт 406А прикреплен к резцу 401 для подготовки поверхности, а второй винт 406В прикреплен к резцу 402 для испытаний. Шаг резьбы, длина валов и т.д. могут подбираться в зависимости от требований. Описанная конструкция используется для перемещения каждого резца 401, 402 в необходимое положение, когда они требуются, и для отвода резцов 401, 402, когда они не требуются. В описываемом варианте осуществления показан только один резец 401 для подготовки поверхности и один резец 402 для испытаний, однако следует понимать, что можно использовать любое количество резцов 401 для подготовки поверхности и резцов 402 для испытаний.

Механическое выдвигание и втягивание первого винта 406А и второго винта 406В можно равноценно заменить конструкциями с электрическим или гидравлическим приводом.

На фиг. 5А показан альтернативный вариант кернового бурового долота 500, которое можно использовать в инструменте для определения характеристик горных пород, таком как, например, инструмент для определения характеристик горных пород, показанный на фиг. 4. В этом варианте осуществления керновое буровое долото 500

использует активный механизм для перемещения резца 501 для подготовки поверхности и резца 502 для испытаний в необходимое положение и возврата в исходное положение. Керновое буровое долото 500 имеет центральный вал 503, который соединен с первой вставкой 504 на своем первом конце и с поршнем 505 с гидравлическим приводом на противоположном конце. Вставка 504 содержит резец 501 для подготовки поверхности и выполнена с возможностью перемещения относительно остальной части кернового бурового долота 500 в направлении E, чтобы выдвигать резец 501 для подготовки поверхности вперед для использования. Резец 502 для испытаний установлен в плече 507 кернового бурового долота 500. Когда после использования резца 501 для подготовки поверхности необходимо выдвинуть вперед резец 502 для испытаний, вставка 504 может быть отведена за счет перемещения назад гидравлического поршня и пружины 506, смещающей вставку 504 обратно во втянутое положение. В качестве альтернативы гидравлическому поршню, перемещение вставки 504 может контролироваться и осуществляться другими подходящими механизмами, например электрическим средством.

В варианте осуществления, представленном на фиг. 5А, показан только один резец 501 для подготовки поверхности и один резец 502 для испытаний, однако следует понимать, что возможна модификация варианта осуществления для обеспечения как множества резцов 501 для подготовки поверхности, так и множества резцов 502 для испытаний. Одной из таких модификаций может быть обеспечение множества резцов 501 для подготовки поверхности на вставке и, аналогичным образом, множества резцов 502 для испытаний на корпусе кернового бурового долота 500. Альтернативной модификацией может быть использование нескольких вставок, каждая из которых несет на себе один или более резцов 501 для подготовки поверхности. Следует понимать, что резцы 501 для подготовки поверхности и резцы для испытаний, установленные на вставке 504 и кернового бурового долоте 500, соответственно, могут использоваться в обратной компоновке, т.е. резцы 502 для испытаний могут устанавливаться на вставке 504, а резцы для подготовки поверхности – на плече 507 кернового бурового долота 500.

Кроме того, резцы 502 для испытаний могут иметь конфигурацию кромок, аналогичную ранее описанной со ссылкой на фиг. 3, т.е. с тупой кромкой резца, обращенной к пласту, когда керовое буровое долото 500 вращается в первом направлении, и с острой кромкой резца, обращенной к пласту, когда керовое буровое долото 500 вращается во втором направлении, противоположном первому направлению.

В качестве альтернативы, конфигурация может включать в себя три отдельных и отличающихся резца или три набора резцов. Первый набор резцов представляет собой

резцы для подготовки поверхности, второй набор представляет собой резцы с тупыми кромками для измерения угла внутреннего трения, а третий набор представляет собой резцы с острыми кромками для измерения одноосной прочности при сжатии. Резцы для подготовки поверхности могут устанавливаться на плече кернового бурового долота, как описано выше. Резцы с тупыми и острыми кромками могут устанавливаться на отдельных первой и второй вставках, которые могут перемещаться независимо друг от друга с помощью конструкции, аналогичной варианту осуществления, описанному со ссылкой на фиг. 5А.

Независимо от способа развертывания резца, либо путем реверсирования направления вращения кернового бурового долота и/или путем выдвижения другого резца на передний план, использование резцов для подготовки поверхности наряду с тупыми и острыми резцами на одном и том же керновом буровом долоте позволяет испытывать ту же общую область пласта на одноосную (неограниченную) прочность при сжатии и на угол внутреннего трения.

На фиг. 5В-5Н показаны альтернативные варианты перемещения кернового бурового долота и резцов из инструмента, чтобы они могли выполнять свои функции в стволе скважины. В этих вариантах осуществления керновое буровое долото и резцы для подготовки поверхности и для испытаний для простоты ссылки обозначены соответственно как 500, 501 и 502, но следует понимать, что варианты осуществления, показанные на фиг. 5В-5Н, не ограничиваются конкретными особенностями варианта осуществления, показанного на фиг. 5А.

На фиг. 5В показана электромеханическая подсистема, в которой резцы 501, 502 вращаются с помощью первого электродвигателя 508. Перемещение кернового бурового долота 500 обеспечивается вторым электродвигателем 509, приводящим в действие наклонный кулачок 510. Второй электродвигатель 509 может соединяться с наклонным кулачком 510 червячной передачей 511 или любым другим подходящим соединением для преобразования вращательного движения второго электродвигателя 509 в поступательное движение наклонного кулачка 510 в направлении F, что вызывает поступательное перемещение кернового бурового долота 500 в направлении E.

На фиг. 5С показан другой альтернативный вариант осуществления, в котором керновое буровое долото 500 перемещается вторым электродвигателем 509а в сочетании с червячной передачей 511а, соединенной с керновым буровым долотом 500. Как показано на фиг. 5С, второй электродвигатель 509а также предназначен для перемещения первого электродвигателя 508а, который приводит в движение резцы 501, 502, так что керновое буровое долото 500 и первый электродвигатель 508а оба совместно перемещаются в

требуемое положение вторым электродвигателем 509а и червячной передачей 511а. Следует понимать, что червячная передача 511а выбрана для преобразования вращательного движения второго электродвигателя 509а в поступательное движение кернового бурового долота 500 и первого электродвигателя 508а, однако также может использоваться любой подходящий механизм.

На фиг. 5D показан другой альтернативный вариант осуществления, в котором первый электродвигатель 508b соединен с керновым буровым долотом 500 с целью приведения в действие, т.е. вращения резцов 501, 502, а второй электродвигатель 509b соединен с держателем 512 долота, который представляет собой опорный элемент, выполненный с возможностью удерживания или заключения в себе части кернового бурового долота 500. Держатель 512 долота находится в зацеплении с винтовым кулачком 513, так что вращение держателя 512 долота вторым электродвигателем 509b будет вызывать поступательное перемещение кернового бурового долота 500. Этот вариант осуществления обеспечивает поступательное продвижение кернового бурового долота 500 и вращение кернового бурового долота 500.

На фиг. 5E показан альтернативный вариант осуществления, в котором первый электродвигатель 508с соединен с керновым буровым долотом 500 через держатель 512с долота. В этом варианте осуществления керновое буровое долото 500 вращается вследствие того, что держатель 512с долота вращается первым электродвигателем 508с. Второй электродвигатель 509с используется для перемещения кернового бурового долота 500 за счет приведения в действие червячной передачи 511с, которая соединена с керновым буровым долотом 500.

На фиг. 5F показан альтернативный вариант, который представляет собой электромеханическую и гидравлическую систему. В этом варианте осуществления первый электродвигатель 508d соединен с керновым буровым долотом 500d для обеспечения вращения кернового бурового долота 500d. Керновое буровое долото 500d перемещается гидравлическим поршнем, причем второй электродвигатель 509d приводит в действие червячную передачу 511d, которая, в свою очередь, перемещает первый поршень 514 внутри первого гидравлического цилиндра. 515. Первый гидравлический цилиндр 515 соединен с аналогичным вторым гидравлическим цилиндром 516 внутри кернового бурового долота 500d. Соответствующий второй поршень 517 во втором гидравлическом цилиндре 516 зафиксирован, однако керновое буровое долото 500d выполнено с возможностью свободного перемещения относительно неподвижного второго поршня 517. Когда первый поршень 514 внутри первого гидравлического цилиндра 515 движется, гидравлическая текучая среда закачивается на одну сторону второго гидравлического

цилиндра 516 и откачивается с другой стороны второго гидравлического цилиндра 516, заставляя керновое буровое долото 500d перемещаться наружу или внутрь относительно неподвижного второго поршня 517.

На фиг. 5G показан другой альтернативный вариант осуществления, в котором различные резцы (т.е. резцы 501 для подготовки поверхности и резцы 502 для испытаний) расположены на отдельных предназначенных для этого долотах, которые установлены на скользящей конструкции 518. Скользящая конструкция 518 может управляться червячной передачей 519, приводимой в действие электродвигателем 520 или любым другим подходящим средством. Резцы 501, 502 могут вращаться двигателем 521 вращения и перемещаться вперед с помощью двигателя 522 продвижения, который в настоящем варианте осуществления продвигает исполнительный механизм 523 для вступления в контакт с нужным резцом 501, 502 с помощью червячной передачи 524.

В альтернативном варианте осуществления, скользящая конструкция 518 может представлять собой вращающуюся карусель, и в этом случае червячная передача 519, показанная на фиг. 5G, может быть заменена подходящим приспособлением для вращения карусели, чтобы можно было выбирать правильный резец 501, 502.

На фиг. 5H показан альтернативный вариант осуществления, в котором для каждого резца используется специальный гидравлический исполнительный механизм. В варианте осуществления, показанном на фиг. 5H, используются только два резца 501, 502, однако следует понимать, что в этом варианте может использоваться любое количество резцов с соответствующими приспособленными для этого гидравлическими исполнительными механизмами для каждого резца. Как показано на фиг. 5H, первый резец 501 имеет приспособленный для этого первый гидравлический исполнительный механизм 525, который представляет собой конструкцию с поршневым цилиндром, в которой гидравлическая текучая среда может перекачиваться под давлением на одну сторону цилиндра, чтобы вызвать перемещение поршня и, следовательно, резца 501 наружу. Когда резец 501 необходимо втянуть, гидравлическая текучая среда может перекачиваться на другую сторону поршня, чтобы переместить поршень в противоположном направлении и таким образом втянуть резец. Аналогичная конструкция предусмотрена отдельно для второго резца 502. Этот вариант осуществления позволяет управлять каждым резцом 501, 502 индивидуально, а также обеспечивает вариант осуществления, в котором корпус инструмента не нужно делить на части, подобно варианту осуществления, показанному выше на фиг. 5A.

Обратимся теперь к фиг. 6, на которой схематично показан узел 600 инструмента для определения характеристик горных пород, содержащий керновое буровое долото 601,

которое может представлять собой керновое буровое долото в соответствии с любой из ранее описанных конфигураций. Независимо от конфигурации резцов на керновом буровом долоте 601, окружающая система предназначена для обеспечения локальной стабильности окружающей среды во время измерения угла внутреннего трения или одноосной прочности при сжатии пласта. В этом контексте окружающая система представляет собой несущую конструкцию в виде корпуса 602 для изоляции внутренних компонентов от внешней среды бурового раствора и погружения их в гидравлическое масло. Компенсатор 603 поддерживает давление внутри корпуса 602, чтобы оно соответствовало внешнему давлению.

На фиг. 7А, 7В и 8 более подробно показан узел типа показанного на фиг. 6. В связи с этим узел 600 инструмента для определения характеристик горных пород обеспечивает измерительную систему, средство выдвижения и втягивания кернового бурового долота 601, наряду с особенностями для обеспечения несущей способности и демпфирования усилий, возникающих во время измерения характеристик пласта. Керновое буровое долото 601 может иметь любую из ранее упомянутых конфигураций кернового бурового долота. Несущая конструкция может содержать первый блок 702 двигателя и редуктора, второй блок 703 двигателя и редуктора, линейную направляющую 704, клиновой элемент 705 и опору 706 кернового бурового долота. Эти особенности обеспечивают механизм для преобразования вращательного движения в первом или втором блоке 702, 703 двигателя и редуктора в поступательное движение для перемещения кернового бурового долота 601 вперед для проведения испытаний пласта. Несущая конструкция дополнительно содержит втулки/подшипники 707 и динамические уплотнения, которые обеспечивают вращательное движение кернового бурового долота 601 без утечки текучей среды. Кроме того, для обеспечения питания и управления двигателями и датчиками имеются электрические соединители 708, 709. Несущая конструкция также содержит гидравлические соединители для подсоединения компенсатора 603 и обеспечения возможности первоначального заполнения несущей конструкции маслом.

Гидравлический компенсатор 603 приспособлен для уравнивания давления среды внутри узла, чтобы оно, по существу, соответствовало давлению среды за пределами несущей конструкции, т.е. поддержания давления смазочного масла внутри узла равным давлению бурового раствора в кольцевом пространстве. Гидравлический компенсатор обеспечивает это путем закачивания текучей среды в несущую конструкцию или отвода текучей среды из нее, чтобы компенсировать изменение глубины, на которой работает инструмент для определения характеристик горных пород, изменение

температуры окружающей среды и/или изменение внутренних объемов, которые меняются во время операции перемещения кернового бурового долота 601.

Когда узел находится в сбалансированном стабильном состоянии, описанная система позволяет царапать пласт для определения угла внутреннего трения или одноосной (неограниченной) прочности при сжатии. Царапание предпочтительно выполняется в ходе кругового движения, в отличие от традиционного линейного царапания образца керна, извлеченного из скважины.

На фиг. 10А-10D и фиг. 11А-11D показаны различные виды примеров острого и тупого резцов соответственно.

На фиг. 10А показан, на виде сбоку, пример острого резца 1000 с режущей кромкой 1010. На фиг. 10В, 10С и 10D показан, на видах спереди, сверху и в изометрии, острый резец 1000. На фиг. 11А показан, на виде сбоку, пример тупого резца 1100, а на фиг. 11В, 11С и 11D показан, на видах спереди, сверху и в изометрии, тупой резец 1100. Типичные размеры острого резца 1000 показаны на фиг. 10А-10С, а типичные размеры тупого резца 1100 при использовании бурового долота диаметром 31,1 см показаны на фиг. 11А-11В. Следует иметь в виду, что при использовании буровых долот других размеров размеры будут другими, и что эти точные размеры являются только примерами размеров, которые могут быть подходящими.

В качестве альтернативы отдельному острому резцу и отдельному тупому резцу может использоваться единый резец, который можно использовать как острый резец и как тупой резец. Это достигается за счет использования резца, имеющего профилированную скошенную режущую кромку. Пример такого резца 1200 со скошенной кромкой показан на фиг. 12А-12С. Резец 1200 может выполнять функцию как острого резца, так и тупого резца. Скос 1210 может иметь радиус в диапазоне от 0,1 мм до 0,5 мм, в зависимости от ситуации. Например, можно использовать скос 0,1 мм, 0,3 мм или 0,5 мм.

Когда используется описанный выше единый резец, оценка как угла внутреннего трения, так и одноосной прочности при сжатии может быть получена с хорошей точностью при одновременном сокращении времени измерения, необходимого для выполнения испытания. Кроме того, инструмент упрощается за счет устранения необходимости выдвигать острые и тупые резцы в соответствующие положения и втягивать их обратно.

Эксплуатация инструмента

Соответственно, изобретение относится к модулю, который может устанавливаться в забойной компоновке буровой колонны (примерно в 35-45 м от долота). Для получения измерений одноосной прочности при сжатии и угла внутреннего трения узел

инструмента последовательно выполняет следующие основные функции:

а) ожидание действительной команды приведения в действие:

устройство обычно находится в режиме низкого потребления, в котором только модуль, отвечающий за обнаружение действительной команды приведения в действие с поверхности, подаваемой, например, посредством последовательности соответствующим образом закодированных волн давления или посредством системы передачи данных, если таковая имеется в бурильной колонне;

при обнаружении такой команды, ответственный за это модуль проверяет ее правильность на основании заданных критериев (например, как минимум, он проверяет, что бурильная колонна не вращается);

если команда приведения в действие подтверждена, модуль переводит систему в рабочий режим, в противном случае модуль возвращается в режим ожидания команды приведения в действие;

б) обездвиживание/удерживание системы на внутренней стенке скважины:

первая функция, которую система выполняет в рабочем режиме, заключается в выдвигании башмаков, которые упираясь в стенку скважины, фиксируют бурильную колонну для последующих операций резки и царапания;

подходящие датчики и/или текущие измерения определяют, что операция была выполнена правильно, чтобы последовательно перейти к следующей функции или, если результат отрицательный, чтобы прервать процедуру;

в) подготовка (резка) поверхности стенки скважины:

измерительная подсистема (или подсистемы) вызывает выдвигание кернового бурового долота и его вращение с целью подготовки поверхности;

керновое буровое долото проходит сквозь слой бурового раствора, отделяющий инструмент от стенки скважины, и вступает в контакт с горной породой, на контакт указывает резкое увеличение усилия, измеряемого соответствующими датчиками нагрузки, встроенными в инструмент;

как только контакт происходит, керновое буровое долото перемещается вперед (вращаясь) на предварительно определенную глубину (например, порядка примерно 20 мм при использовании кернового бурового долота диаметром 31,1 см), таким образом удаляя потенциально поврежденный слой пласта, через который прошло буровое долото;

г) операция «царапания»:

с помощью подходящего механизма измерительная подсистема (или подсистемы) переключается с резцов для подготовки поверхности на царапающие резцы для измерения одноосной прочности при сжатии (острые резцы) и угла внутреннего трения (тупые

резцы);

керновое буровое долото снова входит в соприкосновение со стенкой ранее «подготовленного» пласта;

керновое буровое долото выполняет операцию царапания последовательно на различных глубинах и длинах в соответствии с предварительно определенной программой;

операция завершается возвратом керна бурового долота;

д) отсоединение от стенки скважины при повторном втягивании в оболочку корпуса:

система блокировки осуществляет втягивание башмаков;

е) обработка измеренных параметров пласта (угла внутреннего трения и одноосной (неограниченной) прочности при сжатии) в его исходном напряженном состоянии:

система обрабатывает измерения на основе предварительно определенного кода;

система записывает результаты во внутреннюю память и, возможно, связывается с поверхностью (при наличии системы связи);

ж) ожидание следующей команды приведения в действие:

система переходит в режим низкого потребления, ожидая новую команду приведения в действие.

Операция «царапания», описанная в параграфе г), выполняется по принципу работы, аналогичному принципу работы обычного лабораторного инструмента, такого как Wombat компании EpsLog: разрушение определенных количеств (объемов) породы для измерения ее угла внутреннего трения или одноосной прочности при сжатии с использованием двух наборов резцов подходящей формы для проведения двух разных измерений.

Основное отличие между этими двумя компонентами (забойным измерительным компонентом и лабораторным инструментом), в дополнение к различным условиям измерения (забой характеризуется высоким давлением и высокими температурами, по сравнению с лабораторными условиями с температурой и давлением окружающей среды), заключается в способе осуществления механического царапания пласта, которое является круговым в случае первого компонента и линейным во втором случае.

Возможный вариант осуществления изобретения предусматривает использование двух смежных измерительных подсистем, одна из которых используется для определения одноосной прочности при сжатии, а другая – для определения угла внутреннего трения. Предпочтительно, чтобы эти системы были расположены близко друг к другу, чтобы гарантировать, что они измеряют два параметра в двух точках одного и того же пласта.

Для обеспечения большей стабильности во время измерения может иметься одна или более систем обездвиживания/удерживания на внутренней стенке скважины. Эти системы предназначены для реагирования на усилие, создаваемое измерительными инструментами при их взаимодействии с пластом.

Другие компоненты также предназначены для обеспечения надлежащего функционирования системы и обеспечения системы достаточной энергией, источником которой в предлагаемом решении являются аккумуляторные батареи.

Способ проведения испытаний с целью определения одноосной прочности при сжатии и угла внутреннего трения пласта в какой-либо точке скважины описывается со ссылкой на фиг. 9А и 9В.

Инструмент 902 для определения характеристик горных пород в соответствии с любым из ранее описанных вариантов осуществления предоставляется в забойной компоновке 903 бурильной колонны примерно в 35-45 м от кернового бурового долота 904 и опускается в скважину 901 до требуемого местоположения 905 для проведения испытаний характеристик горной породы, т.е. для выполнения испытаний по определению одноосной прочности при сжатии и угла внутреннего трения. Затем на инструмент 902 для определения характеристик горных пород с помощью телеметрии по гидроимпульсному каналу связи подается с поверхности команда на вывод инструмента 902 для определения характеристик горных пород из режима низкого энергопотребления. Инструмент 902 для определения характеристик горных пород соответственно выдвигает башмаки в скважину 901, создавая усилие, против которого инструмент для определения характеристик горных пород 902 может оказывать давление для проведения испытаний в скважине 901. Датчики в инструменте 902 для определения характеристик горных пород определяют, правильно ли установлены башмаки, чтобы перейти к этапу подготовки пласта к испытаниям и проведению испытаний пласта.

Подготовка пласта

Если башмаки установлены надлежащим образом, измерительная подсистема инструмента 902 для определения характеристик горных пород заставляет керновое буровое долото (не показано на фиг. 9А и 9В) выдвинуться из несущей конструкции и вращаться для подготовки поверхности, т.е. для удаления корки бурового раствора/слоя обломков. Керновое буровое долото в конечном итоге входит в контакт с пластом после удаления слоев обломков. Инструмент 902 для определения характеристик горных пород определяет, когда керновое буровое долото коснется пласта по резкому увеличению усилия, определяемого тензодатчиками, встроенными в инструмент 902 для определения характеристик горных пород. Затем керновое буровое долото может продвигаться на

предварительно определенную глубину в пласт (обычно около 20 мм) для удаления потенциально поврежденного или нарушенного слоя пласта, через который прошло буровое долото при бурении этой части скважины. Затем керновое буровое долото извлекается, чтобы оставить часть пласта, готовую к испытаниям.

Инструмент 902 для определения характеристик горных пород имеет одну из ранее описанных конфигураций резцов и механизмов переключения резцов. С помощью упомянутого механизма резцы для подготовки поверхности отводятся и втягиваются, а резцы для испытаний выдвигаются вперед. Затем резцы для испытаний на керновом буровом долоте входят в контакт с испытываемым пластом. После этого резцы для испытаний могут выполнять операцию царапания пласта для определения одноосной прочности при сжатии и/или угла внутреннего трения пласта. Резцы выполняют эту операцию в соответствии с предварительно определенной программой или процедурой, которая либо определена заранее и запрограммирована в инструменте, либо отправлена с поверхности в виде команды инструменту.

Сбор и передача данных

Когда необходимые данные собраны во время испытания царапанием, данные могут обрабатываться в инструменте 902 для определения характеристик горных пород или могут отправляться с помощью телеметрии по гидроимпульсному каналу связи или других средств связи на поверхность, где они могут обрабатываться с целью их оценки. Инструмент 902 для определения характеристик горных пород также сохраняет во внутренней памяти инструмента зарегистрированные данные, возможно, вместе со временем, температурой, параметрами вибрации и т.д., которые можно выгрузить для получения высококачественных данных на поверхности, когда инструмент извлечен из скважины и забойная компоновка 201 скважины демонтирована.

Повторное тестирование или извлечение

При необходимости могут проводиться дополнительные испытания царапанием, в противном случае керновое буровое долото и опорные башмаки втягиваются из пласта обратно в несущую конструкцию. Как правило, инструмент 902 для определения характеристик горных пород переходит в режим низкого энергопотребления и ожидает новой команды приведения в действие.

В раскрытом в данном документе изобретении предлагается как способ анализа характеристик горных пород, так и инструмент и узел для определения характеристик горных пород, которые можно использовать для осуществления этого способа.

В результате, предлагаемые согласно изобретению способ, инструмент и узел обеспечивают следующие преимущества:

улучшение модели устойчивости ствола скважины за счет возможности измерения параметров одноосной прочности при сжатии и угла внутреннего трения пласта непосредственно на внутренней стенке скважины в их исходном напряженном состоянии во время этапа бурения;

возможность получения большего количества характеристик, чем при отборе керна, особенно в средах, в которых невозможно отобрать керн;

снижение затрат за счет возможности исключения операций отбора керна;

снижение затрат за счет сокращения непроизводительной траты времени, прежде всего, благодаря следующим аспектам:

отсутствие замедления буровых работ, так как предполагается, что изобретение будет использоваться при смене буровых штанг с активной циркуляцией;

отсутствие увеличения времени ожидания результатов измерения угла внутреннего трения или одноосной прочности при сжатии пласта, поскольку значения, полученные и сохраненные с помощью изобретения непосредственно на месте, доступны, например, после каждой смены долота; и

повышенная эксплуатационная безопасность за счет исключения всех действий, связанных с получением керна из скважины и последующим обращением с керном/перемещением керна, а также исключения всех лабораторных работ.

В связи с этим, предлагаемый согласно изобретению инструмент можно использовать для непосредственного измерения параметров угла внутреннего трения и одноосной прочности при сжатии пласта в скважине в его исходном напряженном состоянии с помощью одного или более измерительных устройств, размещенных непосредственно внутри модуля, который может устанавливаться в забойной компоновке буровой колонны.

Инструмент может активироваться с поверхности посредством, например, последовательности соответствующим образом кодированных волн давления или посредством системы передачи данных, если она имеется в буровой колонне.

После получения команды приведения в действие, система работает в полностью автономном режиме, последовательно выполняя предусмотренные операции и измерения в течение времени, необходимого для смены буровой штанги, без какого-либо вмешательства оператора, и обеспечивая безопасность работ.

Более того, зарегистрированные и сохраненные на месте данные могут впоследствии быть доступны, например, при каждой смене долота или в режиме реального времени, если в буровой колонне имеется система передачи данных.

Расчет неограниченной прочности при сжатии и угла внутреннего трения может

выполняться с использованием той же теории, что и в известных системах, которые определяют характеристики горной породы на поверхности, таких как система Wombat. Изобретение обладает дополнительным преимуществом в виде снижения затрат благодаря улучшению моделей устойчивости ствола скважины и сокращению непроизводительной траты времени.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Скважинный инструмент для проведения внутрискважинных испытаний по определению характеристик горных пород на испытываемом участке пласта, содержащий по меньшей мере один резец для подготовки поверхности и по меньшей мере один резец для испытаний, при этом по меньшей мере один резец для подготовки поверхности приспособлен для удаления обломков породы между испытываемым участком и инструментом при подготовке взаимодействия по меньшей мере одного резца для испытаний с испытываемым участком.

2. Скважинный инструмент по п. 1, в котором по меньшей мере один резец для подготовки поверхности дополнительно приспособлен для удаления слоя испытываемого участка.

3. Скважинный инструмент по п. 2, в котором по меньшей мере один резец для подготовки поверхности предварительно настроен на удаление слоя пласта толщиной, по существу, 20 мм.

4. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-3, в котором по меньшей мере один резец для испытаний является, по существу, тупым для проведения испытания на угол внутреннего трения.

5. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-3, в котором по меньшей мере один резец для испытаний является, по существу, острым для проведения испытания на одноосную (неограниченную) прочность при сжатии.

6. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-3, в котором по меньшей мере один резец для испытаний содержит острый резец для проведения испытания на одноосную (неограниченную) прочность при сжатии и тупой резец для проведения испытания на угол внутреннего трения.

7. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-6, в котором резец для подготовки поверхности выполнен с возможностью перемещения по первой круговой траектории для выполнения подготовки поверхности.

8. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-7, в котором резец для испытаний выполнен с возможностью перемещения по второй круговой траектории для проведения одного или более испытаний на угол внутреннего трения или испытаний на одноосную (неограниченную) прочность при сжатии.

9. Скважинный инструмент по п. 8, в котором вторая круговая траектория находится в пределах окружности первой круговой траектории.

10. Скважинный инструмент по любому из пп. 6-9, в котором острый резец и тупой

резец интегрированы в единый резец для испытаний.

11. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-10, в котором по меньшей мере один резец для подготовки поверхности содержит множество резцов для подготовки поверхности, и по меньшей мере один резец для испытаний содержит множество резцов для испытаний.

12. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-11, в котором по меньшей мере один резец для подготовки поверхности и по меньшей мере один резец для испытаний установлены с возможностью относительного перемещения так, что они способны попеременно находиться в активном режущем и пассивном втянутом состояниях.

13. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-12, дополнительно выполненный так, что по меньшей мере один резец для подготовки поверхности способен выборочно перемещаться из первого положения инструмента для удаления обломков во второе положение инструмента, чтобы позволять по меньшей мере одному резцу для испытаний проводить испытание.

14. Скважинный инструмент по п. 13, дополнительно выполненный так, что по меньшей мере один резец для испытаний способен выборочно перемещаться из упомянутого первого положения инструмента, в котором по меньшей мере один резец для подготовки поверхности способен удалять обломки, в упомянутое второе положение инструмента, в котором по меньшей мере один резец для испытаний способен проводить испытание.

15. Скважинный инструмент по п. 14, в котором по меньшей мере один резец для подготовки поверхности и по меньшей мере один резец для испытаний механически связаны так, что перемещение резца для подготовки поверхности из первого положения инструмента во второе положение инструмента вызывает перемещение резца для испытаний из первого положения инструмента во второе положение инструмента.

16. Скважинный инструмент по любому из пп. 12-15, в котором по меньшей мере один резец для подготовки поверхности и по меньшей мере один резец для испытаний выполнены с возможностью перемещения относительно друг друга с помощью одного или нескольких гидравлических поршневых устройств или электрических устройств.

17. Скважинный инструмент по любому из пп. 1-16, дополнительно содержащий керновое буровое долото, выполненное с возможностью перемещения по меньшей мере одного резца для подготовки поверхности и по меньшей мере одного резца для испытаний к испытываемому участку.

18. Скважинный инструмент по п. 17, в котором керновое буровое долото перемещается в направлении, по существу, перпендикулярном осевому направлению

скважины на испытываемом участке.

19. Узел скважинного инструмента, содержащий инструмент по любому из пп. 1-18, при этом узел имеет несущую конструкцию, внутри которой компоненты инструмента могут быть изолированы от среды скважины, при этом одна или более характеристик среды внутри несущей конструкции настраиваются в соответствии с характеристиками среды скважины.

20. Узел скважинного инструмента по п. 19, в котором одна или более характеристик включают в себя одно или более из давления и температуры.

21. Узел скважинного инструмента по п. 19 или 20, в котором керновое буровое долото выполнено с возможностью выдвижения из несущей конструкции наружу несущей конструкции.

22. Узел скважинного инструмента по любому из пп. 19-21, дополнительно содержащий компенсатор, выполненный с возможностью закачивания текучей среды в несущую конструкцию или выкачивания из нее, чтобы выравнять внутреннее давление в несущей конструкции с локальным давлением вне несущей конструкции.

23. Узел скважинного инструмента по любому из пп. 19-22, дополнительно содержащий раздвигаемое обездвиживающее средство для прикрепления узла к внутренней части скважины.

24. Узел скважинного инструмента по п. 23, в котором обездвиживающее средство содержит один или более компонентов башмака для упора в стенку скважины для создания реакции фиксации во время операций испытания.

25. Узел скважинного инструмента по любому из пп. 19-24, дополнительно содержащий соединительное средство для соединения с бурильной трубой или инструментами забойной компоновки бурильной колонны.

26. Узел скважинного инструмента по любому из пп. 19-25, дополнительно содержащий модуль питания для подачи питания на двигатель для перемещения кернового бурового долота к испытываемому участку.

27. Узел скважинного инструмента по п. 26, в котором модуль питания представляет собой аккумуляторную батарею.

28. Узел скважинного инструмента по любому из пп. 19-27, дополнительно содержащий по меньшей мере один датчик усилия, приспособленный для определения первого усилия на по меньшей мере одном резце для подготовки поверхности.

29. Узел скважинного инструмента по любому из пп. 19-28, дополнительно содержащий по меньшей мере один датчик усилия и по меньшей мере один датчик крутящего момента, приспособленные для определения второго усилия и крутящего

момента на по меньшей мере одном резце для испытаний.

30. Узел скважинного инструмента по любому из пп. 19-29, дополнительно содержащий средство обработки для расчета угла внутреннего трения или ограниченной прочности при сжатии на основе измерения второго усилия и крутящего момента.

31. Способ проведения испытания для определения характеристик горной породы на испытываемом участке в стволе скважины, включающий в себя этапы, на которых:

размещают в скважине скважинный инструмент или узел скважинного инструмента по любому из пп. 1-30;

перемещают по меньшей мере один резец для подготовки поверхности к испытываемому участку для удаления обломков, расположенных вдоль пути перемещения;

перемещают по меньшей мере один резец для испытаний к испытываемому участку; и

осуществляют взаимодействие резца для испытаний с испытываемым участком.

32. Способ по п. 31, при котором после размещения в скважине на испытываемом участке узел инструмента уравнивают по давлению так, что измерительные компоненты, заключенные в оболочку, находятся под давлением, соответствующим локальному давлению среды.

33. Способ по п. 31 или 32, дополнительно включающий в себя этапы, на которых:

осуществляют взаимодействие тупого резца с испытываемым участком;

измеряют усилие вдоль оси вращения тупого резца; и

измеряют крутящий момент резки на тупом резце.

34. Способ по любому из пп. 31-33, дополнительно включающий в себя этапы, на которых:

осуществляют взаимодействие острого резца с испытываемым участком;

измеряют усилие вдоль оси вращения острого резца; и

измеряют крутящий момент резки на остром резце.

35. Способ по любому из пп. 30-34, дополнительно включающий в себя этап, на котором вычисляют угол внутреннего трения по усилию вдоль оси вращения тупого резца и измеренному крутящему моменту резки на тупом резце.

36. Способ по любому из пп. 30-35, дополнительно включающий в себя этап, на котором вычисляют одноосную (неограниченную) прочность при сжатии по усилию, измеренному вдоль оси вращения острого резца, и измеренному крутящему моменту на остром резце.

37. Резец для применения в скважинном инструменте или в узле скважинного

инструмента по любому из пп. 1-30 или в способе по пп. 31-36, имеющий профилированную режущую кромку, скошенную так, чтобы он имел возможность выполнять функции как тупого, так и острого резца.

38. Резец по п. 36, в котором скос имеет радиус от 0,1 до 0,5 мм.

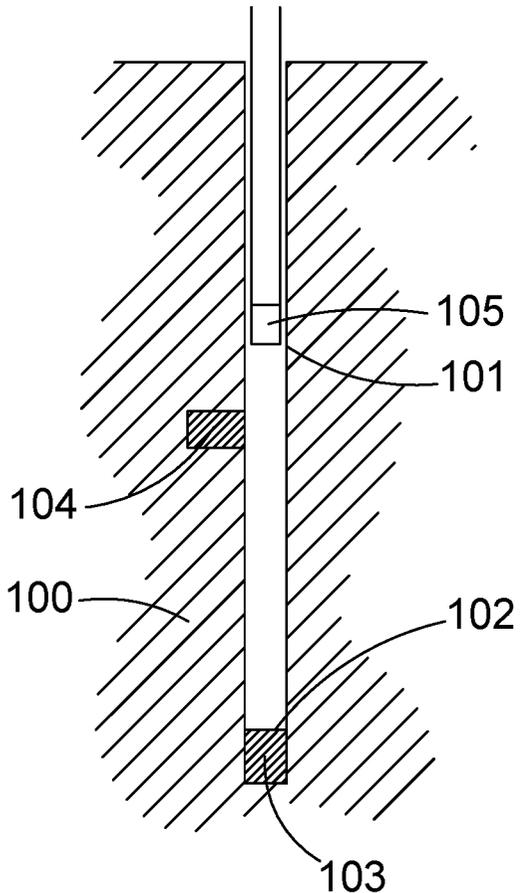


FIG. 1A

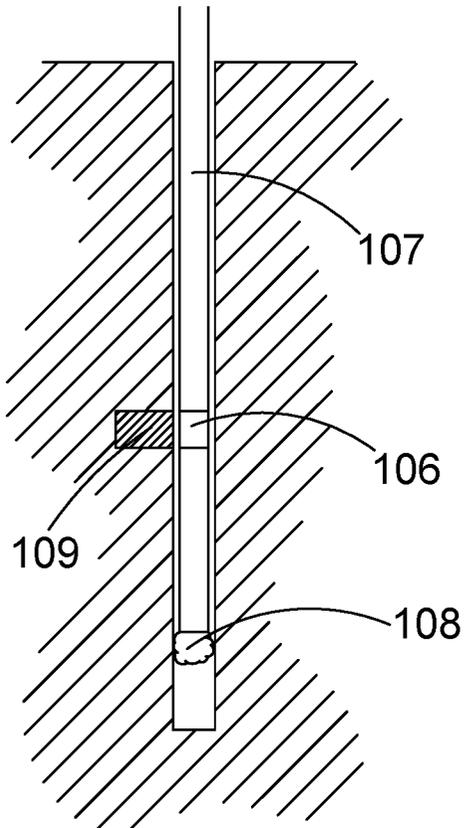


FIG. 1B

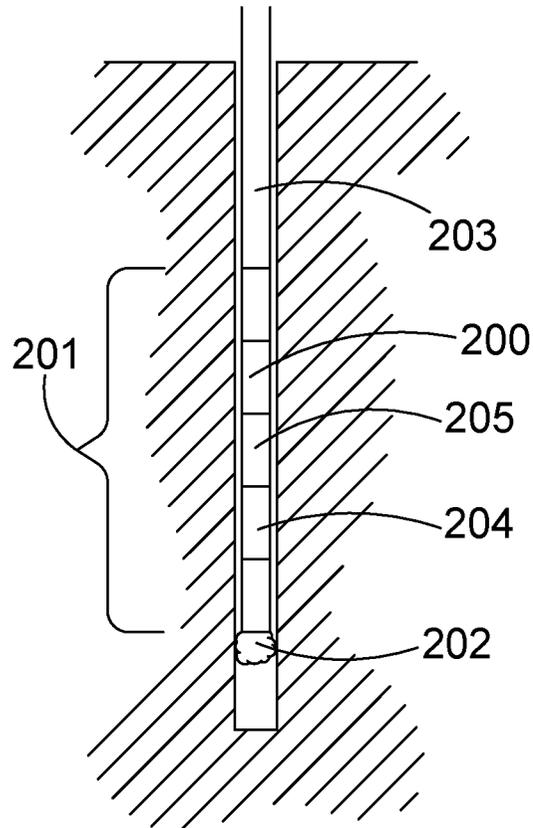


FIG. 2

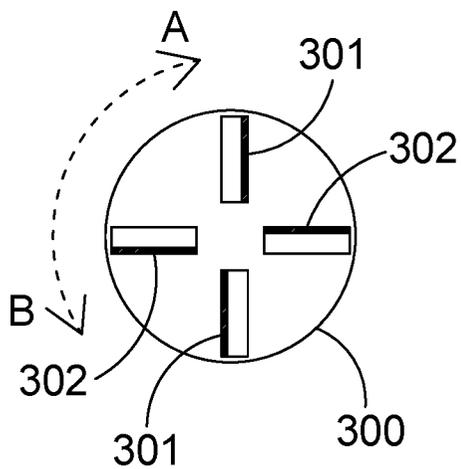


FIG. 3A

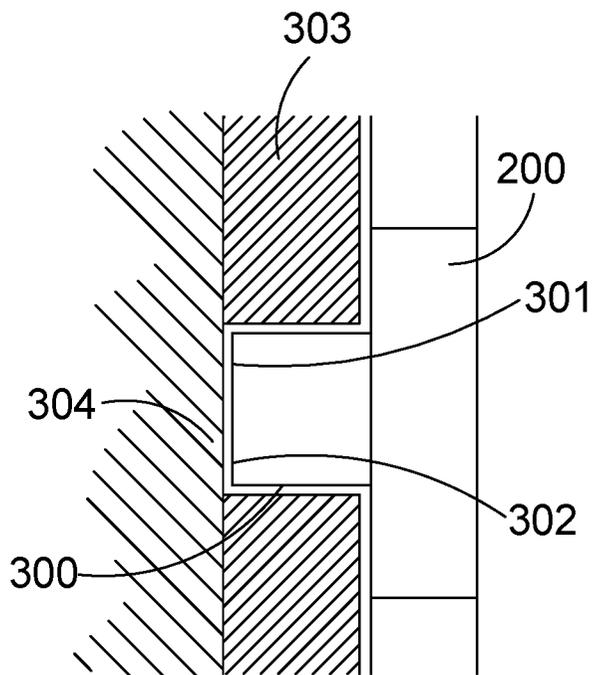


FIG. 3B

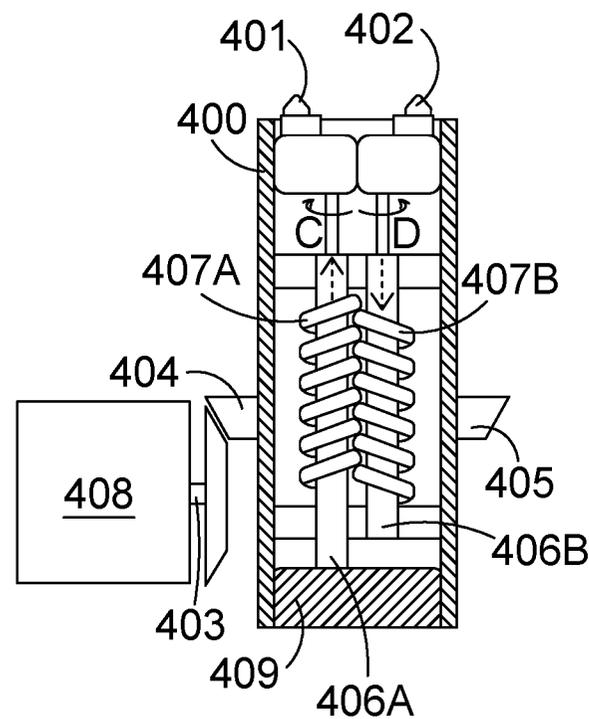


FIG. 4

3/16

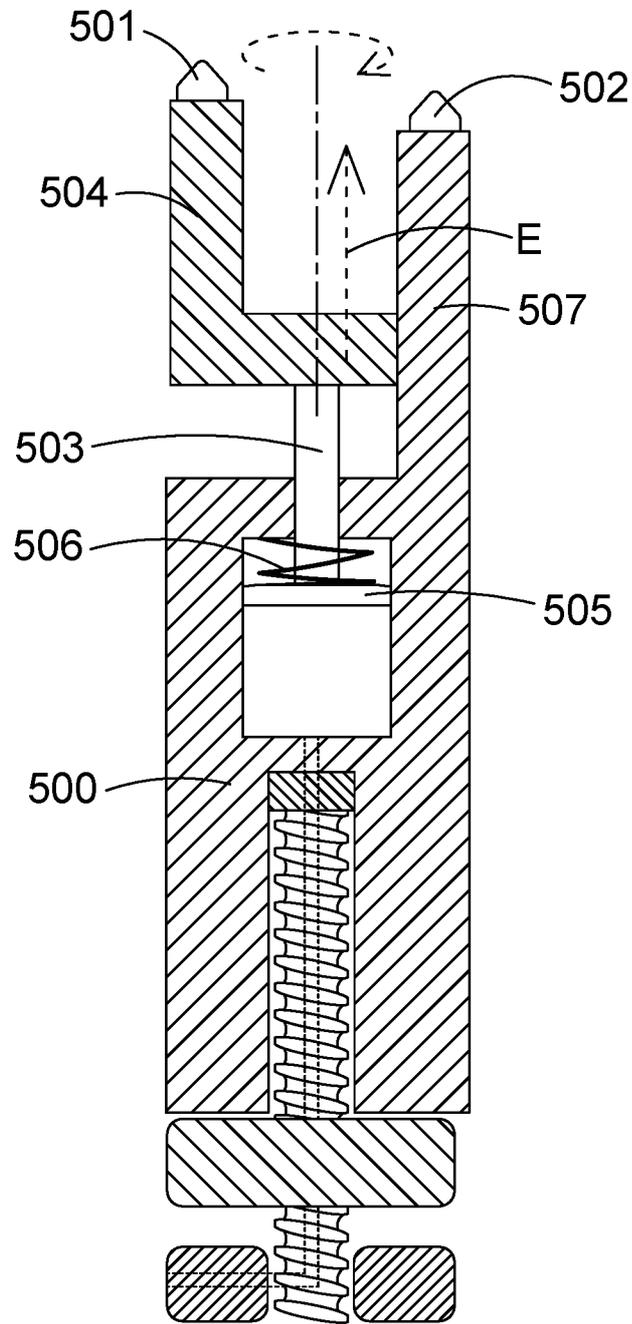


FIG. 5A

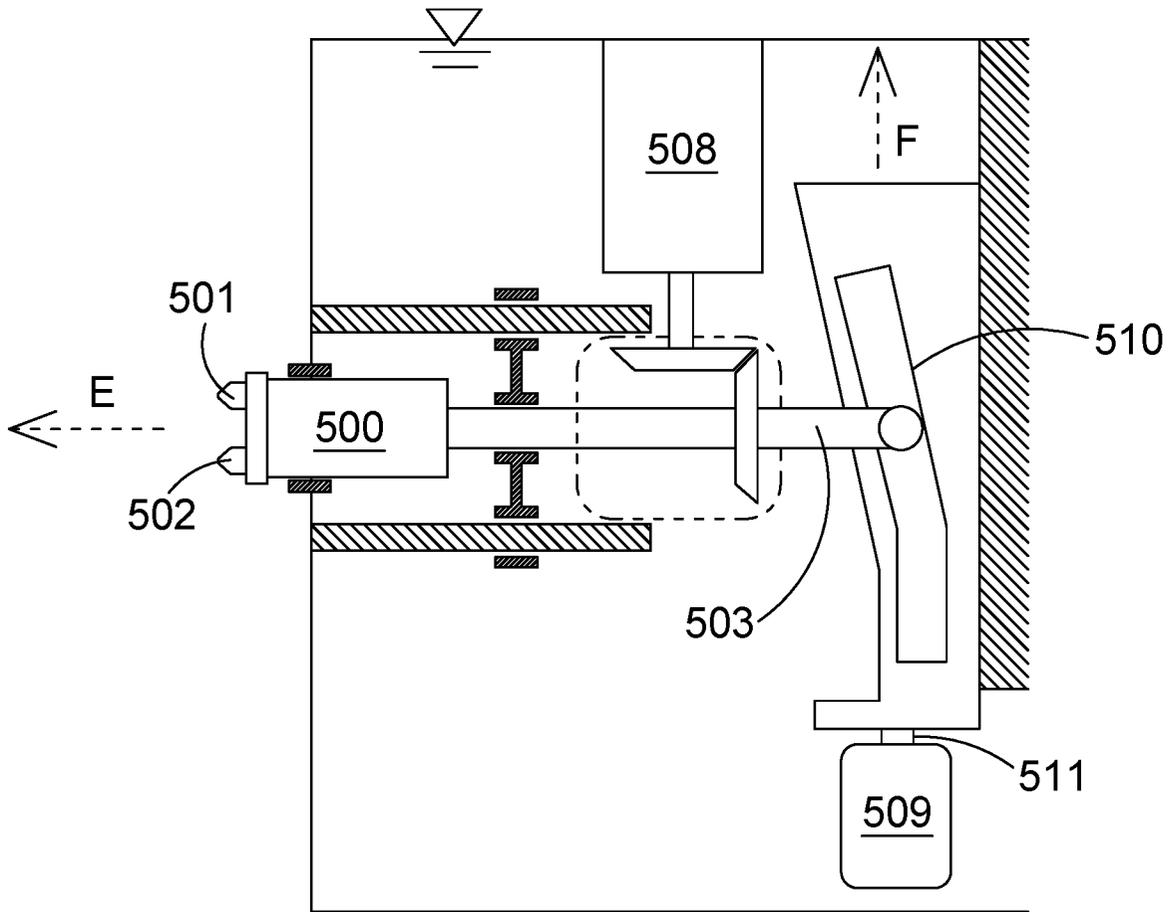


FIG.5B

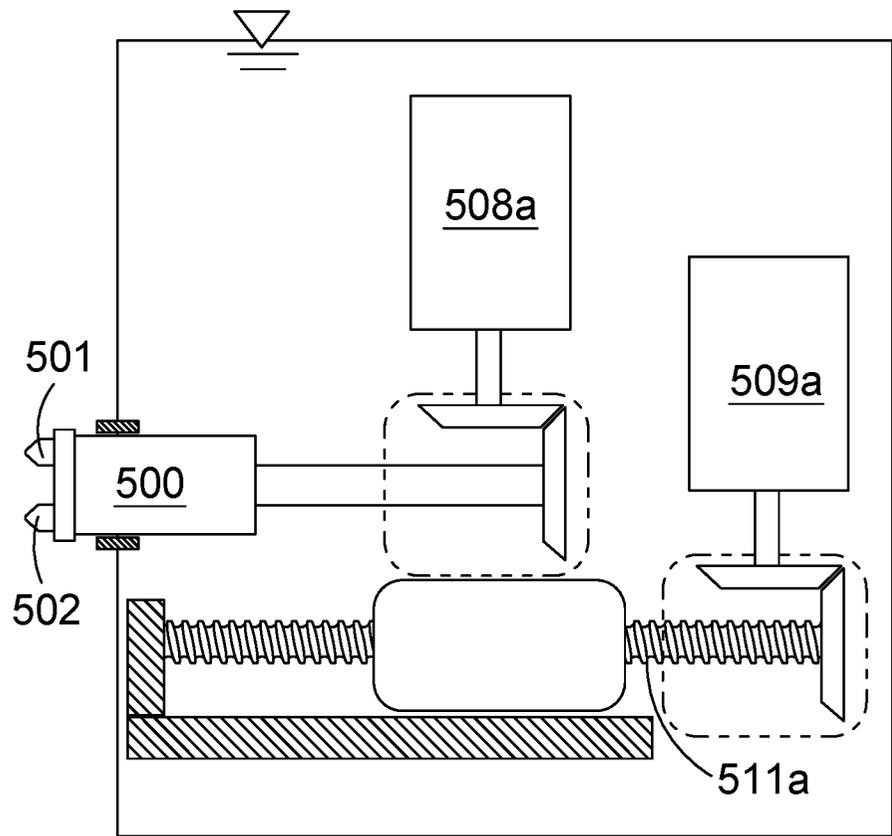


FIG.5C

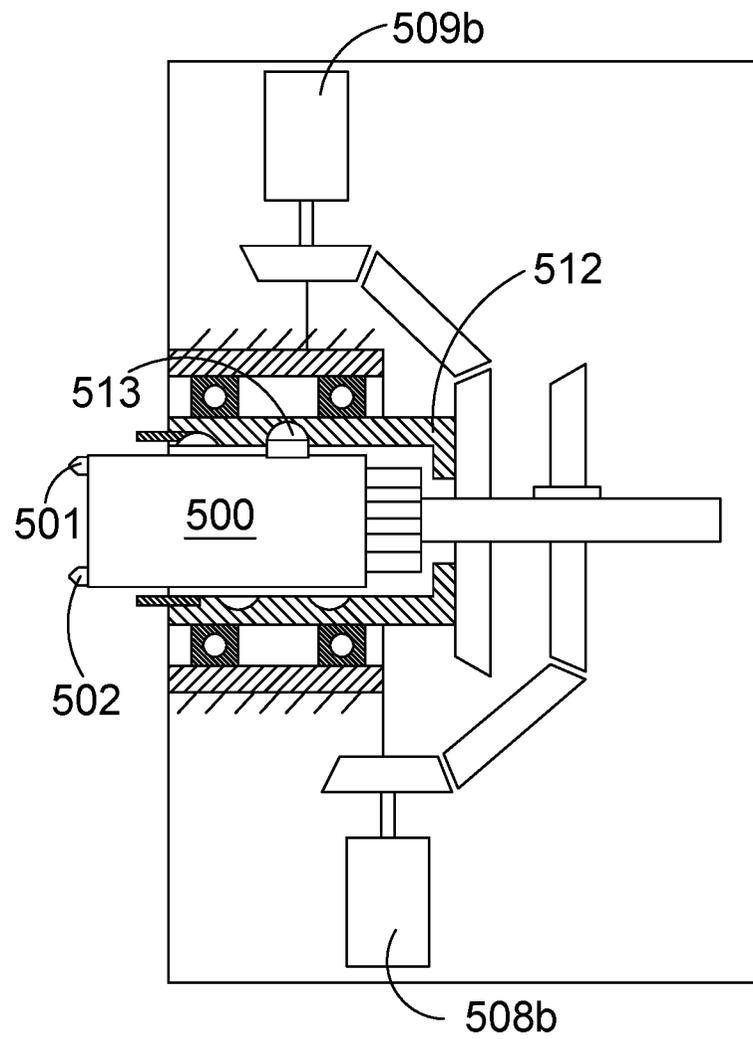


FIG.5D

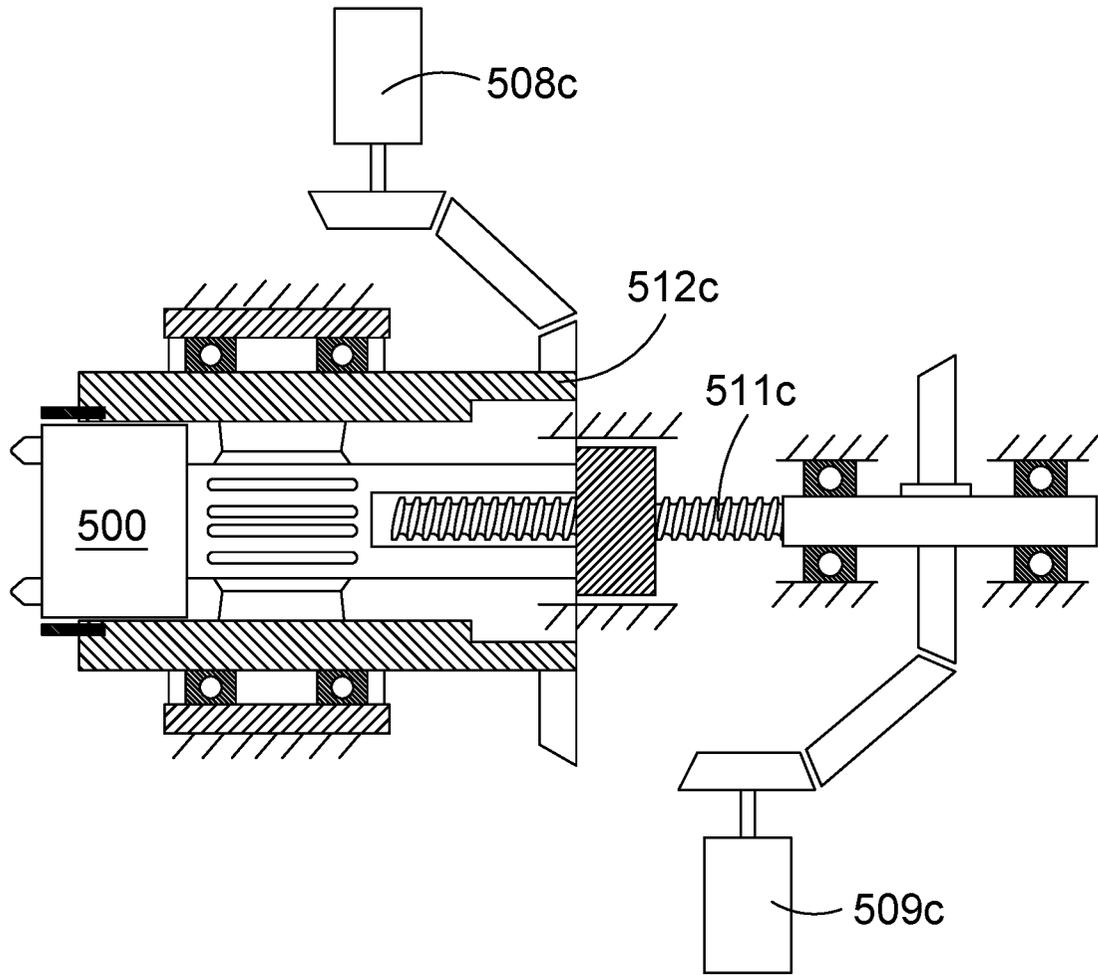
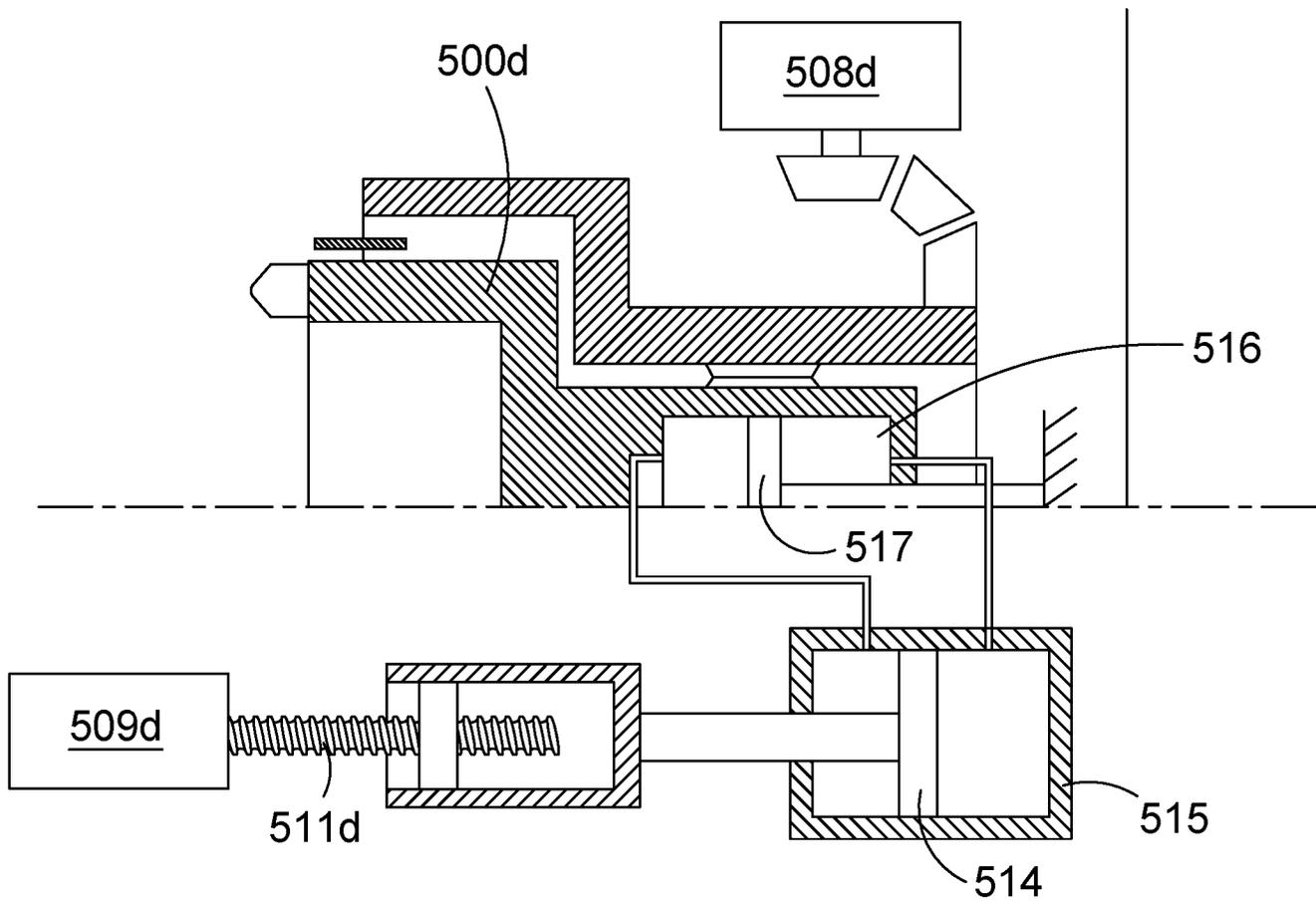


FIG.5E



7/16

FIG.5F

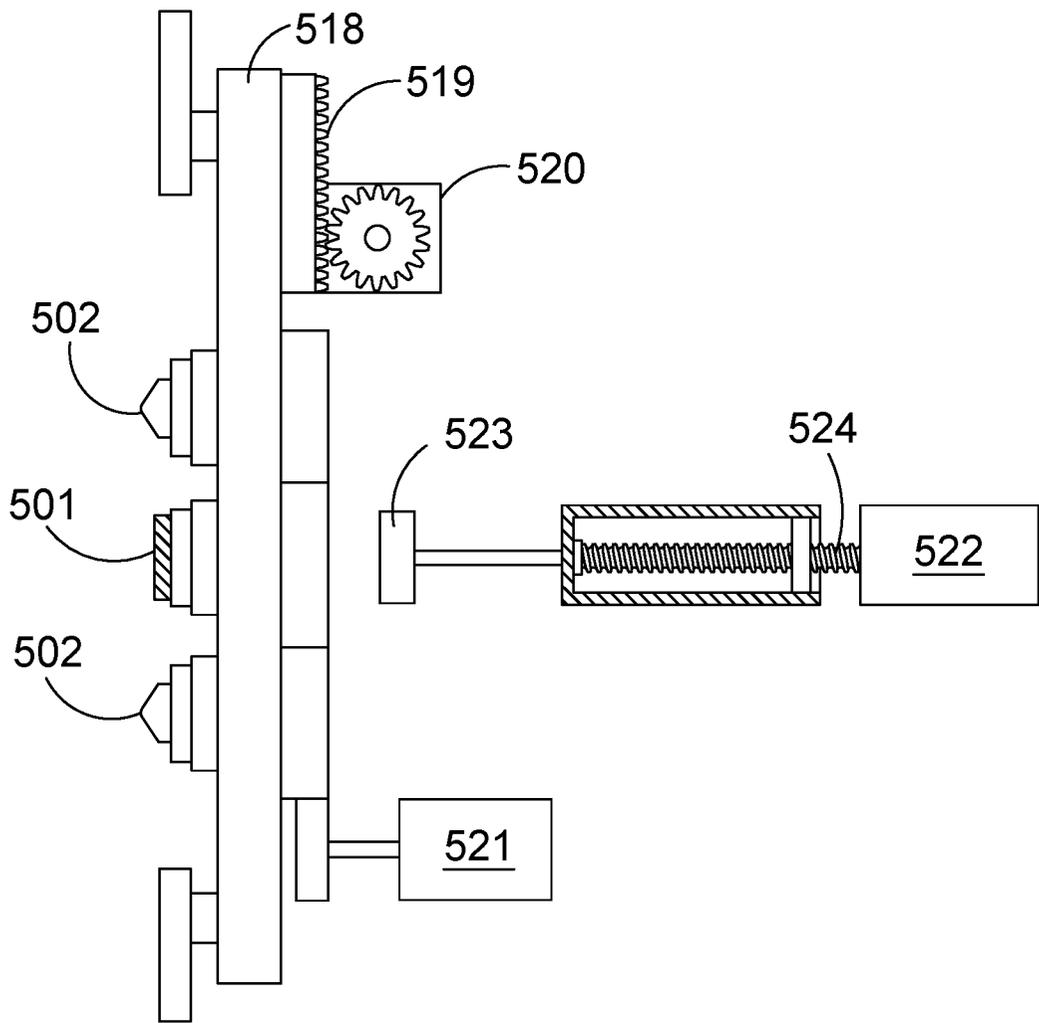


FIG.5G

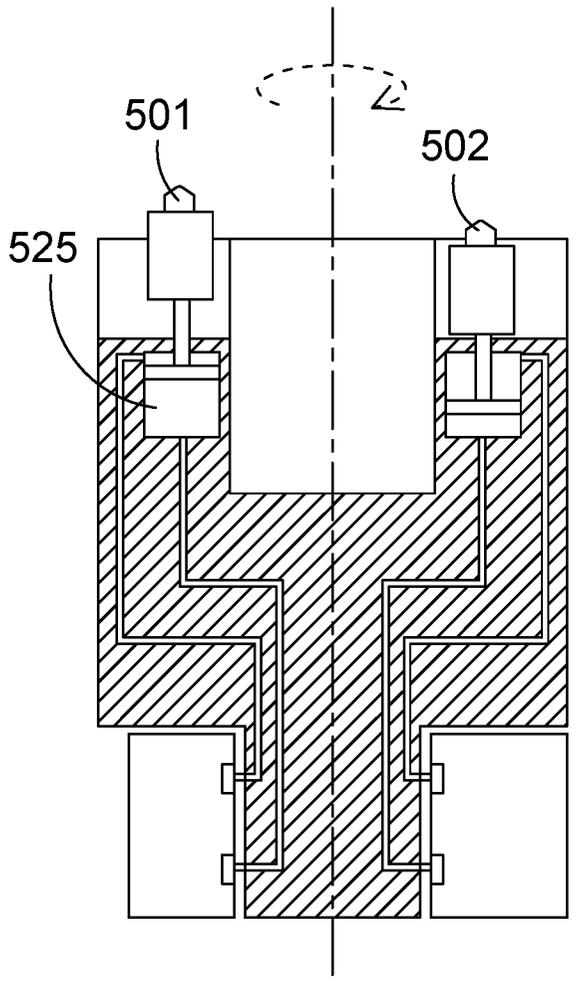


FIG. 5H

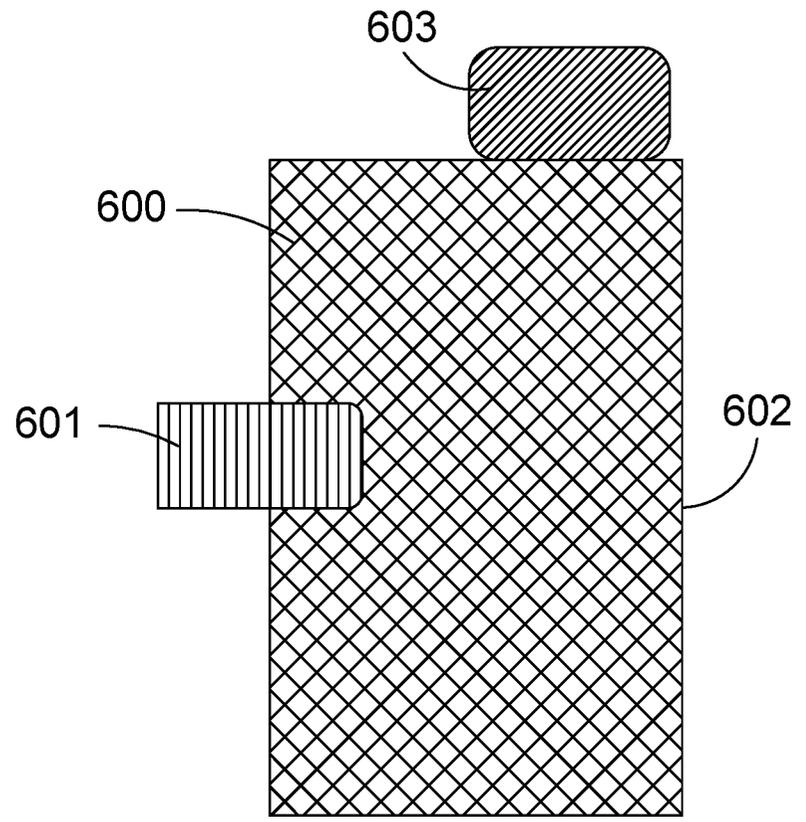


FIG. 6

10/16

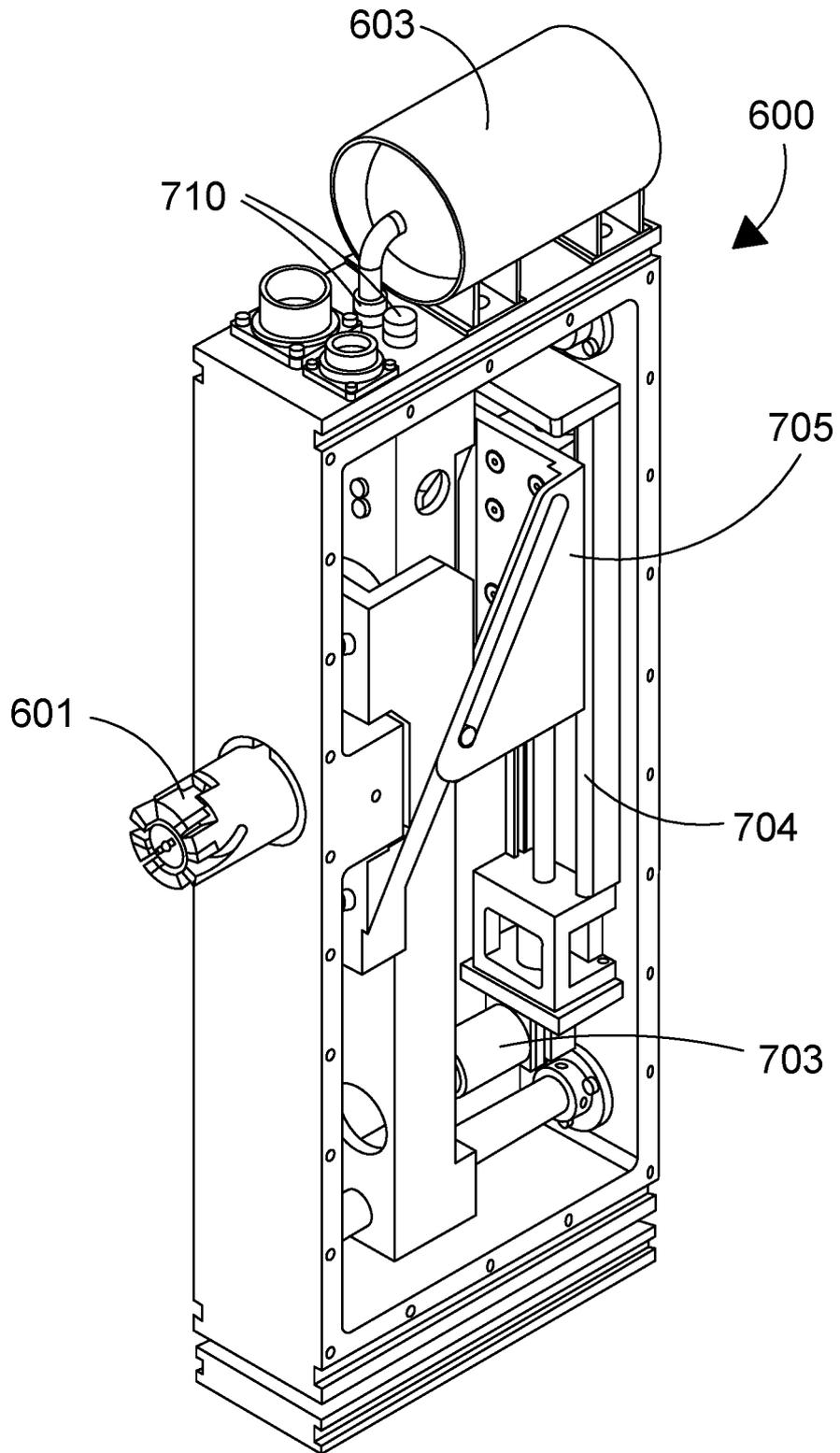


FIG. 7A

11/16

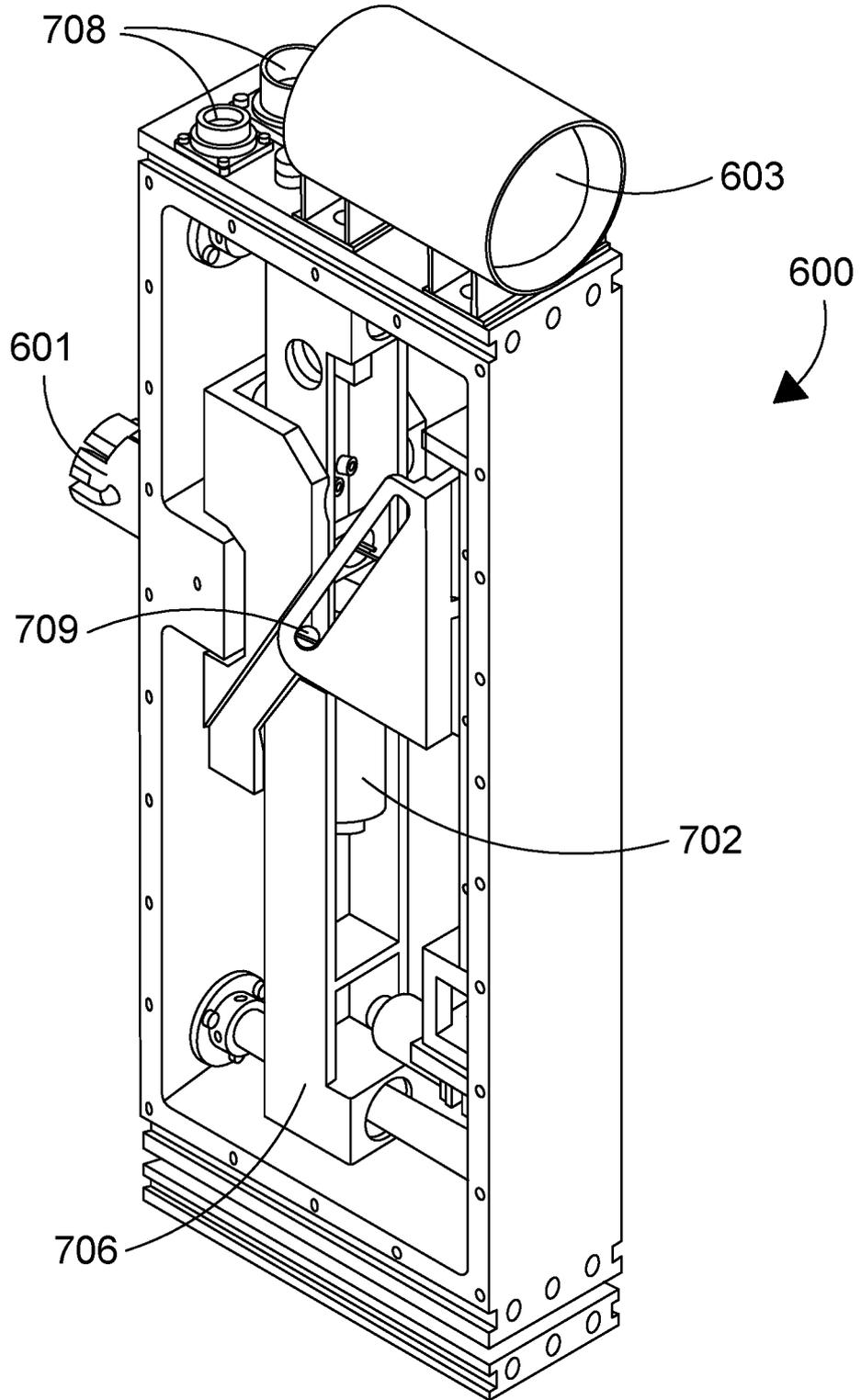


FIG. 7B

12/16

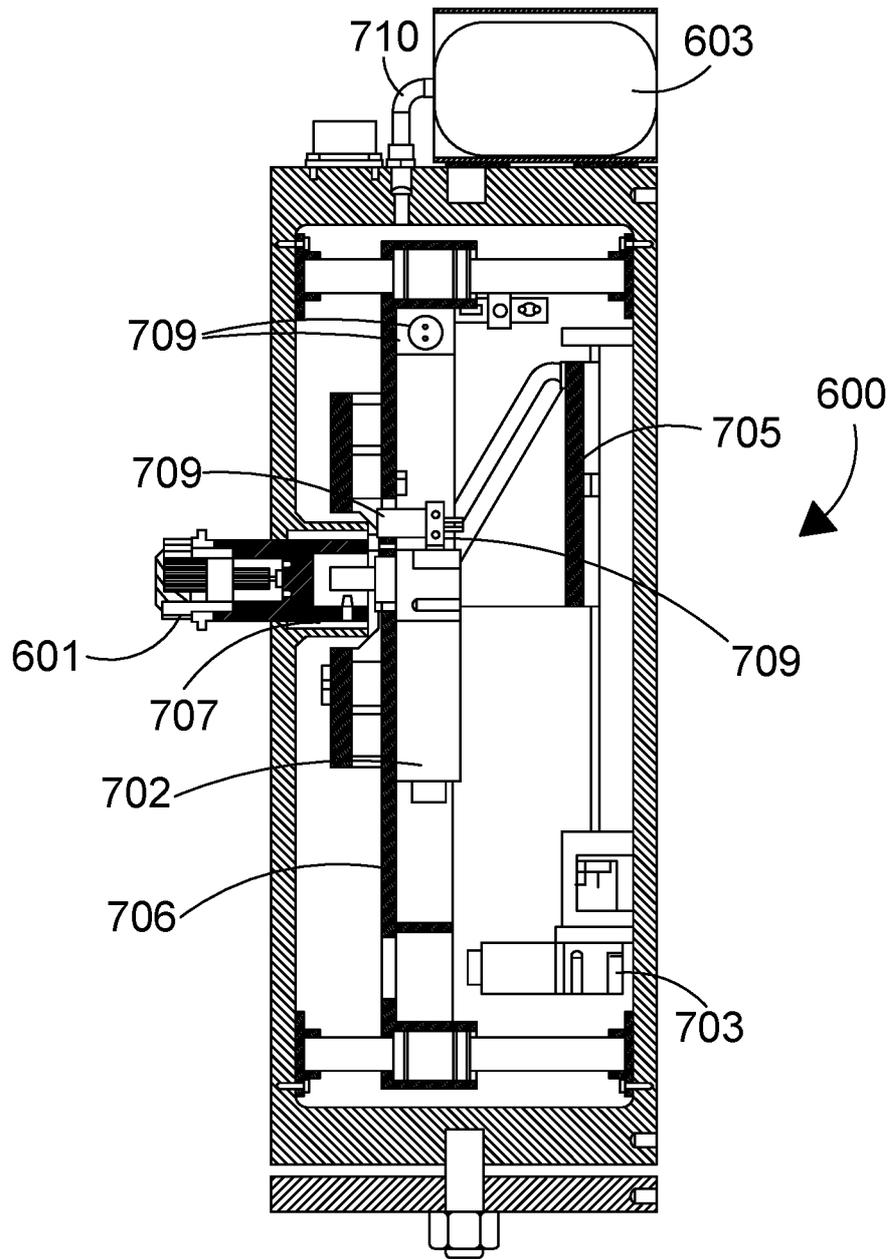


FIG. 8

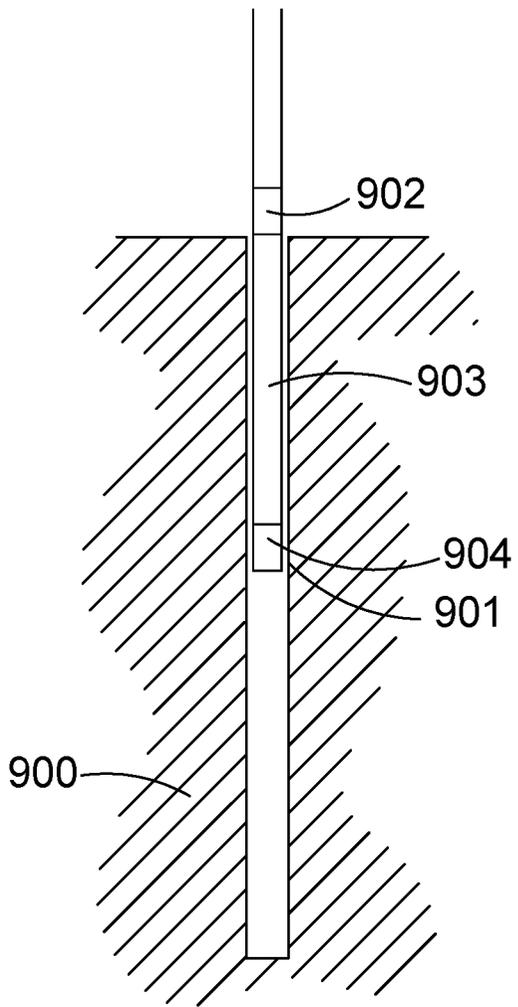


FIG. 9A

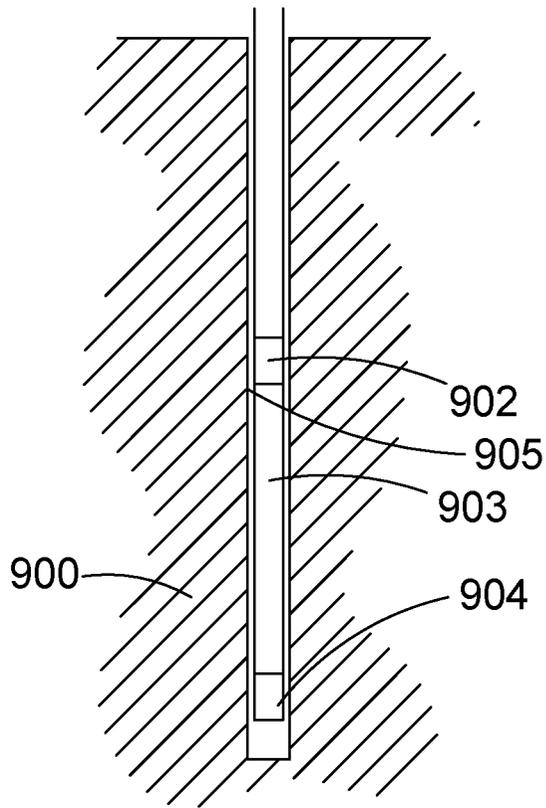


FIG. 9B

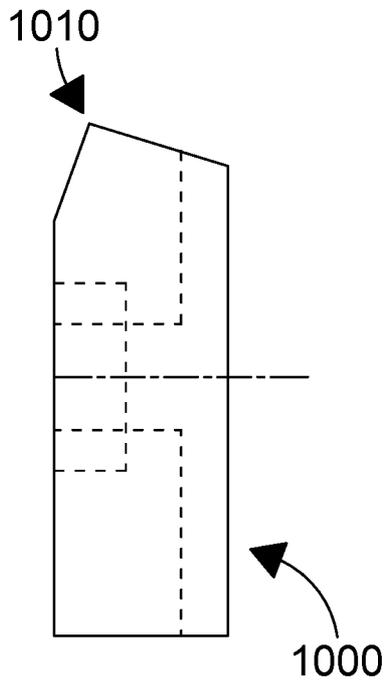


FIG. 10A

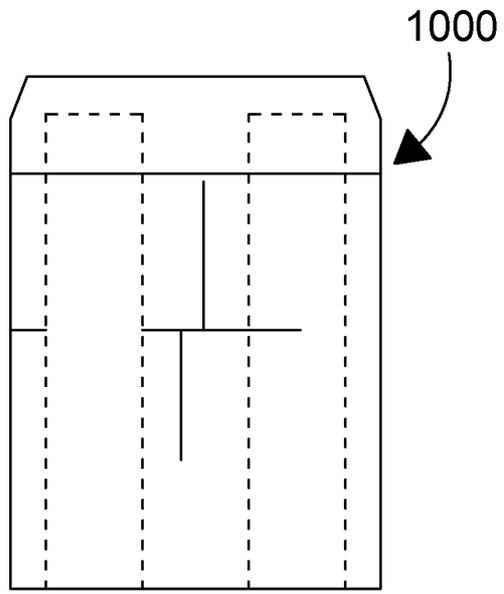


FIG. 10B

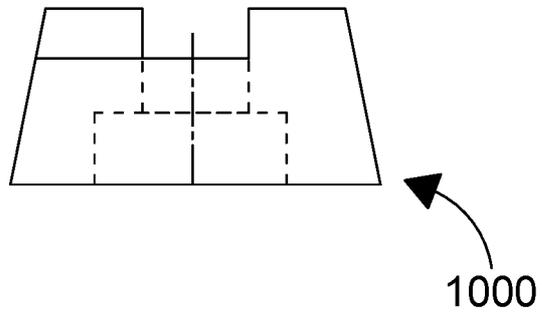


FIG. 10C

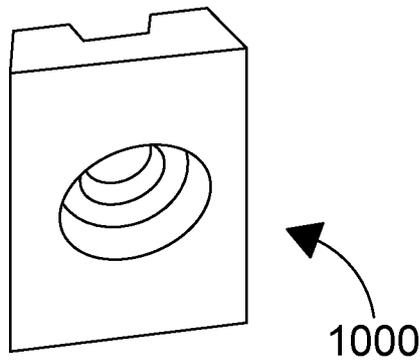


FIG. 10D

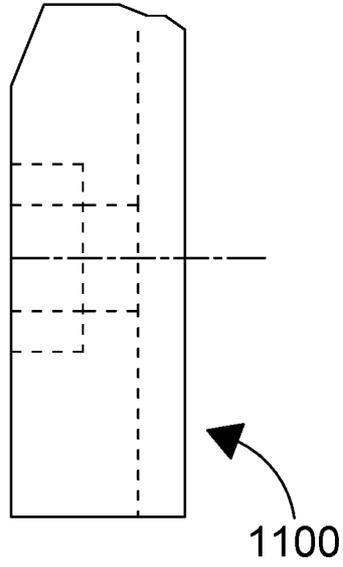


FIG. 11A

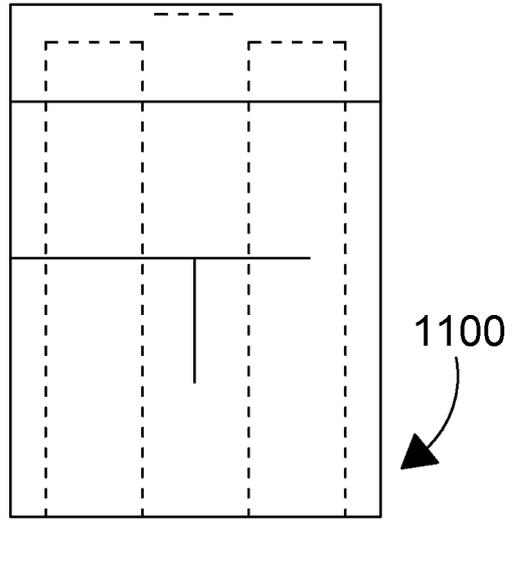


FIG. 11B

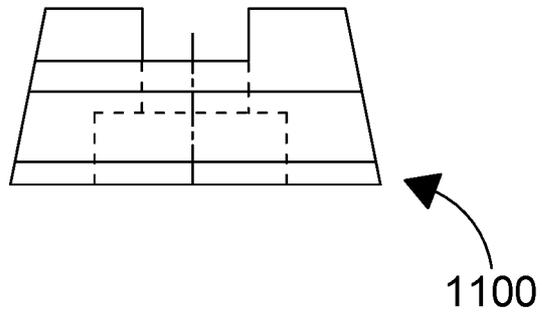


FIG. 11C

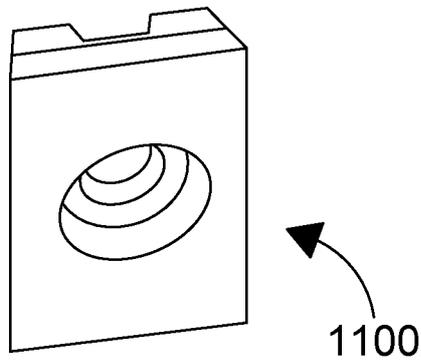


FIG. 11D

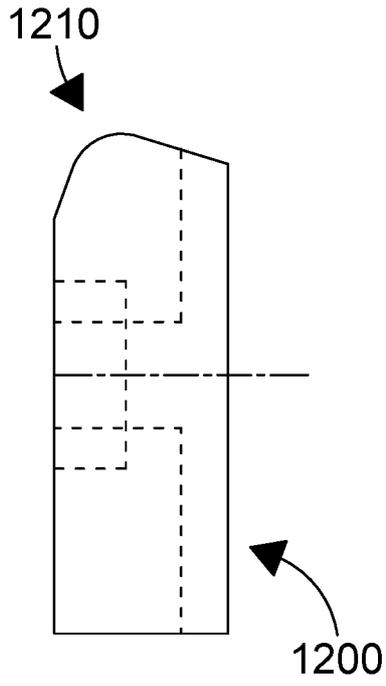


FIG. 12A

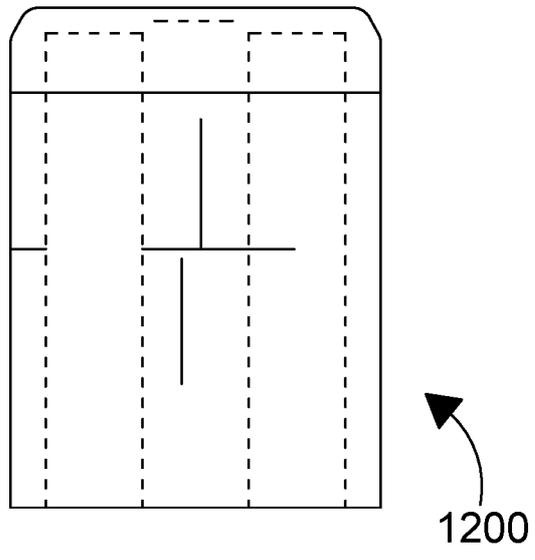


FIG. 12B

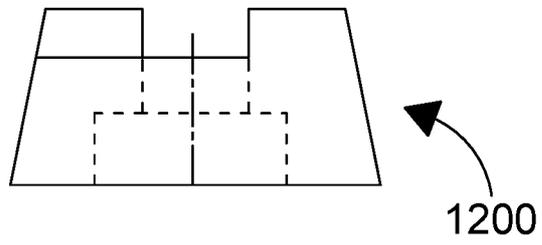


FIG. 12C