

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202290873 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.07.29

(51) Int. Cl. E21B 17/07 (2006.01)
E21B 17/042 (2006.01)
E21B 17/10 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2020.09.02

(54) ОПОРНЫЙ УЗЕЛ ДОЛОТА, ВКЛЮЧАЮЩИЙ В СВОЙ СОСТАВ ДЕМПФЕР
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

(31) 16/568,789

(72) Изобретатель:
Холь Андреас, Михайлович Саша (US)

(32) 2019.09.12

(33) US

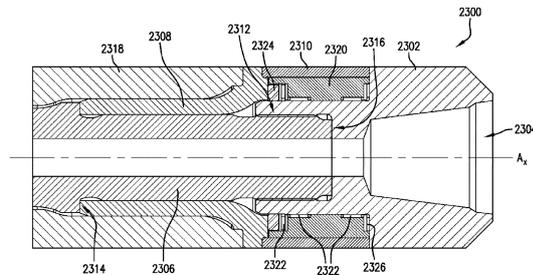
(74) Представитель:
Нагорных И.М. (RU)

(86) PCT/US2020/049016

(87) WO 2021/050334 2021.03.18

(71) Заявитель:
БЕЙКЕР ХЬЮЗ ХОЛДИНГЗ ЛЛК
(US)

(57) Описаны системы и способы демпфирования крутильных колебаний скважинных систем. Указанные системы включают в себя скважинную колонну, опорный узел долота, выполненный с возможностью крепления и приема устройства разрушения породы, причем указанное устройство разрушения расположено на конце скважинной колонны и установлено на опорном узле долота, и демпфирующую систему, выполненную, по меньшей мере, с возможностью одного из: установки на опорном узле долота или в нем, причем демпфирующая система содержит по меньшей мере один демпферный элемент, расположенный в контакте с участком опорного узла долота.



A1

202290873

202290873

A1

ОПОРНЫЙ УЗЕЛ ДОЛОТА, ВКЛЮЧАЮЩИЙ В СВОЙ СОСТАВ ДЕМПФЕР ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

Данная заявка испрашивает преимущество заявки на патент США № 16/568789, поданной 12 сентября 2019 г., которая полностью включена в настоящий документ посредством ссылки.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Область применения изобретения

[0001] Настоящее изобретение по существу относится к скважинным операциям и системам для демпфирования вибраций скважинных систем во время работы.

2. Описание предшествующего уровня техники

[0002] Скважины бурятся вглубь земной коры для достижения многих целей, таких как секвестрация углекислого газа, поиск и разработка геотермальных источников, разведка и добыча углеводородов. Во всех случаях стволы скважин бурят так, чтобы они открывали доступ или проходили через место залегания материала (например, газа или жидкости), содержащегося в пласте (например, резервуаре), расположенном под поверхностью земли. В стволах скважин могут располагаться различные типы инструментов и устройств для выполнения различных задач и измерений.

[0003] В процессе эксплуатации забойные компоненты могут подвергаться вибрации, которая может повлиять на эффективность их работы. Например, сильные вибрации в бурильных колоннах и компоновках низа бурильной колонны (КНБК) могут быть вызваны усилиями резания на долоте или дисбалансами масс в забойных инструментах, таких как забойные двигатели. Воздействие таких вибраций может включать, помимо прочего, снижение скорости проходки, снижение качества измерений, а также чрезмерную усталость и износ забойных компонентов, инструментов и/или устройств.

ИЗЛОЖЕНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0004] В настоящем документе описаны системы и способы для демпфирования колебаний, таких как крутильные колебания, скважинных систем. Системы включают в себя скважинную систему, выполненную с возможностью вращения внутри ствола скважины и демпфирующую систему, выполненную на скважинной системе. Демпфирующая система включает в себя один или более демпферов, которые установлены на опорном узле долота скважинной системы или в нем. Демпферы выполнены с возможностью уменьшения или устранения одного или более конкретных режимов и, таким образом, в могут быть достигнуты улучшенные скважинные работы и/или большая эффективность.

[0005] Дополнительно описаны системы и способы демпфирования крутильных колебаний скважинных систем. Указанные системы включают в себя скважинную колонну, опорный узел долота, выполненный с возможностью крепления и приема устройства разрушения породы, причем указанное устройство разрушения расположено на конце скважинной колонны и установлено на опорном узле долота, и демпфирующую систему, выполненную по меньшей мере с возможностью одного из:

установки на опорном узле долота или в нем, причем демпфирующая система содержит по меньшей мере один демпферный элемент, расположенный в контакте с участком опорного узла долота.

[0006] Указанные способы включают в себя установку демпфирующей системы по меньшей мере в одном из вариантов: на опорном узле долота или в его составе, расположенном на скважинной колонне скважинной системы, причем опорный узел долота имеет прикрепленное к нему устройство дезинтеграции. Демпфирующая система включает в себя по меньшей мере один демпферный элемент, расположенный в контакте с участком опорного узла долота, причем по меньшей мере часть демпферного элемента перемещается относительно опорного узла долота со скоростью, которая представляет собой сумму периодических изменений скорости, имеющих амплитуду и среднюю скорость.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0007] Объект изобретения, который рассматривается в качестве настоящего изобретения, в частности, указан и явно заявлен в формуле изобретения в заключительной части данного описания. Вышеуказанные и другие признаки и преимущества настоящего изобретения очевидны из последующего подробного описания, рассматриваемого совместно с прилагаемыми графическими материалами, причем подобные элементы обозначены подобными ссылочными позициями, причем:

[0008] на ФИГ. 1 представлен пример системы для выполнения скважинных работ, в которых могут применяться варианты осуществления настоящего изобретения;

[0009] на ФИГ. 2 представлен иллюстративный график зависимости типичной кривой силы трения или крутящего момента от относительной скорости или относительной скорости вращения между двумя взаимодействующими объектами;

[0010] на ФИГ. 3 представлен гистерезисный график зависимости силы трения от смещения для положительной относительной средней скорости с дополнительными небольшими изменениями скорости;

[0011] на ФИГ. 4 представлен график зависимости силы трения, относительной скорости и произведения обоих от времени для положительной относительной средней скорости с дополнительными небольшими изменениями скорости;

[0012] на ФИГ. 5 представлен гистерезисный график зависимости силы трения от смещения для относительной средней скорости нуля с дополнительными небольшими изменениями скорости;

[0013] на ФИГ. 6 представлен график зависимости силы трения, относительной скорости и произведения обоих для относительной средней скорости нуля с дополнительными небольшими изменениями скорости;

[0014] на ФИГ. 7 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0015] на ФИГ. 8А представлен график тангенциального ускорения, измеренного на долоте;

[0016] на ФИГ. 8В представлен график, соответствующий ФИГ. 8А, иллюстрирующий скорость вращения;

[0017] на ФИГ. 9А представлен схематический график скважинной системы, демонстрирующий форму скважинной системы в зависимости от расстояния от долота;

[0018] на ФИГ. 9В представлены иллюстративные соответствующие формы крутильных вибраций, которые могут быть возбуждены во время работы скважинной системы, показанной на ФИГ. 9А;

[0019] на ФИГ. 10 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0020] на ФИГ. 11 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0021] на ФИГ. 12 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0022] на ФИГ. 13 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0023] на ФИГ. 14 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0024] на ФИГ. 15 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0025] на ФИГ. 16 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0026] на ФИГ. 17 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0027] на ФИГ. 18 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0028] на ФИГ. 19 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения; и

[0029] на ФИГ. 20 представлен схематический график зависимости коэффициента демпфирования колебаний от амплитуды местной вибрации;

[0030] на ФИГ. 21 представлено схематическое изображение скважинного инструмента, имеющего демпфирующую систему;

[0031] на ФИГ. 22 представлен вид в поперечном сечении скважинного инструмента, показанного на ФИГ. 21;

[0032] на ФИГ. 23 представлено схематическое изображение опорного узла долота, включающего в свой состав демпферный элемент в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0033] на ФИГ. 24 представлено схематическое изображение тангенциального демпферного элемента в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0034] на ФИГ. 25 представлено схематическое изображение тангенциального демпферного элемента в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0035] на ФИГ. 26 представлен иллюстративный график типовой кривой силы или крутящего момента в зависимости от относительной линейной скорости или относительной скорости вращения между двумя взаимодействующими объектами, связанными с гидравлическим демпферным элементом.

и

[0036] на ФИГ. 27 представлено схематическое изображение опорного узла долота, включающего в свой состав демпферный элемент в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[0037] На ФИГ. 1 представлена принципиальная схема системы для выполнения скважинных работ. Как показано, система представляет собой буровую систему 10, которая содержит бурильную колонну 20, имеющую буровую компоновку 90, также называемую компоновкой низа бурильной колонны (КНБК), транспортируемую в стволе 26 скважины, проникающем через земную формацию 60. Буровая система 10 содержит традиционную буровую вышку 11, установленную на площадке 12, которая поддерживает стол 14 ротора, который вращается с помощью основного привода, такого как электрический двигатель (не показан), при требуемой скорости вращения. Бурильная колонна 20 содержит бурильный трубчатый элемент 22, такой как бурильная труба, проходящая вниз от стола 14 ротора в ствол 26 скважины. Устройство 50 дезинтеграции, такое как долото, прикрепленное к концу КНБК 90, дезинтегрирует геологические формации при вращении для бурения ствола 26 скважины. Бурильная колонна 20 соединена с наземным оборудованием, таким как системы для подъема, вращения и/или толкания, включая, без ограничений, буровую лебедку 30 посредством ведущей буровой штанги 21, вертлюга 28 и линии 29 через подъемный блок 23. В некоторых вариантах осуществления наземное оборудование может включать в себя верхний привод (не показано). Во время буровых работ буровой лебедкой 30 управляют для контроля нагрузки на долото, что влияет на скорость проходки при бурении. Процесс работы лебедки 30 хорошо известен в данной области техники и поэтому подробно не описывается в настоящем документе.

[0038] Во время буровых работ подходящий буровой раствор 31 (также называемый «промывочной жидкостью») от источника или резервуара 32 для бурового раствора циркулирует под давлением через бурильную колонну 20 с помощью насоса 34 для бурового раствора. Буровой раствор 31 проходит в бурильную колонну 20 через поглотитель 36 гидравлического удара, жидкостную линию 38 и ведущую буровую штангу 21. Буровой раствор 31 выпускается в компоновке низа бурильной колонны 51 через отверстие в устройстве 50 дезинтеграции. Буровой раствор 31 циркулирует вверх по стволу скважины через кольцевое пространство 27 между бурильной колонной 20 и стволом 26 скважины и возвращается в резервуар 32 для бурового раствора через возвратную линию 35. Датчик S1 в трубопроводе для жидкости 38 передает информацию о расходе жидкости. Датчик S2 крутящего момента на поверхности и датчик S3, связанный с бурильной колонной 20, соответственно предоставляют информацию о крутящем моменте и скорости вращения бурильной колонны. Кроме того, один или более датчиков (не показаны), связанные с линией 29, применяют для обеспечения нагрузки на крюке бурильной колонны 20 и относительно других требуемых параметров, относящихся к бурению ствола 26 скважины. Система может дополнительно содержать один или более скважинных датчиков 70, расположенных на бурильной колонне 20 и/или КНБК 90.

[0039] В некоторых областях применения устройство 50 дезинтеграции вращается только путем вращения бурильной трубы 22. Однако в других областях применения буровой двигатель 55 (например, забойный двигатель), расположенный в буровой компоновке 90, применяют для вращения

устройства 50 дезинтеграции и/или для наложения или дополнения вращения бурильной колонны 20. В любом случае скорость проходки при бурении (ROP; rate of penetration) устройства 50 дезинтеграции в земную формацию 60 для данной формации и данной буровой компоновки в значительной степени зависит от нагрузки на долото и скорости вращения бурового долота. В одном аспекте варианта осуществления, показанного на ФИГ. 1, буровой двигатель 55 соединен с устройством 50 дезинтеграции через приводной вал (не показан), расположенный в подшипниковом узле 57. Буровой двигатель 55 вращает устройство 50 дезинтеграции, когда буровой раствор 31 проходит через буровой двигатель 55 под давлением. Подшипниковый узел 57 поддерживает радиальные и осевые силы устройства 50 дезинтеграции, падение тяги бурового двигателя и реакционную направленную вверх нагрузку от прикладываемой нагрузки на долото. Стабилизаторы 58, соединенные с подшипниковым узлом 57 и/или другими подходящими положениями, действуют как централизаторы для буровой компоновки 90 или ее частей.

[0040] Наземный блок 40 управления принимает сигналы от скважинных датчиков 70 и устройств через преобразователь 43, такой как преобразователь давления, расположенный в жидкостной линии 38, а также от датчиков S1, S2, S3, датчиков нагрузки на крюке, датчиков оборотов двигателя, датчиков крутящего момента и любых других датчиков, применяемых в системе, и обрабатывает такие сигналы в соответствии с запрограммированными командами, предоставленными наземному блоку 40 управления. Наземный блок 40 управления отображает требуемые параметры бурения и другую информацию на дисплее/мониторе 42 для применения оператором на буровой площадке для управления буровыми работами. Наземный блок 40 управления содержит компьютер, запоминающее устройство для хранения данных, компьютерные программы, модели и алгоритмы, доступные для процессора на компьютере, устройство записи, такое как накопитель на магнитной ленте, блок памяти и т. д. для регистрации данных и других периферийных устройств. Наземный блок 40 управления также может содержать имитационные модели для компьютерной обработки данных в соответствии с запрограммированными командами. Блок управления отвечает на команды пользователя, введенные через подходящее устройство, такое как клавиатура. Наземный блок 40 управления выполнен с возможностью активации предупредительных сигналов 44 при возникновении определенных небезопасных или нежелательных условий эксплуатации.

[0041] Буровая компоновка 90 также содержит другие датчики и устройства или инструменты для обеспечения различных измерений, относящихся к формации, окружающей ствол скважины, и для бурения ствола 26 скважины вдоль требуемого пути. Такие устройства могут содержать устройство для измерения удельного сопротивления формации вблизи бурового долота, устройства гамма-каротажа для измерения интенсивности гамма-каротажа формации и устройства для определения наклона, азимута и положения бурильной колонны и/или перед ними. Устройство 64 каротажа сопротивления пласта, выполненное в соответствии с вариантом осуществления, описанным в настоящем документе, может быть присоединено в любом подходящем положении, в том числе над нижним подузлом начала отклонения или направляющим механизмом 62, для оценки или определения сопротивления пласта вблизи устройства 50 дезинтеграции, или перед ним, или в других подходящих положениях. Инclinометр 74 и устройство 76 гамма-каротажа могут быть размещены соответственно для определения наклона КНБК и интенсивности гамма-каротажа формации. Можно применять любой

подходящий инклинометр и устройство гамма-каротажа. Кроме того, можно применять азимутальное устройство (не показано), такое как магнитометр или гироскопическое устройство, для определения азимута бурильной колонны. Такие устройства известны в данной области техники и поэтому подробно не описаны в настоящем документе. В вышеописанной иллюстративной конфигурации буровой двигатель 55 передает электроэнергию на устройство 50 дезинтеграции через вал, который также позволяет буровой жидкости проходить из бурового двигателя 55 к устройству 50 дезинтеграции. В альтернативном варианте осуществления бурильной колонны 20 буровой двигатель 55 может быть соединен ниже устройства 64 каротажа сопротивлений или в любом другом подходящем положении.

[0042] Как показано на ФИГ. 1, другие устройства каротажа в процессе бурения (КПБ) (в общем обозначенные в настоящем документе ссылкой позицией 77), такие как устройства для измерения пористости формации, ее проницаемости, плотности, свойств породы, свойств текучей среды и т. д., могут быть размещены в подходящих положениях буровой компоновки 90 для предоставления информации, пригодной для оценки подземной формации вдоль ствола 26 скважины. Такие устройства могут включать в себя, помимо прочего, инструменты для измерения температуры, инструменты для измерения давления, инструменты для измерения диаметра ствола скважины (например, кавернометр), акустические инструменты, инструменты для радиоактивного каротажа, инструменты для ядерного магнитного резонанса и инструменты для испытания пласта и отбора проб.

[0043] Упомянутые выше устройства передают данные в систему скважинной телеметрии 72, которая, в свою очередь, передает полученные данные вверх по стволу скважины на наземный блок управления 40. Скважинная телеметрическая система 72 также принимает сигналы и данные от наземного блока 40 управления и передает такие принятые сигналы и данные в соответствующие скважинные устройства. В одном аспекте телеметрическую систему с гидроимпульсным каналом связи могут применять для передачи данных между скважинными датчиками 70 и устройствами и наземным оборудованием во время буровых работ. Преобразователь 43, размещенный в жидкостной линии 38 (например, линия подачи бурового раствора), обнаруживает импульсы в буровом растворе в ответ на данные, передаваемые скважинной телеметрической системой 72. Преобразователь 43 генерирует электрические сигналы в ответ на изменения давления скважинного раствора и передает такие сигналы через проводник 45 в наземный блок 40 управления. В других аспектах для двусторонней передачи данных (например, по нисходящей линии связи и восходящей линии связи) между поверхностью и КНБК 90 может применяться любая другая подходящая система телеметрии, включая, помимо прочего, систему акустической телеметрии, систему электромагнитной телеметрии, систему оптической телеметрии, систему проводной телеметрии, в которой могут применяться беспроводные устройства сопряжения или ретрансляторы, размещенные в бурильной колонне или стволе скважины. Система проводной телеметрии может быть образована путем соединения секций бурильных труб, при этом каждая секция трубы включает в себя линию передачи данных, такую как провод, проходящий вдоль трубы. Соединение для передачи данных между секциями трубы может быть выполнено любым подходящим способом, включая, без ограничений, твердые электрические или оптические соединения, индукционную, емкостную, резонансную связь, например способы электромагнитной резонансной связи или направленной связи. В случае, когда в качестве буровой трубы 22 применяют гибкие насосно-

компрессорные трубы, линия передачи данных может быть спущена вдоль стороны гибких насосно-компрессорных труб.

[0044] Буровая система, описанная до сих пор в настоящем документе, относится к буровым системам, в которых применяют буровую трубу для транспортировки буровой компоновки 90 в ствол 26 скважины, причем нагрузкой на долото управляют с поверхности, как правило, посредством управления буровой лебедкой. Однако в большом количестве современных буровых систем, особенно для бурения сильно наклонных и горизонтальных стволов скважин, используются колонны гибких труб для транспортировки буровой компоновки в ствол скважины. В таком применении в бурильной колонне иногда развертывают движитель для обеспечения требуемого усилия на буровом долоте. Кроме того, при применении гибких насосно-компрессорных труб, насосно-компрессорные трубы не вращаются с помощью стола ротора, и вместо этого вводятся в ствол скважины подходящим нагнетателем, в то время как скважинный двигатель, такой как буровой двигатель 55, вращает устройство 50 дезинтеграции. В случае шельфового бурения морскую буровую установку или судно применяют для поддержки бурового оборудования, в том числе бурильной колонны.

[0045] Также со ссылкой на ФИГ. 1, может быть предусмотрен прибор 64 каротажа сопротивления, включающий в себя, например, множество антенн, включающих в себя, например, передатчики 66a или 66b и/или приемники 68a или 68b. Удельное сопротивление может быть одним из свойств пласта, которые представляют интерес при принятии решения о бурении. Специалистам в данной области техники понятно, что вместе с прибором 64 каротажа сопротивления или вместо него можно использовать другие инструменты для измерения свойств пласта.

[0046] Бурение с помощью хвостовика может представлять собой одну конфигурацию или операцию, применяемую для обеспечения устройства дезинтеграции, что становится более привлекательным в нефтегазовой промышленности, поскольку оно имеет несколько преимуществ по сравнению с обычным бурением. Один пример такой конфигурации показан и описан в совместном патенте США № 9,004,195 под названием «Устройство и способ бурения ствола скважины, установки обсадной колонны и цементирования ствола скважины во время одной проходки», который полностью включен в настоящий документ посредством ссылки. Важно отметить, что несмотря на относительно низкую скорость проходки при бурении, время доставки хвостовика к целевому положению сокращается, поскольку хвостовик одновременно спускают в ствол во время бурения ствола скважины. Это может быть полезно при работе в набухающих пластах, где сужение пробуренной скважины может помешать последующей установке обсадной колонны. Кроме того, бурение с обсадной колонной в истощенных и нестабильных коллекторах сводит к минимуму риск прихвата трубы или бурильной колонны из-за обрушения скважины.

[0047] Хотя ФИГ. 1 показана и описана в отношении буровых работ, специалисты в данной области техники поймут, что подобные конфигурации, хотя и с использованием других компонентов, могут использоваться для выполнения различных внутрискважинных работ. Например, как известно, в данной области техники можно применять каротажный кабель, проводную трубу, бурение посредством хвостовика, расширение ствола скважины, гибкие насосно-компрессорные трубы и/или другие конфигурации. Кроме того, различные производственные конфигурации могут использоваться для извлечения и/или нагнетания материалов из/в геологические формации. Таким образом, настоящее

описание не должно ограничиваться буровыми работами, а может быть использовано для любых подходящих или желаемых внутрискважинных работ.

[0048] Значительные вибрации в бурильных колоннах и компоновках низа бурильной колонны во время буровых работ могут быть вызваны усилиями резания на долоте или дисбалансами масс в скважинных инструментах, таких как буровые двигатели. Такие вибрации могут приводить к снижению скорости проходки при бурении, снижению качества измерений, выполняемых с помощью инструментов компоновки низа бурильной колонны, и могут приводить к износу, усталости и/или выходу из строя скважинных компонентов. Как понятно специалистам в данной области техники, существуют различные колебания, такие как поперечные колебания, осевые колебания и крутильные колебания. Например, прерывистое перемещение всей буровой системы и высокочастотные крутильные колебания («ВЧКК») являются типами крутильных колебаний. Термины «вибрация», «колебание», а также «изменение» применяются с тем же широким значением повторяющихся и/или периодических движений или периодических отклонений от среднего значения, такого как среднее положение, средняя скорость, среднее ускорение, среднее усилие и/или средний крутящий момент. В частности, эти термины не ограничиваются гармоническими отклонениями, но могут включать все виды отклонений, такие как, помимо прочего, периодические, гармонические и статистические отклонения. Крутильные вибрации могут быть возбуждены механизмами самовозбуждения, которые возникают вследствие взаимодействия бурового долота или любой другой режущей конструкции, такой как долото-расширитель и формацию. Основным отличием между прерывистыми колебаниями и ВЧКК является частота и типичные формы мод. Например, ВЧКК имеют частоту, которая обычно выше 50 Гц по сравнению с прерывистыми крутильными колебаниями, которые обычно имеют частоту ниже 1 Гц. Более того, форма возбужденных колебаний прихвата/проскальзывания, как правило, представляет собой первую форму колебаний всей буровой системы, в то время как форма колебаний НФТО может быть более высокого порядка и обычно локализована на меньших участках буровой системы со сравнительно высокими амплитудами в точке возбуждения, которая может представлять собой долото или любую другую режущую конструкцию (такую как долото-расширитель), или любой контакт между буровой системой и формацией (например, посредством стабилизатора).

[0049] Из-за высокой частоты вибраций НФТО соответствует высоким значениям ускорения и крутящего момента вдоль КНБК. Специалистам в данной области техники понятно, что для проявления крутильных движений одна составляющая из ускорения, силы и крутящего момента всегда сопровождается двумя другими составляющими из ускорения, силы и крутящего момента. В этом смысле ускорение, сила и крутящий момент эквивалентны в том смысле, что ни один из этих элементов не может возникнуть без двух других. Нагрузки в виде высокочастотных вибраций или колебаний могут отрицательно сказаться на эффективности, надежности и/или долговечности электронных и механических частей КНБК. Варианты осуществления, предложенные в настоящем документе, относятся к обеспечению демпфирования крутильной вибрации на скважинной системе для смягчения НФТО. В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения крутильная вибрация может быть активирована, если в системе достигается порог измеренного свойства, такой как амплитуда или частота крутильной вибрации.

[0050] В соответствии с не имеющим ограничительного характера вариантом осуществления, предложенным в настоящем документе, система демпфирования крутильной вибрации может быть основана на фрикционных демпферах. Например, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления трение между двумя частями, такими как два взаимодействующих объекта, в КНБК или буровой колонне может рассеивать энергию и уменьшать уровень крутильных колебаний, тем самым смягчая потенциальное повреждение, вызываемое высокочастотными вибрациями. Предпочтительно, рассеивание энергии фрикционного демпфера является по меньшей мере равным входному значению энергии НФТО, вызванному взаимодействием долота и породы.

[0051] Фрикционные демпферы, описанные в настоящем документе, могут приводить к значительному рассеиванию энергии и, таким образом, смягчению крутильных вибраций. Когда два компонента или взаимодействующих объекта находятся в контакте друг с другом и перемещаются относительно друг друга, сила трения действует в направлении, противоположном скорости относительного перемещения между контактирующими поверхностями компонентов или взаимодействующих объектов. Сила трения приводит к рассеиванию энергии.

[0052] Хотя это специально описано в отношении фрикционных демпферов, демпферы, демпферные элементы и демпферные системы по настоящему изобретению не ограничиваются трением. Таким образом, как описано ниже, другие принципы демпфирования могут быть реализованы с применением демпферов различных конфигураций. Например, демпфирование может быть сгенерировано с помощью вязкого демпфирования, фрикционного демпфирования, гидравлического демпфирования, магнитного демпфирования (например, демпфирования вихревыми токами), пьезоэлектрического (шунтирующего) демпфирования и т. д. Демпферный элемент, применяемый в настоящем документе, может быть частью демпфирующей системы, выполненной с возможностью рассеивания энергии из-за относительного перемещения между по меньшей мере частью демпферного элемента и скважинной колонной. То есть относительное перемещение демпферного элемента или его части позволяет рассеивать энергию (например, НФТО) и, таким образом, уменьшать вибрацию внутри или вдоль скважинной колонны.

[0053] На ФИГ. 2 представлен иллюстративный график 200 зависимости типичной кривой силы трения или крутящего момента от относительной скорости v (например, или относительной скорости вращения) между двумя взаимодействующими объектами. Два взаимодействующих объекта имеют контактную поверхность и компонент силы F_N перпендикулярно контактной поверхности, находящейся в зацеплении с двумя взаимодействующими объектами. На графике 200 показана зависимость силы трения или крутящего момента двух взаимодействующих объектов от режима снижения скорости, такого как фрикционный контакт или характеристика режима резания. При более высоких относительных скоростях ($v > 0$) между двумя взаимодействующими объектами сила трения или крутящий момент имеют отличительное значение, показанное точкой 202. Уменьшение относительной скорости приведет к увеличению силы трения или крутящего момента (также называемого характеристикой снижения скорости). Сила трения или крутящий момент достигает своего максимума, когда относительная скорость равна нулю. Максимальная сила трения также известна как статическое трение, трение прихватывания или сцепление.

[0054] По существу сила трения F_R зависит от нормальной силы, как отображено в уравнении $F_R = \mu \cdot F_N$, с коэффициентом трения μ . По существу коэффициент трения μ представляет собой функцию скорости. В настоящем документе нормальная сила также может изменяться в соответствии с возбужденной вибрацией в нормальном направлении. В случае, если относительная скорость между двумя взаимодействующими объектами равна нулю ($v=0$), сила статического трения F_S относится к компоненту нормальной силы F_N согласно уравнению $F_S = \mu_0 \cdot F_N$ с коэффициентом статического трения μ_0 . В случае, если относительная скорость между двумя взаимодействующими объектами не равна нулю ($v \neq 0$), такой коэффициент трения называют коэффициентом динамического трения μ . Если относительная скорость дополнительно уменьшается до отрицательных значений (т. е. если относительное перемещение двух взаимодействующих объектов переключено на противоположное), сила трения или крутящий момент переключаются в противоположном направлении с высоким абсолютным значением, соответствующим этапу от положительного максимального до отрицательного минимального значения в точке 204 на графике 200. Таким образом, зависимость силы трения от скорости показывает изменение знака в точке, в которой скорость изменяет знак, и является прерывистой в точке 204 на графике 200. Характеристика снижения скорости представляет собой хорошо известный эффект между взаимодействующими объектами, которые являются фрикционно соединенными. Предполагается, что характеристики снижения скорости контактной силы или крутящего момента являются потенциальной основной причиной прихвата/проскальзывания. Характеристика снижения скорости также может быть достигнута путем применения дисперсионной текучей среды с более высокой вязкостью при более низких относительных скоростях и более низкой вязкостью при более высоких относительных скоростях. Если дисперсионная текучая среда проходит через относительно малый канал, то такой же эффект может быть достигнут в том смысле, что сопротивление потоку относительно высокое или низкое при низких или высоких относительных скоростях, соответственно.

[0055] Со ссылкой на ФИГ. 8А–8В, на ФИГ. 8А показано измеренное ускорение закручивания скважинной системы в зависимости от времени. Во время 5-секундного измерения, как показано на ФИГ. 8А, показано колебательное ускорение закручивания со средним ускорением приблизительно 0 г, наложенное на вибрационное ускорение закручивания при относительно низкой амплитуде от приблизительно 0 с до 3 с и относительно высоких амплитудах до 100 г от приблизительно 3 с до 5 с. На ФИГ. 8В показана соответствующая скорость вращения в тот же период времени, что и на ФИГ. 8А. В соответствии с ФИГ. 8А, на ФИГ. 8В показана средняя скорость v_0 (показанная линией v_0 на ФИГ. 8В), которая является относительно постоянной при частоте вращения около 190 об/мин. На среднюю скорость накладываются колебательные вибрации скорости вращения с относительно низкими амплитудами приблизительно от 0 с до 3 с и относительно высокими амплитудами приблизительно от 3 с до 5 с в соответствии с относительно низкими и высокими амплитудами ускорения, показанными на ФИГ. 8А. Примечательно, что колебательная скорость вращения не приводит к отрицательным значениям скорости вращения, даже не в период времени приблизительно от 3 с до 5 с, когда амплитуды колебаний скоростей вращения являются относительно высокими.

[0056] Со ссылкой на ФИГ. 2, точка 202 иллюстрирует среднюю скорость двух взаимодействующих объектов, которая соответствует средней скорости v_0 показанной на ФИГ. 8В. На

схематическом изображении на ФИГ. 2 данные, показанные на ФИГ. 8В, соответствуют точке с колебанием скорости с относительно высокой частотой из-за высокочастотных крутильных колебаний, приближенных к средней скорости v_0 , которая со временем изменяется относительно медленно по сравнению с высокочастотными крутильными колебаниями. Таким образом, точка, иллюстрирующая данные, показанные на ФИГ. 8В, перемещается назад и вперед на положительном ответвлении кривой, показанном на ФИГ. 2, только редко достигая отрицательных значений скорости или при их отсутствии. Соответственно, соответствующая сила трения или колебания крутящего момента вокруг положительной средней силы трения или среднего крутящего момента трения и обычно является по существу положительным или лишь редко достигает отрицательных значений. Как дополнительно обсуждается ниже, точка 202 иллюстрирует, где положительное среднее значение относительной скорости соответствует статическому крутящему моменту, а точка 204 иллюстрирует благоприятную точку для фрикционного демпфирования. Следует отметить, что силы трения или крутящий момент между буровой системой и стенкой ствола скважины не будут генерировать дополнительное демпфирование высокочастотных колебаний в системе. Это связано с тем, что относительная скорость между контактными поверхностями взаимодействующих объектов (например, стабилизатором и стенкой ствола скважины) не имеет средней скорости, которая настолько близка к нулю, что НФТО приводит к изменению знака относительной скорости двух взаимодействующих объектов. Скорее, относительная скорость между двумя взаимодействующими объектами имеет высокое среднее значение на расстоянии от нуля, которое является большим, так что НФТО не приводит к изменению знака относительной скорости двух взаимодействующих объектов (например, как проиллюстрировано точкой 202 на ФИГ. 2).

[0057] Специалистам в данной области техники будет понятно, что сниженная характеристика усилия контакта или крутящего момента по отношению к относительной скорости, как показано на ФИГ. 2, приводит к приложению энергии в системе для колебательных относительных перемещений взаимодействующих объектов со средней скоростью v_0 , т. е. высокому значению по сравнению с скоростью колебательного перемещения. В этом контексте другие примеры механизмов самовозбуждения, таких как соединение между осевой и крутильной степенью свободы, могут привести к аналогичной характеристике.

[0058] Соответствующий гистерезисный график изображен на ФИГ. 3, а временной график для силы трения и скорости показан на ФИГ. 4. На ФИГ. 3 показан гистерезисный график зависимости силы трения F_r , иногда также называемой усилием резания в этом контексте, от смещения относительно положения, которое перемещается с положительной средней скоростью с дополнительными небольшими изменениями скорости, что приводит к дополнительному малому смещению dx . Соответственно, на ФИГ. 4 показаны сила трения (F_r), относительная скорость (dx/dt) и их произведение (обозначено позицией 400 на ФИГ. 4) для положительной средней относительной скорости с дополнительными небольшими изменениями скорости, которые приводят к дополнительному малому смещению dx . Специалистам в данной области будет понятно, что площадь между силой трения и скоростью с течением времени равна рассеиваемой энергии (т. е. площади между линией 400 и нулевой осью), которая является отрицательной в случае, показанном на ФИГ. 3 и ФИГ. 4. Таким образом, в случае, показанном на ФИГ. 3 и ФИГ. 4, энергия передается в вибрацию от трения посредством фрикционного контакта.

[0059] Снова со ссылкой на ФИГ. 2, точка 204 обозначает благоприятную среднюю скорость для демпфирования трения небольших изменений скорости или вибраций в дополнение к средней скорости. Для небольших вибраций относительного перемещения между двумя взаимодействующими объектами прекращение в точке 204 на ФИГ. 2 с изменением знака относительной скорости взаимодействующих объектов также приводит к резкому изменению силы трения или крутящего момента. Это изменение знака приводит к гистерезису, который приводит к большому количеству рассеянной энергии. Например, можно сравнить ФИГ. 5 и ФИГ. 6, которые представляют собой аналогичные графики на ФИГ. 3 и ФИГ. 4 соответственно, но иллюстрируют случай нулевой средней относительной скорости с дополнительными небольшими изменениями скорости или вибрациями. Площадь ниже линии 600 на ФИГ. 6, которая соответствует произведению $F_r \cdot dx/dt$, равна рассеиваемой энергии в течение одного периода и, в этом случае, является положительной. Таким образом, в случае, показанном на ФИГ. 5 и ФИГ. 6, энергия передается от высокочастотного колебания посредством фрикционного контакта в трение. Эффект является сравнительно высоким по сравнению со случаем, показанным на ФИГ. 3 и ФИГ. 4, и имеет требуемый знак. Из сравнения ФИГ. 2, 5 и 6 также видно, что рассеянная энергия значительно зависит от разницы между максимальной силой трения и минимальной силой трения для $v = 0$ (т. е. положение 204 на ФИГ. 2). Чем выше разница между максимальной силой трения и минимальной силой трения для $v = 0$, тем более высокой является рассеиваемая энергия. Хотя на ФИГ. 3–4 были сгенерированы характеристики снижения скорости, такие как показанная на ФИГ. 2, варианты осуществления настоящего изобретения не ограничены таким типом характеристик. Устройства и способы, описанные в настоящем документе, будут функциональными для любого типа характеристики, при условии, что сила трения или крутящий момент проходит стадию с изменением знака при изменении относительной скорости между двумя взаимодействующими объектами.

[0060] Далее будут описаны фрикционные демпферы в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения. Фрикционные демпферы установлены на буровой системе или в буровой системе, такой как буровая система 10, показанная на ФИГ. 1, и/или части буровой системы 10, такой как часть компоновки низа буровой колонны 90. Трения являются частью систем фрикционного демпфирования с двумя взаимодействующими объектами, такими как первый элемент и второй элемент, имеющий фрикционную контактную поверхность с первым элементом. Системы фрикционного демпфирования по настоящему изобретению расположены таким образом, что первый элемент имеет среднюю скорость, которая связана со скоростью вращения буровой системы, в которой он установлен. Например, первый элемент может иметь аналогичную или такую же среднюю скорость или скорость вращения в качестве буровой системы таким образом, что небольшие изменяющиеся колебания приводят к изменению знака или переходу через нуль относительной скорости между первым элементом и вторым элементом в соответствии с точкой 204 на ФИГ. 2. Следует отметить, что силы трения или крутящий момент между буровой системой и стенкой ствола скважины не будут генерировать дополнительное демпфирование высокочастотных колебаний в системе. Это связано с тем, что относительная скорость между контактными поверхностями (например, стабилизатором и стволом скважины) не имеет нулевого среднего значения (например, точка 202 на ФИГ. 2). В соответствии с вариантами осуществления, описанными в настоящем документе, статическое трение между первым элементом и вторым элементом установлено достаточно высоким, чтобы позволить первому элементу

ускорять второй элемент (во время вращения) со средней скоростью v_0 с тем же значением, что и у буровой системы. Таким образом, дополнительные высокочастотные колебания обеспечивают скольжение между первым элементом (например, демпфирующим устройством) и вторым элементом (например, буровой системой) с положительными или отрицательными скоростями в соответствии с вибрациями вокруг положения, показанного на ФИГ. 2, которое равно или близко к точке 204 на ФИГ. 2. Скольжение происходит, если инерциальная сила F_I превышает силу статического трения, выраженную в виде коэффициента статического трения, умноженного на нормальную силу между двумя взаимодействующими объектами: $F_I > \mu_0 \cdot F_N$. В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, нормальную силу F_N (например, вызванную контактом и поверхностным давлением на контактной поверхности между двумя взаимодействующими объектами) и коэффициент статического трения μ_0 корректируют для достижения оптимального рассеивания энергии и оптимальной амплитуды. Кроме того, можно оптимизировать момент инерции (крутильный), контакт и наземное давление контактирующих поверхностей и размещение демпфера или контактной поверхности относительно расстояния от долота.

[0061] Например, на ФИГ. 7 схематично показана демпфирующая система 700 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. Демпфирующая система 700 является частью скважинной системы 702, такой как компоновка низа бурильной колонны и/или буровая компоновка. Скважинная система 702 содержит колонну 704, которая вращается для обеспечения буровых работ скважинной системы 702 с образованием ствола 706 скважины в пределах формации 708. Как описано выше, ствол 706 скважины, как правило, заполняется буровым раствором, таким как буровой глинистый раствор. Демпфирующая система 700 содержит первый элемент 710, функционально соединенный, например, неподвижно соединенный или выполненный за одно целое со скважинной системой 702, для обеспечения того, чтобы первый элемент 710 вращался со средней скоростью, которая связана, например, схожа или одинакова со средней скоростью скважинной системы 702. Первый элемент 710 находится в фрикционном контакте со вторым элементом 712. Второй элемент 712 по меньшей мере частично установлен с возможностью перемещения на скважинной системе 702 с контактной поверхностью 714, расположенной между первым элементом 710 и вторым элементом 712.

[0062] В случае сил трения разница между минимальной и максимальной силой трения положительно зависит от нормальной силы и коэффициента статического трения. Рассеянная энергия увеличивается с силой трения и гармоническим смещением, но энергия рассеивается только в фазе скольжения. На фазе прихвата относительное смещение между фрикционными сопряжениями и рассеянной энергией равно нулю. Верхний амплитудный предел прихвата увеличивается линейно при нормальной силе и коэффициенте трения в контактном сопряжении. Причина заключается в том, что сила реакции в контактном сопряжении, $J(x) \geq M_H = F_N \mu_H r$, которая может быть вызвана инерцией J одного из контактирующих объектов, если он ускоряется с (x) , должна быть выше крутящего момента $M_H = F_N \mu_H r$, который определяет предел между прихватом и скольжением. Применяемые в настоящем документе обозначения: F_N представляет собой нормальную силу, μ_H представляет собой эффективный коэффициент трения, а r представляет собой эффективный или средний радиус области фрикционного контакта. В случае сложных частей фрикционных контактов взаимодействующих объектов прихват или скольжение могут происходить одновременно. В настоящем документе

контактное давление можно оптимизировать для достижения оптимального демпфирования и амплитуды.

[0063] Аналогичные механизмы применимы, если усилие контакта вызвано смещением и пружинным элементом. Ускорение (x) области контакта может быть обусловлено возбуждением колебаний некоторого типа и зависит от соответствующей формы колебаний, как дополнительно рассмотрено ниже со ссылкой на ФИГ. 9В. В случае прикрепленной инерционной массы J ускорение (x) равно ускорению возбужденного типа колебаний и соответствующей формы колебаний в положении крепления при условии, что в контактном взаимодействии имеется прихват.

[0064] Необходимо регулировать нормальную силу и силу трения, чтобы гарантировать фазу скольжения в соответствующем или допустимом диапазоне амплитуды. Допустимый диапазон амплитуды может быть определен амплитудой, которая находится между нулевым значением и пределами нагрузок, которые, например, приведены в промышленных спецификациях инструментов и компонентов. Предел также может быть задан в процентах от ожидаемой амплитуды без демпфера. Рассеянная энергия, которая может сравниваться с входной энергией, например, путем принудительного действия или самовозбуждения, является одной величиной для определения эффективности демпфера. Другой величиной является обеспечение эквивалентного демпфирования системы, пропорциональной соотношению рассеиваемой энергии в один период гармонической вибрации потенциальной энергии в течение одного периода вибрации в системе. Эта величина особенно эффективна в случае самовозбуждаемых систем. В случае самовозбуждаемых систем возбуждение может быть аппроксимировано с помощью отрицательного коэффициента демпфирования, и как эквивалентное демпфирование, так и отрицательное демпфирование можно сравнивать напрямую. Усилие демпфирования, обеспечиваемое демпфером, является нелинейным и сильно зависит от амплитуды.

[0065] Как показано на ФИГ. 20, демпфирование равно нулю в фазе прихвата (левый конец графика на ФИГ. 20), когда относительное перемещение между взаимодействующими объектами равно нулю. Если, как описано выше, предел между фазой прихвата и фазой скольжения превышает силу, которая передается через контактное сопряжение, происходит относительное скользящее перемещение, которое вызывает рассеивание энергии. Затем коэффициент демпфирования, обеспечиваемый фрикционным демпфированием, увеличивается до максимума с последующим снижением до минимума. Амплитуда, которая будет проявляться, зависит от возбуждения, которое может быть описано термином отрицательного демпфирования. В настоящем документе максимум обеспеченного демпфирования, показанный на ФИГ. 20, должен быть выше отрицательного демпфирования от механизма самовозбуждения. Амплитуда, которая проявляется в так называемом предельном цикле, может быть определена пересечением отрицательного коэффициента демпфирования и эквивалентного коэффициента демпфирования, который обеспечивается фрикционным демпфером.

[0066] Кривая зависит от различных параметров. Выгодно иметь высокую нормальную силу, но при этом фазу проскальзывания, которая происходит при минимальной амплитуде компоновки низа буровой колонны. В случае инерционной массы это может быть достигнуто с помощью высокой массы или путем размещения контактного сопряжения в точке высокого ускорения относительно формы возбужденных колебаний. В случае контактирующих сопряжений выгодно большое относительное смещение по сравнению с амплитудой формы колебаний в точке контакта, например, вдоль осевой оси

КНБК. Таким образом, важно оптимальное размещение демпфирующего устройства в соответствии с высокой амплитудой или относительной амплитудой. Это может быть достигнуто путем применения результатов моделирования, как описано ниже. Нормальную силу и коэффициент трения можно применять для сдвига кривой до более низких или более высоких амплитуд, но это не оказывает сильное влияние на максимум демпфирования. Если реализовано более одного фрикционного демпфера, это приведет к наложению аналогичных кривых, показанных на ФИГ. 20. Если нормальную силу и коэффициенты трения регулируют для достижения максимума в той же амплитуде, это полезно для достижения общего демпфирования. Кроме того, слегка смещенные кривые демпфирования привели бы к результирующей кривой, которая могла бы быть более широкой по амплитуде, что может быть полезно для учета ударов, которые могут сместить амплитуду вправо от максимума. В этом случае амплитуда будет увеличиваться до очень высокого значения в случае самовозбуждаемых систем, на что указывает отрицательное демпфирование. В этом случае необходимо снова сместить амплитуду в левую сторону от максимума, например, уйдя от забоя или снизив скорость вращения системы до более низких уровней. В этом контексте амплитуда примерно линейно зависит от средней скорости вращения, как показано и рассмотрено со ссылкой на ФИГ. 8В.

[0067] Еще раз со ссылкой на ФИГ. 7, колонна 704 и, следовательно, скважинная система 702 вращаются со скоростью вращения $d\phi/dt$, которая может быть измерена в оборотах в минуту (об/мин). Второй элемент 712 установлен на первом элементе 710. Нормальная сила F_N между первым элементом 710 и вторым элементом 712 может быть выбрана или отрегулирована посредством применения и использования регулирующего элемента 716. Регулирующий элемент 716 может быть регулируемым, например, посредством резьбы, приводного механизма, пьезоэлектрического приводного механизма, гидравлического приводного механизма и/или пружинного элемента для приложения усилия, который имеет компонент в направлении, перпендикулярном контактной поверхности 714 между первым элементом 710 и вторым элементом 712. Например, как показано на ФИГ. 7, регулирующий элемент 716 может прикладывать усилие в осевом направлении от скважинной системы 702, которое преобразуется в компонент силы F_N , который перпендикулярен контактной поверхности 714 первого элемента 710 и второго элемента 712 ввиду ненулевого угла между осью скважинной системы 702 и контактной поверхностью 714 первого элемента 710 и второго элемента 712. В некоторых конфигурациях угол между системой 712 и инертным массовым элементом выбирают или определяют для обеспечения скользящего движения и предотвращения самофиксации.

[0068] Второй элемент 712 имеет момент инерции J . При возникновении НФТО во время работы скважинной системы 702 как скважинная система 702, так и второй элемент 712 ускоряются в соответствии с формой колебаний (например, определяют распределение амплитуды вдоль размеров буровой системы, бурильной колонны и/или КНБК) и амплитудой формы колебаний (например, шкалы амплитуды формы колебаний). Иллюстративные результаты такой работы показаны на ФИГ. 8А и ФИГ. 8В. На ФИГ. 8А представлен график тангенциального ускорения, измеренного на долоте, а на ФИГ. 8В представлена соответствующая скорость вращения.

[0069] Из-за тангенциального ускорения и инерции второго элемента 712 между вторым элементом 712 и первым элементом 710 возникают относительные инерциальные силы. Если эти инерциальные силы превышают порог между прихватыванием и скольжением, то есть если эти

инерциальные силы превышают силу статического трения между первым элементом 710 и вторым элементом 710, происходит относительное перемещение между элементами 710, 712, что приводит к рассеиванию энергии. В таких конфигурациях ускорения, коэффициент статического и/или динамического трения и нормальная сила определяют количество рассеиваемой энергии. Например, момент инерции J второго элемента 712 определяет относительную силу, которая должна быть передана между первым элементом 710 и вторым элементом 712. Высокие ускорения и моменты инерции увеличивают тенденцию к скольжению на контактной поверхности 714 и, таким образом, обеспечивают более высокое рассеивание энергии и эквивалентный коэффициент демпфирования, обеспечиваемые демпфером.

[0070] Из-за рассеивания энергии, вызванного фрикционным перемещением между первым элементом 710 и вторым элементом 712, на первом элементе 710 и/или втором элементе 712 будет сгенерировано тепло и износ. Чтобы сохранить износ ниже приемлемого уровня, для первого и/или второго элементов 710, 712 можно применять материалы, которые могут выдерживать износ. Например, буровые алмазы или поликристаллические алмазные долота могут быть применены для по меньшей мере части первого и/или второго элементов 710, 712. Альтернативно или дополнительно покрытия могут способствовать уменьшению износа из-за трения между первым и вторым элементами 710, 712. Тепло может приводить к высоким температурам и может влиять на надежность или долговечность первого элемента 710, второго элемента 712 и/или других частей скважинной системы 702. Первый элемент 710 и/или второй элемент 712 могут быть изготовлены из материала с высокой теплопроводностью или высокой теплоемкостью и/или могут находиться в контакте с материалом с высокой теплопроводностью или теплоемкостью.

[0071] Такие материалы с высокой теплопроводностью включают в себя, без ограничений, металлы или соединения, включая металл, такой как медь, серебро, золото, алюминий, молибден, вольфрам, или термическую смазку, содержащую жир, смазочный материал, масло, эпоксидные смолы, силиконы, уретаны и акрилаты, и необязательно наполнители, такие как алмаз, металл или химические соединения, включая металл (например, серебро, алюминий в нитриде алюминия, борон в нитриде бора, цинк в оксиде цинка), или кремниевые или химические соединения, включая кремний (например, карбид кремния). Дополнительно или альтернативно один или оба из первого элемента 710 и второго элемента 712 могут находиться в контакте с флюидом, таким как буровой раствор, который выполнен с возможностью отвода тепла от первого элемента 710 и/или второго элемента 712 для охлаждения соответствующего элемента 710, 712. Кроме того, ограничивающий элемент амплитуды (не показан), такой как манипулятор, выемка или пружинный элемент, может быть применен и выполнен с возможностью ограничения рассеивания энергии до приемлемого предела, который снижает износ.

[0072] При размещении демпфирующей системы 700 высокая нормальная сила и/или коэффициент статического или динамического трения предотвращают относительное скользящее перемещение между первым элементом 710 и вторым элементом 712, и в таких ситуациях энергия не будет рассеяна. Напротив, низкая нормальная сила и/или коэффициент статического или динамического трения могут приводить к силе низкого трения, и происходит скольжение, но рассеянная энергия является низкой. Кроме того, низкая нормальная сила и/или коэффициент статического или динамического трения могут приводить к тому, что трение на внешней поверхности второго элемента

712, например между вторым элементом 712 и формованием 708, выше трения между первым элементом 710 и вторым элементом 712, что приводит к ситуации, когда относительная скорость между первым элементом 710 и вторым элементом 712 не равна нулю, а находится в диапазоне средней скорости между скважинной системой 702 и формацией 708. Таким образом, можно регулировать нормальную силу и коэффициент статического или динамического трения и размещение демпферного элемента относительно формы возбужденных колебаний и формы колебаний (например, с помощью регулирующего элемента 716) для достижения оптимизированного значения для рассеивания энергии.

[0073] Это может быть выполнено путем регулирования нормальной силы F_N , коэффициента статического трения μ_0 , коэффициента динамического трения μ , размещения демпферного элемента относительно формы возбужденных колебаний или их комбинаций. Нормальную силу F_N можно регулировать путем размещения регулирующего элемента 716 и/или приводных механизмов, которые генерируют силу на одном из первого и второго элементов с компонентом, перпендикулярным контактной поверхности первого и второго элементов, путем регулирования режима давления вокруг первого и второго элементов или путем увеличения или уменьшения площади, на которой действует давление. Например, за счет увеличения внешнего давления, которое действует на второй элемент, например давление промывочной жидкости, нормальная сила F_N будет также увеличена. Регулирование давления промывочной жидкости в скважине может быть достигнуто путем регулирования насосов для бурового раствора (например, насосов 34 для бурового раствора, показанных на ФИГ. 1) на поверхности или другого оборудования на поверхности или в скважине, которое влияет на давление промывочной жидкости, такого как байпасные клапаны, клапаны, поглотители гидравлического удара. Нормальную силу можно регулировать таким же образом, чтобы она была гармонической с той же частотой, что и частота свободных колебаний формы возбужденных колебаний и, таким образом, иметь низкие значения нормальной силы для низкого ускорения инерционной массы и высокие значения нормальной силы для низких ускорений инерционной массы, и это обеспечивает скользящее перемещение с низкими значениями ускорения.

[0074] Нормальную силу F_N также можно регулировать с помощью смещающего элемента (не показан), такого как пружинный элемент, который прикладывает усилие ко второму элементу 712, например, усилие в осевом направлении от первого элемента 710 или к нему. Регулирование нормальной силы F_N также можно выполнять управляемым способом на основании входного сигнала, принимаемого от датчика. Например, подходящий датчик (не показан) может обеспечивать одно или более значений параметров для контроллера (не показан), значение (-я) параметра связано (-ы) с относительным перемещением первого элемента 710 и второго элемента 712 или температурой одного или обоих из первого элемента 710 и второго элемента 712. На основании значения (-ов) параметра контроллер может предоставлять команду для увеличения или уменьшения нормальной силы F_N . Например, если температура одного или обоих из первого элемента 710 и второго элемента 712 превышает пороговую температуру, контроллер может предоставлять команду для уменьшения нормальной силы F_N для предотвращения повреждения одного или обоих из первого элемента 710 и второго элемента 712 вследствие воздействия высоких температур. Аналогично, например, если расстояние, скорость или ускорение второго элемента 712 относительно первого элемента 710 превышает порог, контроллер может предоставлять команды для увеличения или уменьшения нормальной силы F_N для обеспечения

оптимального рассеивания энергии. За счет контроля значения параметра нормальную силу F_N можно регулировать для достижения требуемых результатов в течение периода времени. Например, нормальную силу F_N можно регулировать для обеспечения оптимального рассеивания энергии при сохранении температуры одного или обоих из первого элемента 710 и второго элемента 712 ниже порога для запуска бурения или их части.

[0075] Кроме того, коэффициент статического или динамического трения можно регулировать с применением различных материалов, например, без ограничений, материала с различной жесткостью, различной шероховатостью и/или разной смазкой. Например, поверхность с более высокой шероховатостью часто увеличивает коэффициент трения. Таким образом, коэффициент трения можно регулировать путем выбора материала с соответствующим коэффициентом трения для по меньшей мере одного из первого и второго элементов или части по меньшей мере одного из первого и второго элементов. Материал первого и/или второго элемента также может оказывать воздействие на износ первого и второго элементов. Для сохранения износа первого и второго элементов на низком уровне целесообразно выбрать материал, который может выдерживать трение, которое создается между первым и вторым элементами. Инерция, коэффициент трения и ожидаемые амплитуды ускорения (например, в зависимости от формы колебаний и собственной частоты) второго элемента 712 представляют собой параметры, определяющие рассеянную энергию и которые необходимо оптимизировать. Критические формы колебаний и амплитуды ускорения могут быть определены на основании измерений или расчетов или на основании других известных способов, которые будут понятны специалистам в данной области техники. Примеры представляют собой анализ методом конечных элементов или способ передаточных матриц, или способ конечных разностей, и на основании этого модальный анализ или аналитические модели. Размещение фрикционного демпфера является оптимальным, если ожидается высокое относительное смещение или ускорение.

[0076] На ФИГ. 9А и ФИГ. 9В показан пример скважинной системы 900 и соответствующих режимов. На ФИГ. 9А представлен схематический график скважинной системы, иллюстрирующий форму скважинной системы в зависимости от расстояния от долота, а на ФИГ. 9В представлены иллюстративные соответствующие формы колебаний крутильных колебаний, которые могут быть возбуждены во время работы скважинной системы, показанной на ФИГ. 9А. На изображениях, представленных на ФИГ. 9А и ФИГ. 9В, показано потенциальное положение и размещение одного или более элементов демпфирующей системы на скважинной системе 900.

[0077] Как иллюстративно показано на ФИГ. 9А, скважинная система 900 имеет различные компоненты с различными диаметрами (вместе с различными массами, плотностями, конфигурациями и т. д.) и, таким образом, во время вращения скважинной системы 900 различные компоненты могут приводить к различным формам. Иллюстративные формы показывают, что будут существовать самые высокие амплитуды, которые могут потребовать демпфирования путем применения демпфирующей системы. Например, как представлено на ФИГ. 9В, показаны форма 902 колебаний первого крутильного колебания, форма 904 колебаний второго крутильного колебания и форма 906 колебаний третьего крутильного колебания скважинной системы 900. На основании знания форм 902, 904, 906 колебаний можно оптимизировать положение первых элементов демпфирующей системы. При максимальной амплитуде (пиках) форм 902, 904, 906 колебаний может потребоваться и/или достигается

демпфирование. Соответственно, иллюстративно показано два потенциальных положения для прикрепления или установки демпфирующей системы по настоящему изобретению.

[0078] Например, первое положение 908 демпфирования близко к долоту скважинной системы 900 и в основном демпфирует первые и третьи крутильные колебания (соответствует формам 902, 906 колебаний) и обеспечивает некоторое демпфирование относительно второго крутильного колебания (соответствует форме 904 колебаний). Таким образом, первое положение 908 демпфирования должно быть приблизительно на пике третьего крутильного колебания (соответствует форме 906 колебаний), близкое к пику первой формы 902 крутильных колебаний, а также от около половины значения до пика относительно второй формы 904 крутильных колебаний.

[0079] Второе положение 910 демпфирования выполнено с возможностью главным образом повторного обеспечения демпфирования третьей формы 906 колебаний крутильного колебания и обеспечения некоторого демпфирования относительно первой формы 902 колебаний крутильного колебания. Однако во втором положении 910 демпфирования не будет происходить демпфирование второй формы 904 колебаний крутильного колебания, поскольку вторая форма 904 колебаний крутильного колебания практически равна нулю во втором положении 910 демпфирования.

[0080] Хотя на ФИГ. 9А и ФИГ. 9В показаны только два положения для размещения демпфирующих систем по настоящему изобретению, варианты осуществления не должны быть настолько ограничены. Например, возможно любое количество и любое размещение демпфирующих систем вдоль скважинной системы для обеспечения демпфирования крутильной вибрации на скважинной системе. Примером предпочтительного положения установки для демпфера является то, где одна или более из ожидаемых форм колебаний демонстрируют высокие амплитуды.

[0081] Из-за высоких амплитуд в буровом долоте, например, одно надлежащее положение демпфера близко к буровому долоту или же находится внутри бурового долота. Кроме того, первый и второй элементы не ограничиваются одним корпусом, а могут принимать любое количество различных конфигураций для достижения требуемого демпфирования. Таким образом, можно применять множественные корпусные (многокорпусные) первый или второй элементы (например, фрикционные демпфирующие устройства) с каждым корпусом, имеющим одинаковые или разные нормальные силы, коэффициенты трения и моменты инерции. Такие системы многокорпусных элементов могут быть применены, например, при неуверенности в том, какая форма колебаний и соответствующее ускорение ожидаются в данном положении вдоль скважинной системы.

[0082] Например, можно применять два или более корпусов элементов, которые могут обеспечивать различное относительное скользящее перемещение между ними для рассеивания энергии. Множественные корпусы первого элемента могут быть выбраны и собраны с различными коэффициентами статического или динамического трения, углами между контактными поверхностями и/или могут иметь другие механизмы для воздействия на величину трения и/или переход между прихватом и скольжением. Несколько уровней амплитуды, форм возбужденных колебаний и/или частот свободных колебаний могут быть демпфированы такими конфигурациями.

[0083] Например, на ФИГ. 10 схематично показана демпфирующая система 1000 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. Демпфирующая система 1000 может функционировать аналогично показанной и описанной выше в отношении ФИГ. 7.

Демпфирующая система 1000 содержит первый элемент 1010 и вторые элементы 1012. Однако в данном варианте осуществления второй элемент 1012, установленный на первом элементе 1010 скважинной системы 1002, образован из первого корпуса 1018 и второго корпуса 1020. Первый корпус 1018 имеет первую контактную поверхность 1022 между первым корпусом 1018 и первым элементом 1010, и второй корпус 1020 имеет вторую контактную поверхность 1024 между вторым корпусом 1020 и первым элементом 1010. Как показано, первый корпус 1018 отделен от второго корпуса 1020 зазором 1026. Обеспечен зазор 1026 для предотвращения взаимодействия между первым корпусом 1018 и вторым корпусом 1020 таким образом, что они могут функционировать (например, перемещаться) независимо друг от друга или не взаимодействовать непосредственно друг с другом. В этом варианте осуществления первый корпус 1018 имеет первый коэффициент статического или динамического трения μ_1 и первую силу F_{N1} , которая перпендикулярна первой контактной поверхности 1022, тогда как второй корпус 1020 имеет второй коэффициент статического или динамического трения μ_2 и вторую силу F_{N2} , которая перпендикулярна второй контактной поверхности 1024. Кроме того, первый корпус 1018 может иметь первый момент инерции J_1 и второй корпус 1020 может иметь второй момент инерции J_2 . В некоторых вариантах осуществления выбирают по меньшей мере одно из первого коэффициента статического или динамического трения μ_1 , первой нормальной силы F_{N1} и первого момента инерции J_1 , чтобы они отличались от второго коэффициента статического или динамического трения μ_2 , второй нормальной силы F_{N2} и второго момента инерции J_2 соответственно. Таким образом, демпфирующая система 1000 может быть выполнена с возможностью учета множества различных форм колебаний в по существу одном положении вдоль скважинной системы 1002.

[0084] На ФИГ. 11 представлено схематическое изображение демпфирующей системы 1100 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. Демпфирующая система 1100 может функционировать аналогично показанной и описанной выше. Однако в данном варианте осуществления второй элемент 1112, установленный на первом элементе 1110 скважинной системы 1102, образован из первого корпуса 1118, второго корпуса 1120 и третьего корпуса 1128. Первый корпус 1118 имеет первую контактную поверхность 1122 между первым корпусом 1118 и первым элементом 1110, причем второй корпус 1120 имеет вторую контактную поверхность 1124 между вторым корпусом 1120 и первым элементом 1110, а третий корпус 1128 имеет третью контактную поверхность 1130 между третьим корпусом 1128 и первым элементом 1110. Как показано, третий корпус 1128 расположен между первым корпусом 1118 и вторым корпусом 1020. В этом варианте осуществления три корпуса 1118, 1120, 1128 находятся в контакте друг с другом и, таким образом, могут иметь нормальные силы и коэффициенты статического или динамического трения между ними.

[0085] Контакт между тремя корпусами 1118, 1120, 1128 может быть установлен, может поддерживаться или сохраняться упругими соединительными элементами, такими как пружинные элементы между двумя или более элементами 1118, 1120, 1128. Дополнительно или альтернативно, первый корпус 1118 может иметь первый коэффициент статического или динамического трения μ_1 и первую силу F_{N1} на первой контактной поверхности 1122, второй корпус 1120 может иметь второй коэффициент статического или динамического трения μ_2 и вторую силу F_{N2} на второй контактной поверхности 1124, и третий корпус 1128 может иметь третий коэффициент статического или динамического трения μ_3 и третью силу F_{N3} на третьей контактной поверхности 1130.

[0086] Дополнительно или альтернативно, первый корпус 1118 и третий корпус 1128 могут иметь четвертую силу F_{H13} и четвертый коэффициент статического или динамического трения μ_{13} между собой на контактной поверхности между первым корпусом 1118 и третьим корпусом 1128. Аналогично, третий корпус 1128 и второй корпус 1120 могут иметь пятую силу F_{N32} и пятый коэффициент статического или динамического трения μ_{32} между собой на контактной поверхности между третьим корпусом 1128 и вторым корпусом 1120.

[0087] Кроме того, первый корпус 1118 может иметь первый момент инерции J_1 , а второй корпус 1120 может иметь второй момент инерции J_2 , и третий корпус 1128 может иметь третий момент инерции J_3 . В некоторых вариантах осуществления коэффициенты статического или динамического трения $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_{13}, \mu_{32}$, силы $F_{N1}, F_{N2}, F_{N3}, F_{13}, F_{32}$, и момент инерции J_1, J_2, J_3 быть выбраны отличающимися друг от друга таким образом, что произведение $\mu_i \cdot F_i$ (где $i = 1, 2, 3, 13, 32$) отличается от по меньшей мере поддиапазона относительных скоростей первого элемента 1110, первого корпуса 1118, второго корпуса 1120 и третьего корпуса 1128. Более того, коэффициенты статического или динамического трения и нормальные силы между соседними корпусами могут быть выбраны для достижения различных эффектов демпфирования.

[0088] Хотя это показано и описано в отношении ограниченного количества вариантов осуществления и конкретных форм, относительных размеров и количества элементов, специалистам в данной области будет понятно, что демпфирующие системы по настоящему изобретению могут принимать любую конфигурацию. Например, формы, размеры, геометрические конфигурации, радиальные размещения, контактные поверхности, количество корпусов и т. д. могут быть выбраны для достижения требуемого эффекта демпфирования. Хотя в расположении, показанном на ФИГ. 11, первый корпус 1118 и второй корпус 1120 соединены друг с другом посредством фрикционного контакта с третьим корпусом 1128, такое расположение и описание не должны быть ограничивающими. Соединение между первым корпусом 1118 и вторым корпусом 1120 также может быть создано гидравлическим, электрическим или механическим соединительным средством или механизмом. Например, механическое соединение между первым корпусом 1118 и вторым корпусом 1120 может быть создано с помощью жесткого или упругого соединения первого корпуса 1118 и второго корпуса 1120.

[0089] На ФИГ. 12 представлено схематическое изображение демпфирующей системы 1200 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. Демпфирующая система 1200 может функционировать аналогично показанной и описанной выше. Однако в данном варианте осуществления второй элемент 1212 демпфирующей системы 1200 частично неподвижно прикреплен к первому элементу 1210 или соединен с ним. Например, как показано в данном варианте осуществления, второй элемент 1212 имеет неподвижную часть 1232 (или конец) и подвижную часть 1234 (или конец). Неподвижная часть 1232 прикреплена к первому элементу 1210 вдоль неподвижного соединения 1236, а подвижная часть 1234 находится в фрикционном контакте с первым элементом 1210 через контактную поверхность 1214 (аналогично первому элементу 1010 при фрикционном контакте со вторым элементом 1012, описанным в отношении ФИГ. 10).

[0090] Подвижная часть 1234 может иметь любую требуемую длину, которая может быть связана с формами колебаний, как показано на ФИГ. 9В. Например, в некоторых вариантах

осуществления подвижная часть может быть длиннее десятой части расстояния между максимумом и минимумом любой из форм колебаний, которые могли быть рассчитаны для конкретной буровой компоновки. В другом примере в некоторых вариантах осуществления подвижная часть может быть длиннее четверти расстояния между максимумом и минимумом любой из форм колебаний, которые могли быть рассчитаны для конкретной буровой компоновки. В другом примере в некоторых вариантах осуществления подвижная часть может быть длиннее половины расстояния между максимумом и минимумом любой из форм колебаний, которые могли быть рассчитаны для конкретной буровой компоновки. В другом примере в некоторых вариантах осуществления подвижная часть может быть длиннее расстояния между максимумом и минимумом любой из форм колебаний, которые могут быть рассчитаны для конкретной буровой компоновки.

[0091] Таким образом, даже несмотря на то, что может быть неизвестно, где находится точное положение максимумов или минимумов формы во время развертывания в скважине, обеспечивают, чтобы второй элемент 1212 находился во фрикционном контакте с первым элементом 1210 в положении максимальной амплитуды для достижения оптимизированного демпфирования. Хотя специалистам в данной области техники будет понятно, что возможны и другие варианты расположения частично неподвижных первых элементов без отступления от объема настоящего изобретения. Например, в одном не имеющем ограничительного характера варианте осуществления неподвижная часть может находиться в более центральной части первого элемента таким образом, что первый элемент имеет две подвижные части (например, на противоположных концах первого элемента). Как видно на ФИГ. 12, подвижная часть 1234 второго элемента 1212 является достаточно удлиненной и может покрывать часть форм колебаний (например, формы 902, 904, 906 колебаний на ФИГ. 9В), которые соответствуют длине подвижной части 1234 второго элемента 1212. Удлиненный второй элемент 1212 во фрикционном контакте с первым элементом 1210 может иметь преимущества по сравнению с более короткими вторыми элементами, поскольку более короткие вторые элементы могут быть расположены в нежелательной части форм колебаний, например в положении 910 демпфирования, где вторая форма 904 колебаний является небольшой или даже нулевой, как описано выше в отношении ФИГ. 9В. Применение удлиненного второго элемента 1212 может обеспечить, чтобы по меньшей мере часть второго элемента находилась на расстоянии от положений, в которых одна или более форм колебаний являются нулевыми или по меньшей мере близкими к нулю. На ФИГ. 13–19 и 21–22 показано больше разновидностей удлиненных вторых элементов во фрикционном контакте с первыми элементами. В некоторых вариантах осуществления удлиненные вторые элементы могут быть упругими таким образом, что подвижная часть 1234 может перемещаться относительно первого элемента 1210, тогда как неподвижная часть 1232 является неподвижной относительно первого элемента 1210. В некоторых вариантах осуществления второй элемент 1212 может иметь множество контактных точек во множестве положений первого элемента 1210.

[0092] В описанных выше вариантах осуществления и в демпфирующих системах в соответствии с настоящим изобретением первые элементы временно прикреплены ко второму элементу ввиду фрикционного трения. Однако при увеличении вибраций скважинных систем и превышении порога, например, когда сила инерции превышает силу статического трения, первые элементы (или их части) перемещаются относительно вторых элементов, таким образом обеспечивая демпфирование. То

есть, когда НГТО увеличивают заданные пороги (например, пороги амплитуды, расстояния, скорости и/или ускорения) в скважинных системах, демпфирующие системы будут автоматически функционировать, и, таким образом, варианты осуществления, предложенные в настоящем документе, включают в себя пассивные демпфирующие системы. Например, варианты осуществления включают в себя пассивные демпфирующие системы, автоматически функционирующие без применения дополнительной энергии, и, следовательно, не применяют дополнительный источник энергии.

[0093] На ФИГ. 13 представлено схематическое изображение демпфирующей системы 1300 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. В этом варианте осуществления демпфирующая система 1300 содержит один или более удлиненных первых элементов 1310a, 1310b, 1310c, 1310d, 1310e, 1310f, каждый из которых расположен внутри второго элемента 1312 и находится в контакте с ним. Каждый из первых элементов 1310a, 1310b, 1310c, 1310d, 1310e, 1310f может иметь длину в осевом направлении инструмента (например, в направлении, перпендикулярном поперечному сечению, показанному на ФИГ. 13) и необязательно неподвижную точку, в которой соответствующие первые элементы 1310a, 1310b, 1310c, 1310d, 1310e, 1310f прикреплены ко второму элементу 1312. Например, первые элементы 1310a, 1310b, 1310c, 1310d, 1310e, 1310f могут быть прикреплены к соответствующим верхним концам, средним частям, нижним концам или множеству точек прикрепления для различных первых элементов 1310a, 1310b, 1310c, 1310d, 1310e, 1310f или множества точек для данного одного первого элемента 1310a, 1310b, 1310c, 1310d, 1310e, 1310f. Кроме того, как показано на ФИГ. 13, первые элементы 1310a, 1310b, 1310c, 1310d, 1310e, 1310f могут быть необязательно смещены или находиться в зацеплении со вторым элементом 1312 с помощью смещающего элемента 1338 (например, с помощью смещающего пружинного элемента или смещающего приводного механизма, прилагающего силу с компонентом ко второму элементу 1312). Каждый из первых элементов 1310a, 1310b, 1310c, 1310d, 1310e, 1310f может быть расположен и выбран для того, чтобы иметь одинаковые или разные нормальные силы, коэффициенты статического или динамического трения и массовые моменты инерции, таким образом обеспечивая различные конфигурации демпфирования.

[0094] В некоторых вариантах осуществления первые элементы могут быть по существу единообразными по материалу, форме и/или геометрической конфигурации вдоль их длины. В других вариантах осуществления первые элементы могут варьироваться по форме и геометрической конфигурации вдоль их длины. Например, со ссылкой на ФИГ. 14 представлено схематическое изображение демпфирующей системы 1400 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. В этом варианте осуществления первый элемент 1410 расположен относительно второго элемента 1412, а первый элемент 1410 имеет сужающуюся и/или спиральную конструкцию относительно второго элемента 1412. Соответственно, в некоторых вариантах осуществления часть первого или второго элемента может изменять геометрическую конфигурацию или форму вдоль его длины относительно второго элемента, и такие изменения также могут происходить в продольном направлении вокруг второго элемента и/или относительно корпуса инструмента или скважинной системы.

[0095] На ФИГ. 15 представлено схематическое изображение другой демпфирующей системы 1500 в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения. В демпфирующей

системе 1500 первый элемент 1510 представляет собой зубчатый (резьбовой) корпус, который вписывается в резьбовой второй элемент 1512. Контакт между зубьями (резьбами) первого элемента 1510 и резьбами второго элемента 1512 может обеспечивать фрикционный контакт между двумя элементами 1510, 1512 для обеспечения демпфирования, как описано в настоящем документе. Из-за наклонных поверхностей первого элемента 1510 первый элемент 1510 начинает перемещаться под действием как осевых, так и/или крутильных вибраций. Кроме того, перемещение первого элемента 1510 в осевом направлении или направлении по окружности также создает перемещение в направлении по окружности или осевом направлении, соответственно, в этой конфигурации. Таким образом, при расположении, показанном на ФИГ. 15, осевые вибрации могут быть применены для смягчения или демпфирования крутильных вибраций, а также крутильных вибраций, которые могут быть применены для смягчения или демпфирования осевых вибраций. Положения, в которых происходят осевые и крутильные вибрации, могут быть разными. Например, хотя осевые вибрация могут равномерно распределяться вдоль буровой компоновки, крутильные вибрации могут следовать рисунку форм колебаний, как описано выше со ссылкой на ФИГ. 9А–9В. Таким образом, независимо от того, где происходят вибрации, конфигурация, показанная на ФИГ. 15, может быть применена для демпфирования крутильных вибраций при перемещении первого элемента 1510 относительно второго элемента 1512, вызванном осевыми вибрациями, и наоборот. Как показано, необязательный затяжной элемент 1540 (например, болт) можно применять для регулирования контактного давления или нормальной силы между двумя элементами 1510, 1512 и, таким образом, регулирования силы трения и/или других характеристик демпфирования демпфирующей системы 1500.

[0096] Далее в соответствии с ФИГ. 16 представлено схематическое изображение демпфирующей системы 1600 в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения. Демпфирующая система 1600, которая содержит первый элемент 1610, который представляет собой жесткий стержень, который находится на одном конце, закрепленном внутри второго элемента 1612. В этом варианте осуществления конец 1610а стержня выполнен с возможностью фрикционного контакта с ограничителем 1612а второго элемента, чтобы таким образом обеспечить демпфирование, как описано в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Нормальная сила между концом 1610а стержня и ограничителем 1612а второго элемента может быть регулируемой, например, с помощью резьбового соединения между концом 1610а стержня и первым элементом 1610. Кроме того, жесткость стержня может быть выбрана для оптимизации демпфирования или влияния на форму колебаний благоприятным образом для обеспечения большего относительного смещения. Например, выбор стержня с меньшей жесткостью приведет к более высоким амплитудам крутильных вибраций первого элемента 1610 и более высокого рассеивания энергии.

[0097] Далее в соответствии с ФИГ. 17 представлено схематическое изображение демпфирующей системы 1700 в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения. Демпфирующая система 1700, которая содержит первый элемент 1710, который является фрикционно прикрепленным или присоединенным ко второму элементу 1712, который расположен в виде жесткого стержня и который неподвижно соединен (например, путем сварки, скрепления болтами, высокотемпературной пайки, адгезии и т. д.) с внешним трубчатым элементом 1714, таким как утяжеленная буровая труба, при неподвижном соединении 1716. В одном аспекте стержень может

представлять собой трубчатый элемент, который содержит электронные компоненты, источники питания, носители данных, батареи, микроконтроллеры, приводные механизмы, датчики и т. д., которые подвержены износу из-за НФТО. Таким образом, в одном аспекте второй элемент 1712 может представлять собой зонд, такой как зонд для измерения информации о направлении, включая один или более из гравиметра, гироскопа и магнитометра. В этом варианте осуществления первый элемент 1710 выполнен с возможностью фрикционного контакта, перемещения или колебания относительно и вдоль конструкции неподвижного стержня второго элемента 1712, чтобы таким образом обеспечивать демпфирование, как описано в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Хотя на ФИГ. 17 показано, что первый элемент 1710 является относительно небольшим по сравнению с демпфирующей системой 1700, это не должно подразумевать ограничение в этом отношении. Таким образом, первый элемент 1710 может иметь любой размер и может иметь такой же наружный диаметр, что и демпфирующая система 1700. Кроме того, положение первого элемента 1710 может быть регулируемым для перемещения первого элемента 1710 ближе к максимуму формы колебаний, чтобы оптимизировать смягчение демпфирования.

[0098] Далее в соответствии с ФИГ. 18 представлено схематическое изображение демпфирующей системы 1800 в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения. Демпфирующая система 1800 содержит первый элемент 1810, который является фрикционно перемещаемым вдоль второго элемента 1812. В этом варианте осуществления первый элемент 1810 расположен с упругим пружинным элементом 1842, таким как спиральная пружина или другой элемент или средство, для вхождения в зацепление первого элемента 1810 со вторым элементом 1812, чтобы таким образом обеспечивать возвращающую силу, когда первый элемент 1810 переместился и отклонился относительно второго элемента. Возвращающая сила направлена на уменьшение отклонения первого элемента 1810 относительно второго элемента 1812. В таких вариантах осуществления упругий пружинный элемент 1842 может быть расположен или настроен на резонанс и/или на критическую частоту (например, самую низкую критическую частоту) упругого пружинного элемента 1842 или колебательной системы, содержащей первый элемент 1810 и упругий пружинный элемент 1842.

[0099] Далее в соответствии с ФИГ. 19 представлено схематическое изображение демпфирующей системы 1900 в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего изобретения. Демпфирующая система 1900 содержит первый элемент 1910, который является фрикционно перемещаемым вокруг второго элемента 1912. В этом варианте осуществления первый элемент 1910 расположен с первым концом 1910а, имеющим первый контакт (например, нормальная сила F_{N1} первого конца, коэффициент статического или динамического трения μ_1 первого конца и момент инерции J_1 первого конца) и второй контакт на втором конце 1910b (например, нормальная сила F_{N2} второго конца, коэффициент статического или динамического трения μ_2 второго конца и момент инерции J_2 второго конца). В некоторых таких вариантах осуществления тип взаимодействия между соответствующим первым концом 1910 или вторым концом 1910b и вторым элементом 1912 может иметь разные физические характеристики. Например, один или оба из первого конца 1910а и второго конца 1910b могут иметь прихватывающий контакт/зацепление, а один или оба могут иметь скользящий контакт/зацепление. Расположения/конфигурации первого и второго концов 1910а, 1910b могут быть

установлены для обеспечения демпфирования, как описано в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения.

[0100] Преимущественно, варианты осуществления, предложенные в настоящем документе, относятся к системам для смягчения высокочастотных крутильных колебаний (НФТО) скважинных систем путем применения демпфирующих систем, установленных на вращающейся колонне (например, скважинной колонне или бурильной колонне). Первые элементы демпфирующих систем, по меньшей мере частично, фрикционно соединены для перемещения по окружности относительно оси колонны (например, фрикционно соединены для вращения вокруг оси колонны). В некоторых вариантах осуществления вторые элементы могут быть частью буровой системы или компоновки низа бурильной колонны и не обязательно должны быть отдельным компонентом или грузом. Второй элемент, или его часть, соединен со скважинной системой таким образом, что относительное перемещение между первым элементом и вторым элементом имеет относительную нулевую или близкую к нулю скорость (т. е. отсутствие или медленное относительное перемещение) при отсутствии НФТО. Однако, когда НФТО проявляется выше определенного значения ускорения, возможно относительное перемещение между первым элементом и вторым элементом и достигаются чередующиеся плюсовые и минусовые относительные скорости. В некоторых вариантах осуществления второй элемент может представлять собой массу или груз, которые соединены со скважинной системой. В других вариантах осуществления второй элемент может быть частью скважинной системы (например, частью буровой системы или КНБК) с трением между первым элементом и вторым элементом, таким как остальная часть скважинной системы, обеспечивающая функциональность, описанную в настоящем документе.

[0101] Как описано выше, вторые элементы демпфирующих систем выбраны или выполнены таким образом, что при отсутствии вибрации (т. е. НФТО) в колонне второй элемент будет фрикционно соединен с первым элементом с помощью силы статического трения. Однако при наличии вибрации (НФТО) вторые элементы начинают перемещаться относительно первого элемента, и фрикционный контакт между первым и вторым элементами уменьшается, как описано выше в отношении ФИГ. 2 таким образом, что второй элемент может вращаться (перемещаться) относительно первого элемента (или наоборот). При перемещении первый и второй элементы обеспечивают рассеивание энергии, тем самым смягчая НФТО. Демпфирующие системы и, в частности, их первые элементы расположены, утяжелены, принудительно установлены и имеют размер, чтобы обеспечить демпфирование одной или более конкретных или заданных форм вибраций/частот. Как описано в настоящем документе, первые элементы неподвижно соединены, когда отсутствуют вибрации НФТО, но затем способны перемещаться при наличии определенных ускорений (например, в соответствии с формами колебаний НФТО), таким образом обеспечивая демпфирование НФТО через переход через ноль относительной скорости (например, переключение между положительными и отрицательными относительными скоростями вращения).

[0102] В различных конфигурациях, описанных выше, датчики могут применяться для оценки и/или контроля эффективности и рассеиваемой энергии демпфера. Измерение смещения, скорости и/или ускорения вблизи точки контакта или поверхности двух взаимодействующих объектов, например, в комбинации с датчиками силы или крутящего момента, можно применять для оценки относительного

перемещения и расчета рассеиваемой энергии. Сила также может быть известна без измерения, например, когда два взаимодействующих объекта входят в зацепление с помощью смещающего элемента, такого как пружинный элемент или приводной механизм. Рассеянная энергия также может быть получена из измерений температуры. Такие значения измерений могут быть переданы контроллеру или оператору-человеку, который может обеспечивать регулирование параметров, таких как нормальная сила и/или коэффициент(-ы) статического или динамического трения, для достижения более высокой рассеянной энергии. Например, измеренные и/или расчетные значения смещения, скорости, ускорения, силы и/или температуры могут быть отправлены контроллеру, такому как микроконтроллер, который имеет набор команд, хранящихся на носителе данных, на основании которых он регулирует и/или контролирует по меньшей мере одно из силы, которая взаимодействует с двумя взаимодействующими объектами, и/или коэффициентов статического или динамического трения. Предпочтительно, регулирование и/или контроль выполняют в то время, как продолжается процесс бурения, для достижения оптимальных результатов демпфирования НФТО.

[0103] Хотя варианты осуществления, описанные в настоящем документе, были описаны со ссылкой на конкретные фигуры, следует понимать, что допускается внесение различных изменений и замена отдельных элементов на эквивалентные без отступления от объема настоящего изобретения. Кроме того, будет понятным множество модификаций для адаптации конкретного инструмента, ситуации или материала к идеям настоящего изобретения без отступления от его объема. Таким образом, предполагается, что настоящее описание не ограничено конкретными описанными вариантами осуществления, но что настоящее описание включает все варианты осуществления, входящие в объем прилагаемой формулы изобретения или приведенное ниже описание возможных вариантов осуществления.

[0104] Интенсивные вибрации в бурильных колоннах и компоновках низа бурильной колонны могут быть вызваны усилиями резания на долоте или дисбалансами масс в скважинных инструментах, таких как буровые двигатели. Отрицательные эффекты, помимо прочего, снижают скорость проходки при бурении, снижают качество измерений и отказов в скважине.

[0105] Существуют различные виды крутильных вибраций. В литературе крутильные вибрации в основном дифференцированы как прихват/проскальзывание всей буровой системы и высокочастотные крутильные колебания (НФТО). Оба из них в основном возбуждаются с помощью механизмов самовозбуждения, которые возникают в результате взаимодействия бурового долота и формации. Основной дифференциатор между прихватом/проскальзыванием и НФТО представляет собой частоту и типичную форму колебаний. В случае НФТО частота составляет более 50 Гц по сравнению с менее 1 Гц в случае прихвата/проскальзывания. Кроме того, возбужденная форма колебаний прихвата/проскальзывания представляет собой форму колебаний всей буровой системы, в то время как форма НФТО обычно локализуется в небольшой части буровой системы и имеет сравнительно высокую амплитуду на долоте.

[0106] В результате высокой частоты НФТО соответствует высоким значениям ускорения и крутящего момента вдоль КНБК и может оказывать повреждающее действие на электронные компоненты и механические части. На основании теории самовозбуждения увеличенное демпфирование может смягчать НФТО, если достигается определенный предел значения демпфирования (поскольку

самовозбуждение является нестабильным и может быть интерпретировано как отрицательное демпфирование связанной формы колебаний).

[0107] Одна концепция демпфирования основана на трении. Трение между двумя частями в КНБК или буровой колонне может рассеивать энергию и уменьшать уровень крутильных колебаний.

[0108] В этой концепции описан принцип конструкции, который, по мнению авторов изобретения, работает наилучшим образом для демпфирования с трением. Демпфирование должно быть достигнуто с помощью силы трения, причем рабочая точка силы трения по отношению к относительной скорости должна находиться вокруг точки 204, показанной на ФИГ. 2. Эта рабочая точка приводит к высокому рассеиванию энергии, поскольку достигается гистерезис трения, тогда как точка 202, показанная на ФИГ. 2, приводит к подаче энергии в систему.

[0109] Как обсуждалось выше, силы трения между буровой системой и стволом скважины не будут создавать значительное дополнительное демпфирование в системе. Это связано с тем, что относительная скорость между контактными поверхностями (например, стабилизатором и стволом скважины) не имеет нулевого среднего значения. Два взаимодействующих объекта фрикционного демпфера должны иметь среднюю скорость или скорость вращения относительно друг друга, достаточно малую, чтобы НФТО приводило к изменению знака относительной скорости двух взаимодействующих объектов фрикционного демпфера. Другими словами, максимум относительных скоростей между двумя взаимодействующими объектами, сгенерированный НФТО, должен быть выше средней относительной скорости между двумя взаимодействующими объектами.

[0110] Рассеивание энергии происходит только в фазе проскальзывания через сопряжение между демпфирующим устройством и буровой системой. Проскальзывание происходит, если инерциальная сила превышает предел между прихватыванием и проскальзыванием, который представляет собой силу статического трения: $F_R > \mu_0 \cdot F_N$ (сила статического трения равна коэффициенту статического трения, умноженному на нормальную силу между обеими контактирующими поверхностями). Нормальную силу и/или коэффициент статического или динамического трения можно регулировать для достижения оптимального или требуемого рассеивания энергии. Регулирование по меньшей мере одного из нормальной силы и коэффициента статического или динамического трения может приводить к улучшенному рассеиванию энергии с помощью демпфирующей системы.

[0111] Как описано в настоящем документе, размещение фрикционного демпфера должно находиться в области высоких ускорений НФТО, нагрузок и/или относительного перемещения. Поскольку это может влиять на различные формы колебаний, предпочтительной является конструкция, которая способна смягчать все формы колебаний НФТО (например, ФИГ. 9А и ФИГ. 9В).

[0112] В качестве инструмента фрикционного демпфера по настоящему изобретению можно применять эквивалент. Можно задействовать утяжеленную трубу с пазами 2100, как показано на ФИГ. 21 и ФИГ. 22. На ФИГ. 22 представлен вид в поперечном сечении утяжеленной трубы с пазами 2100. В одном не имеющем ограничительного характера варианте осуществления утяжеленная труба с пазами 2100 имеет высокую гибкость и приведет к более высоким деформациям, если не ввести фрикционные устройства 2102. Более высокая скорость приведет к более высоким центробежным силам, которые усилят прижатие фрикционных устройств 2102 к пазам с помощью оптимизированных нормальных

сил для обеспечения высокофрикционного демпфирования. В этой конфигурации другие факторы, которые могут быть оптимизированы, представляют собой количество и геометрическую конфигурацию пазов, а также геометрическую конфигурацию демпфирующих устройств. Дополнительная нормальная сила может быть приложена пружинными элементами 2104, как показано на ФИГ. 22, приводных механизмов и/или центробежными силами, как описано выше.

[0113] Преимущество этого принципа заключается в том, что фрикционные устройства будут непосредственно установлены в поток силы. Скручивание утяжеленной трубы из-за возбужденной формы колебаний ННТО и соответствующей формы колебаний будет частично поддерживаться фрикционными устройствами, которые будут перемещаться вверх и вниз в течение одного периода вибрации. Высокое относительное перемещение вместе с оптимизированным коэффициентом трения и нормальной силой приводит к высокому рассеиванию энергии.

[0114] В данном случае цель заключается в предотвращении амплитудного увеличения амплитуд ННТО (в этом случае представленных амплитудами тангенциального ускорения). (Модальное) демпфирование, которое необходимо добавлять к каждой изменчивой крутильной форме колебаний с помощью системы фрикционного демпфера, должно быть выше, чем ввод энергии в систему. Ввод энергии происходит не мгновенно, а в течение многих периодов до достижения амплитуды в худшем случае (ноль об/мин на долоте).

[0115] При этой концепции можно применять короткую утяжеленную трубу, поскольку фрикционный демпфер применяет относительное перемещение вдоль расстояния от долота. Нет необходимости в наличии амплитуды высокотангенциального ускорения, но необходимо только некоторое отклонение («скручивание») утяжеленной трубы, которое будет достигнуто почти в каждом месте вдоль КНБК. Утяжеленная труба и демпферы должны иметь аналогичное отношение массы к жесткости («импеданс») по сравнению с КНБК. Это позволит обеспечить распространение формы колебаний во фрикционной утяжеленной трубе. Будет достигнуто высокое демпфирование, которое смягчит ННТО, если отрегулированы параметры, описанные выше (нормальная сила из-за пружин и т. д.). Преимуществом по сравнению с другими принципами фрикционного демпфера является применение фрикционных устройств непосредственно к потоку силы отклонения к форме колебаний ННТО. Сравнительно высокая относительная скорость между фрикционными устройствами и утяжеленной трубой приведет к высокому рассеиванию энергии.

[0116] Демпфер будет довольно целесообразным и будет подходить для различных применений. ННТО приводит к высоким затратам из-за значительных усилий по ремонту и техобслуживанию, проблем надежности при непродуктивном использовании времени и небольшой доле рынка. Предлагаемый фрикционный демпфер будет работать ниже двигателя (это отделяет ННТО), а также выше двигателя. Он может быть установлен в любом месте КНБК, что также включает размещение выше КНБК, если форма колебаний распространяется до этой точки. Форма колебаний распространяется через всю КНБК, если распределение массы и жесткости является относительно одинаковым. Оптимальное размещение может быть, например, определено оператором крутильных колебаний, который позволяет рассчитывать критические формы ННТО и соответствующие формы колебаний.

[0117] Кроме того, как отмечалось выше, из-за высоких амплитуд на буровом долоте одно положение демпфера, как описано в настоящем документе, может находиться внутри бурового долота или может находиться в непосредственной близости от него, например, в составе опорного узла долота или на нем. Таким образом, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения, демпферы могут быть интегрированы в опорный узел долота и представлять собой его часть. В таких вариантах осуществления расстояние до долота практически равно нулю. Опорные узлы долота, как описано в настоящем документе, включают в себя, без ограничений, муфты долота, приводные валы, муфты, связанные с операциями крепления и приведения во вращение/эксплуатации долота, направляющие механизмы и/или элементы, связанные с направлением операции бурения, механизмы изгиба, которые применяют в двигателе изгиба для отклонения, элементы для входа в контакт со стенками ствола, неподвижные или медленно вращающиеся муфты и т. д. Опорные узлы долота согласно настоящему изобретению могут быть частью КНБК, которая содержит элементы, отличающиеся от устройства дезинтеграции, а в некоторых случаях может включать в себя устройство дезинтеграции, если такое устройство выполнено как единое целое с участком опорного узла долота.

[0118] Направляющий механизм (также называемый направляющей секцией или направляющим узлом) применяется и выполнен с возможностью бурения направленных скважин. Такое направленное бурение может упоминаться в данной области техники как геонавигация. Направляющий механизм в одном неограничивающем примере включает в себя ряд элементов с возможностью расширения (например, элементов приложения усилия), расположенных на невращающейся муфте (например, муфте скважинного инструмента), выполненных с возможностью приложения выбранных или заданных усилий к стенке ствола скважины для направленного бурения скважин. Во время приложения усилия к стенке ствола скважины невращающаяся муфта занимает геостационарное положение или только медленно поворачивается относительно стенки ствола скважины, в то время как приводной вал, который проходит через невращающуюся муфту, вращается со скоростью вращения устройства дезинтеграции (например, с частотой вращения долота). Расширяемые элементы могут приводиться в действие исполнительным механизмом (например, гидравлическим, электрическим или электромеханическим исполнительным механизмом).

[0119] В некоторых таких вариантах осуществления демпфер может быть образован массой или инерцией, которые сопряжены с опорным узлом долота только посредством усилия демпфирования или демпфирующим крутящим моментом. Усилие демпфирования может, например и без ограничений, быть сгенерировано с помощью вязкого демпфирования, фрикционного демпфирования, гидравлического демпфирования, магнитного демпфирования (например, демпфирования вихревыми токами), пьезоэлектрического (шунтирующего) демпфирования и т. д. В некоторых таких вариантах осуществления демпфер может быть скомбинирован с пружиной, которая может обеспечивать настроенный инерционный демпфер или настроенный фрикционный демпфер. В этих случаях собственная частота демпфера будет настроена на собственную частоту формы колебаний, которая должна быть демпфирована.

[0120] Как описано выше, анализ показал, что демпфирование пропорционально увеличивается при эффективной вращательной инерции и квадратично увеличивается с нормализованной по массе формой колебаний на долоте. Дополнительный постоянный фактор зависит

от типа демпфирования. Дополнительное фрикционное демпфирование с инерционным демпфером теоретически не зависит от частоты, а гидравлические демпферы в некоторой степени зависят от частот. Этот компромисс также применяется для других типов демпфирования и может влиять на различные параметры сил (например, путем гармонического регулирования нормальной силы для конфигураций фрикционного демпфера, выбора жидкостей, которые имеют свойства, которые изменяют относительную скорость компонентов, и т. д.). Как отмечено, муфта долота или долото представляют собой одно местоположение для инерционного демпфера, которое может оказаться предпочтительным, поскольку критические формы колебаний, как правило, имеют наибольшую амплитуду на долоте (например, как показано на ФИГ. 9В). Одна иллюстративная критическая форма колебаний составляет 248 Гц, имея наибольшую амплитуду на долоте, хотя различные другие формы колебаний/частоты могут быть критическими на основании конкретной конфигурации и скважинных работ. Таким образом, критическая (-ие) форма (-ы) колебаний может (могут) зависеть от различных факторов, а форма колебаний, составляющая 248 Гц, описана только в качестве примера для целей разъяснения. Важно отметить, что возбуждение теоретически также увеличивается квадратично с амплитудой формы колебаний на долоте. Кроме того, величина демпфирования, необходимая для смягчения вибраций, также может увеличиться квадратично с амплитудой формы колебаний на долоте.

[0121] В одном неограничивающем варианте осуществления демпфер расположен в непосредственной близости от долота, но не в составе долота/на нем, при этом фрикционный демпфер может представлять собой замкнутое кольцо любой формы, которое соединено с опорным узлом долота и выполнено с возможностью крутильного вращения. В другом варианте осуществления демпфер может представлять собой линейную массу, которая в тангенциальном направлении присоединена к опорному узлу долота или входит в его состав, и эффективно вызывает вращательное усилие. Несколько отдельных демпферов могут быть установлены и выполнены около опорного узла долота или в его составе (т. е. в непосредственной близости от конца буровой колонны). В другой конфигурации демпфер может быть образован из двух принудительно соединенных частей опорного узла долота, которые присоединены в различных положениях по оси опорного узла долота (например, в непосредственной близости от соединения долота и в непосредственной близости от соединения с приводным валом). Соединение в различных осевых положениях приводит к относительному перемещению между двумя принудительно соединенными частями. Пример такой конфигурации может включать, например, резьбовое соединение с относительными контактными поверхностями.

[0122] Например, обратимся к ФИГ. 23, где показано схематическое представление опорного узла 2300 долота. Опорный узел 2300 долота включает в себя муфту 2302 долота, выполненную с возможностью приема долота в отверстии 2304 для долота. Отверстие 2304 для долота выполнено (например, по форме, размеру и т. д.) с возможностью приема бурового долота или другого устройства дезинтеграции. Как будет понятно специалистам в данной области техники, муфта 2302 долота выполнена с возможностью удержания и, в некоторых конфигурациях, приведения в действие долота, установленного в отверстии 2304 для долота. Долото или другое устройство дезинтеграции может быть выполнено с возможностью резания материала пласта (например, породы) во время операции бурения.

[0123] Как показано, муфта 2302 долота установлена в составе опорного узла 2300 долота на приводной вал 2306. Приводной вал 2306 может вращаться для приведения в действие (например,

вращения) долота, установленного в/на отверстии 2304 для долота. Во время работы крутящий момент бурения передается от приводного вала 2306 на муфту 2304 долота посредством втулки 2308 крутящего момента и гильзы 2310. Резьбовое соединение 2312 создает осевой предварительный натяг между приводным валом 2306 и муфтой 2302 долота. Крутящий момент передается посредством трения между различными компонентами опорного узла 2300 долота, которое может зависеть от осевого поверхностного давления, коэффициентов трения и радиуса контактных поверхностей относительно оси A_x инструмента. Как будет понятно специалистам в данной области техники, первая торцевая поверхность 2314 втулки 2308 крутящего момента, которая контактирует с приводным валом 2306, может быть покрыта слоем, усиливающим трение (например, материалом, содержащим алмаз), который позволяет увеличить передаваемый крутящий момент посредством коэффициента умножения. Вторая торцевая поверхность 2316, обеспечивающая контакт между приводным валом 2306 и муфтой 2302 долота, может быть выполнена с возможностью увеличения момента свинчивания и развинчивания (MUT – англ.: make-up torque). Из-за покрытия на первой торцевой поверхности 2314 не ожидается, что будет наблюдаться перемещение втулки 2308 крутящего момента относительно, например, приводного вала 2306. Гильза 2310 имеет больший радиус, чем втулка 2308 крутящего момента, т. е. относительно оси A_x инструмента, и передаваемый крутящий момент на первой торцевой поверхности 2314 больше, чем на второй торцевой поверхности 2316.

[0124] Типовая конструкция муфты долота или так называемого нижнего приводного вала представляет собой резьбу с контактом на двух торцах, как показано на ФИГ. 23. Однако в некоторых альтернативных конфигурациях муфта, втулка крутящего момента и/или долото могут быть соединены вместе как единая часть/компонент. В таких конфигурациях при выполнении соединения относительное движение происходит на обоих торцах (например, первой и второй торцевых поверхностях 2314, 2316, показанных на ФИГ. 23). Соответственно, на первой торцевой поверхности не представляется возможным применять покрытие, усиливающее трение, как описано выше. Таким образом, это приводит к значительному снижению допустимого крутящего момента вследствие пониженного коэффициента трения и меньшего действующего радиуса.

[0125] Как показано, приводной вал 2306 и втулка 2308 крутящего момента могут быть расположены в инструментальной втулке 2318. Как будет понятно специалистам в данной области техники, инструментальная втулка 2318 может представлять собой невращающуюся или медленно вращающуюся муфту. Инструментальная втулка 2318 может быть выполнена с возможностью взаимодействия или присоединения к КНБК или к другому скважинному узлу и/или инструментальной колонне.

[0126] Как описано выше, в различные аспекты буровой системы могут быть включены различные типы демпферов. В этом иллюстративном варианте осуществления показан опорный узел 2300 долота, причем указанный опорный узел 2300 долота содержит демпферный элемент 2320, иллюстративно показанный как инерция вращения. Демпферный элемент 2320 в этом варианте осуществления разобран с точки зрения вращения с помощью различных подшипников 2322 (например, радиальных, таких как игольчатые подшипники или поликристаллические алмазные (PDC) подшипники и/или упорные подшипники). Демпферный элемент 2320 выполнен с возможностью оставаться свободным и может вращаться на опорном узле 2300 долота (например, относительно муфты 2302

долота и/или втулки 2308 крутящего момента). Влияние демпферного элемента 2320 может быть максимально увеличено за счет материала высокой плотности и геометрической формы с определенными характеристиками. Например, как показано на ФИГ. 23, объем демпферного элемента 2320 может быть выбран и/или оптимизирован в том смысле, что масса демпферного элемента 2320 имеет конкретное или определенное радиальное расстояние от оси A_x инструмента. Например, как показано, подшипники 2322 (и фрикционный контакт) могут быть расположены ближе к оси A_x инструмента в радиальном направлении, чем демпферный элемент 2320, чтобы оставить пространство и оптимизировать гильзу 2310 крышки и демпферный элемент 2320. Такое пространство позволяет гарантировать, что аспекты демпфирующей системы способны выдерживать ожидаемые нагрузки во время работы, а также позволяет выбрать геометрические свойства и материал демпферного элемента 2320 так, чтобы максимально увеличить инерцию вращения и достичь требуемого демпфирования.

[0127] В некоторых вариантах осуществления, как показано, осевая пружина 2324 может быть выполнена с возможностью приложения осевого усилия к демпферному элементу 2320. В этой иллюстративной конфигурации осевая пружина 2324 выполнена с возможностью передачи осевого усилия через подшипник 2322 (например, упорный подшипник) и демпферный элемент 2320 на фрикционную поверхность 2326 между демпферным элементом 2320 и муфтой 2302 долота. В некоторых вариантах осуществления фрикционная поверхность 2326 может быть замещена механизмом демпфирования любого другого вида. Осевое контактное давление и существующий коэффициент трения для фрикционной поверхности 2326 создают фрикционное сопряжение между демпферным элементом 2320 и муфтой 2302 долота. Жесткость осевой пружины 2324 и коэффициент трения на фрикционной поверхности 2326 могут быть выбраны так, чтобы обеспечить достижение максимального демпфирования с точки зрения амплитуды, которое при этом не сокращает срок службы опорного узла 2300 долота и/или установленного в нем долота.

[0128] Как показано на ФИГ. 23, демпферный элемент 2320 заключен в гильзу 2310. Гильза 2310 выбрана таким образом, чтобы выдерживать наружное гидростатическое давление, исходя из толщины стенки, при этом может учитываться внешний диаметр демпферного элемента 2320. В некоторых вариантах осуществления демпферный элемент 2320 (иллюстративно показан как физический компонент) может быть выполнен в форме вязкого демпфера. В некоторых таких вариантах осуществления место установки демпферного элемента 2320 может быть заполнено текучей средой, а компенсация давления может давать возможность для увеличения наружного диаметра демпферного элемента за счет достижения расчетного пространства в размере гильзы и других частей. В качестве неограничивающего примера текучая среда может представлять собой несжимаемую текучую среду. В другом варианте осуществления гильза 2310 может быть опущена. В некоторых таких вариантах осуществления может быть получен максимальный внешний диаметр демпферного элемента, а в некоторых таких вариантах осуществления, вследствие воздействия внешней среды ствола скважины, могут потребоваться демпферные элементы, устойчивые к буровому раствору. В этом контексте инерциальная масса или демпферный элемент могут быть скорректированы для охвата частей изгибающейся нагрузки, которую требуется передавать. Система, подвергающаяся воздействию бурового раствора, может также включать в себя гильзу, которая частично имеет пазы для охвата изгиба с одной

стороны, но также оставляет большее конструктивное пространство для инерционной массы/демпферного элемента, который могут частично заполнить пазы между гильзами.

[0129] В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения в опорном узле долота может быть установлен чисто вращательный демпфер, и такая конфигурация может быть полезна при формах колебаний с высокой амплитудой на самом долоте или в непосредственной близости от него. Некоторые такие компоновки могут предусматривать расположение демпферных элементов с меньшим радиальным расстоянием, т. е. ближе к оси A_x инструмента. Таким образом, меньший радиус демпферного элемента может ограничивать эффект демпфирования, но такое ограничение может быть компенсировано тем, что на опорном узле долота может быть размещена увеличенная масса. Таким образом, выбор массы и радиального положения относительно оси A_x инструмента могут быть определены, исходя из желаемой вибрации или формы колебаний, подлежащих демпфированию, а также исходя из входной энергии ожидаемого возбуждения, которая может быть описана отрицательным демпфированием (например, как показано на ФИГ. 20).

[0130] Достаточная величина демпфирования для сведения к минимуму или устранения вибраций в забойном участке скважины может быть достигнута путем определения положения демпферных элементов в составе опорного узла долота или на нем (например, в составе муфты долота или на ней, или на другой части направляющего узла). Причина заключается в том, что практически во всех случаях нормализованная по массе амплитуда формы колебаний критической формы колебаний является наибольшей на долоте или устройстве дезинтеграции. Это может быть физически объяснено тем, что возбуждение и вероятность того, что возбуждается какая-либо форма колебаний, также увеличивается квадратично с амплитудой формы колебаний на долоте (или в точке возбуждения), если характеристику скорость–снижение крутящего момента на долоте принимают относительно средней скорости вращения. Включение в состав опорного узла долота демпфера/демпферного элемента может накладывать ограничения на длину демпфера/демпферного элемента в осевом направлении. Однако, поскольку демпфирование является высоким из-за высокой амплитуды формы колебаний в долоте или вблизи от долота, демпфер/демпферный элемент может быть относительно коротким и при этом по-прежнему обеспечивать достаточный эффект демпфирования. Демпфер у опорного узла долота может быть меньше 30 см, или 40 см, или 50 см, или 100 см, или 150 см.

[0131] Один тип демпферного элемента, который может быть установлен в составе опорного узла долота или вблизи него в соответствии с настоящим изобретением, представляет собой линейный вязкостный демпфер. Такой демпферный элемент мог бы включать в себя массу и элемент усилия, который передает усилие от опорного узла долота к массе/инерции. Такой демпферный элемент будет иметь элемент силы, который указывает, расположен, или ориентирован в касательном направлении для демпфирования НГТО. Элемент силы может представлять собой линейный вязкостный или фрикционный демпферный элемент, как будет понятно специалистам в данной области техники с учетом идей, представленных в настоящем документе.

[0132] Указанный демпферный элемент 2320 может представлять собой одиночный элемент/конструкцию или множество элементов/конструкций. Например, демпферный элемент 2320 может представлять собой инерционное кольцо или другую конструкцию кольцевого типа, которая может быть замкнутым или прерывистым кольцом, например, полукожухами. В некоторых вариантах

осуществления два полукожуха (или другие частичные кожухи) могут применяться при отсутствии возможности установки полного кольца из-за конструкции или конфигурации долота или опорного узла долота. Полукожухи могут быть собраны вокруг радиального фрикционного контакта или радиального подшипника (например, некоторых из подшипников 2322), которые могут быть расположены относительно внутреннего диаметра демпферного элемента 2320 и могут быть сходными по положению и форме. Подшипник(-и) может(могут) быть разделен(-ы) с возможностью установки подшипников 2322 и/или демпферного элемента 2320. В некоторых вариантах осуществления нормальное усилие может быть приложено через полукожухи, а контролировать его можно за счет упругости полукожухов и приложенного нормального усилия/усилия соединения. В некоторых вариантах осуществления для приложения радиальных усилий трения между, например, полукожухами демпферного элемента и создания радиального трения также могут применяться кожухи с радиальной волнистой пружиной.

[0133] Для демпферного (-ых) элемента (-ов) (например, инерционного кольца) могут быть применены различные геометрические конфигурации, которые могут быть полезны для увеличения инерции. В этом смысле плотность материала, выбранного для демпферного элемента, может быть выбрана как можно более высокой, причем радиус распределения массы находится в большом радиусе относительно продольной оси буровой системы или опорного узла долота. Инерция (или инерционные полукожухи) может включать в себя дополнительные массы (инерции), которые предпочтительно установлены или расположены вокруг опорного узла долота.

[0134] В некоторых вариантах осуществления для предотвращения свободного или непрерывного перемещения демпферного элемента кольцевой конфигурации (например, поворот более чем на 10°) необязательно может быть предусмотрен ограничивающий упор. Нормальные силы между демпферным элементом и муфтой долота или другой частью опорного узла долота могут быть приложены в радиальном или осевом направлении с помощью пружин или других механизмов. Радиальные силы трения могут быть достигнуты посредством пружин или упругой конструкции демпферного элемента кольцевого типа. В некоторых таких вариантах осуществления двойной демпферный элемент полукожуха может быть предварительно нагружен для достижения требуемой силы трения. Осевая нормальная сила может быть обеспечена за счет пружин, причем вес массы/инерция в вертикальном стволе скважины и пружины могут быть выполнены в виде кожухов и т. д. Материал опорного узла долота может представлять собой стальной корпус или основание (например, из композитных материалов). Для разобщения потенциальной нормальной силы пакета пружин и вращательного движения инерционной массы может быть применен упорный подшипник.

[0135] В некоторых вариантах осуществления в муфте долота или другой части опорного узла долота могут быть применены тангенциальные демпферные элементы. Демпферы для тангенциального демпфирования могут быть установлены в положение со значительным радиусом относительно продольной оси буровой системы (например, в радиальном направлении относительно оси A_x инструмента).

[0136] В случае демпферов, которые установлены со свободным перемещением в тангенциальном направлении (направлении тангенциального ускорения), могут быть применены (стальные) трубы, которые ввинчены в опорный узел долота. Тангенциальные демпферы могут быть собраны в трубы, содержащие механизм для приложения нормальных усилий между инерционной

массой (например, демпферным элементом) и опорным узлом (например, муфтой долота), предпочтительно перпендикулярно тангенциальному направлению. В некоторых вариантах осуществления тангенциальные демпферные элементы могут быть установлены в составе соответствующего корпуса или являться его частью, который может быть прикреплен к муфте долота или другой части опорного узла долота, например, посредством резьбовых соединений. Указанные корпуса могут иметь любую геометрическую конфигурацию и могут быть установлены в различных положениях на опорном узле долота.

[0137] Как описано выше, в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, описан демпферный элемент или узел, который состоит, в некоторых конфигурациях, из вращательного инерционного демпферного элемента, который может быть сопряжен с буровой системой только посредством демпфирующего усилия или момента в верхней части приводного вала. Как будет понятно специалистам в данной области техники и с учетом идей, представленных в настоящем документе, демпфирующее усилие может быть создано, например, за счет вязкостного демпфирования, фрикционного демпфирования, пьезоэлектрического или магнитного демпфирования, например, с помощью вихревых токов и т. д. В некоторых вариантах осуществления демпферный элемент может быть объединен с пружиной, которая может обеспечивать демпфер с настраиваемой массой или демпфер с настраиваемым трением. В некоторых таких вариантах осуществления собственная частота демпфера и элементы с корректируемым усилием, которые обеспечивают жесткость (например, пружина) и демпфирующую способность, могут быть настроены на собственную частоту формы колебаний, которую требуется демпфировать.

[0138] Долото соединено с опорным узлом (например, муфтой долота), имеющим демпферный элемент, как описано выше. В некоторых конфигурациях между нижним приводным валом и опорным узлом долота может быть применено другое резьбовое соединение, которое позволяет необязательное включение фрикционного демпфера с инерционным кольцом. Демпферный элемент может быть защищен гильзой, которая соединена за счет трения в верхнем и нижнем концах. Гильза не обязательно обеспечивает демпфирование, поскольку нормальные усилия теоретически предотвращают проскальзывание между контактными поверхностями между гильзой и другими компонентами опорного узла долота (например, муфтой долота и инструментальной втулкой). Усилия трения определяются коэффициентом трения и нормальным усилием, которое создано резьбовым соединением между нижним приводным валом и опорным узлом долота.

[0139] В соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения, демпферный элемент (например, инерционный демпфер) представляет собой кольцо, расположенное под гильзой. Демпферный элемент способен свободно вращаться относительно буровой системы, опорного узла долота или других конструкций. В некоторых вариантах осуществления массив демпферного элемента может быть выполнен из немагнитного материала, чтобы предотвратить взаимодействие и/или помехи при измерениях, выполняемых с помощью магнитометра, который может быть размещен в непосредственной близости от долота и/или опорного узла долота. Аналогичным образом, материал демпферного элемента может быть выбран таким образом, чтобы свести к минимуму или предотвратить отрицательное влияние на измерения с целью оценки пласта или другие измерения или операции в забое. Как отмечено выше, в некоторых вариантах осуществления демпферный элемент

может опираться на радиальный подшипник, который лишен трения или практически лишен трения. Демпферный элемент (например, инерционное кольцо) выполнен с возможностью взаимодействия с буровой системой через фрикционные поверхности, например, на контактной или другой поверхности между демпферным элементом и опорным узлом долота (например, фрикционной поверхностью 2326, показанной на ФИГ. 23). В некоторых вариантах осуществления различные фрикционные поверхности выровнены в осевом направлении. Нормальное усилие к фрикционной поверхности прикладывается от осевой пружины (например, осевой пружиной 2324, показанной на ФИГ. 23). Коэффициент трения зависит от свойств материалов взаимодействующих поверхностей. В некоторых вариантах осуществления осевая пружина может быть разобщена с точки зрения вращательного движения с инерцией с помощью упорного подшипника.

[0140] На ФИГ. 24–25 представлены схематические изображения демпферных элементов 2400, 2500. Демпферные элементы 2400, 2500 выполнены с возможностью установки внутри опорного узла долота, как описано выше. Каждый демпферный элемент 2400, 2500 содержит соответствующий корпус 2402, 2502 для размещения и содержания компонентов соответствующих демпферных элементов 2400, 2500. Первый демпферный элемент 2400 имеет по существу прямоугольную геометрическую конфигурацию (с изогнутыми углами), а второй демпферный элемент 2500 имеет по существу круглую геометрическую конфигурацию. Корпуса 2402, 2502 выполнены с возможностью установки в опорном узле долота (например, как показано на ФИГ. 23).

[0141] Каждый из демпферных элементов 2400, 2500 содержит массовый элемент 2404, 2504, установленный с возможностью перемещения внутри корпусов 2402, 2502. Массовый элемент 2404, 2504 расположен между монтажным элементом 2406, 2506 и контактным элементом 2408, 2508. Монтажные элементы 2406, 2506 выполнены с возможностью приложения силы к соответствующему массовому элементу 2404, 2504 по направлению к контактным элементам 2408, 2508. Таким образом, между соответствующим массовым элементом 2404, 2504 и контактными элементами 2408, 2508 может быть достигнут фрикционный контакт. Массовые элементы 2404, 2504 могут быть расположены с одним или более ограничивающими упорами 2410, 2510 внутри соответствующих корпусов 2402, 2502. Ограничивающие упоры 2410, 2510 могут включать необязательную жесткость или гидравлические элементы для демпфирования перемещения массовых элементов 2404, 2504.

[0142] Кроме того, ограничивающие упоры 2410, 2510 могут предотвращать застревание массовых элементов 2404, 2504 одного края корпуса 2402, 2502. Ограничивающие упоры 2410, 2510 могут быть выполнены с пружинами или другими элементами, чтобы избежать повреждения массовых элементов 2404, 2504 и прижимать массовые элементы 2404, 2504 к среднему положению или положению покоя относительно корпуса. В некоторых вариантах осуществления может быть предпочтительно оптимизировать жесткость пружины и/или зазор в корпусе 2402, 2502, чтобы позволить массовым элементам 2404, 2504 перемещаться внутри корпуса 2402, 2502. Демпферные элементы 2400, 2500 могут быть расположены в виде вставок (например, корпус 2402, 2502 выполнен с возможностью установки). Вставляемые демпферные элементы 2400, 2500 могут быть установлены таким образом, чтобы массовые элементы 2404, 2504 размещались в положении значительного радиуса относительно оси (например, продольной оси) буровой системы для увеличения вращательной инерции относительно этой оси, чтобы увеличить эффективность демпфирования.

[0143] Монтажный элемент 2406, 2506 выполнен с возможностью приложения нормальной силы к массовым элементам 2404, 2504. Например, монтажный элемент 2406, 2506 может быть расположен в виде пружинных кожухов для прижимания массовых элементов 2404, 2504 с вхождением в контакт с контактным элементом 2408, 2508. Кроме того, монтажные элементы 2406, 2506 и/или контактные элементы 2408, 2508 могут быть выполнены с возможностью управления тангенциальным перемещением массовых элементов 2404, 2504 для обеспечения демпфирования НФТО. В некоторых вариантах осуществления монтажные элементы 2406, 2506 прижимают массовые элементы 2404, 2504 с вхождением в контакт с контактным элементом 2408, 2508 для создания силы трения. Сила трения прикладывается, например, через материал, который полезен относительно коэффициента трения и ожидаемого износа, который должен быть максимально низким.

[0144] В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения может быть достигнута интеграция демпфирования в опорный узел долота. Демпфирование может быть применено посредством любой осевой, тангенциальной и/или радиальной силы или соответствующего крутящего момента, способного рассеивать энергию. В случае связанных форм колебаний демпфирующие силы в осевом направлении также способны рассеивать энергию от направления скручивания. Как описано для фрикционного демпфирования, контактирующие поверхности, применяемые с коэффициентом трения и нормальной силой, могут быть оптимизированы и/или выбраны для демпфирования одной или более критических форм колебаний. В некоторых вариантах осуществления для предотвращения износа (например, медных или поликристаллических алмазных долот) могут применяться полезные материалы или конструкции. Для настройки системы с выгодным коэффициентом или характеристикой трения можно применять множество контактов с различными свойствами. В некоторых вариантах осуществления демпферный элемент выполнен с возможностью перемещения относительно опорного узла долота со скоростью, которая представляет собой сумму периодических изменений скорости, имеющих амплитуду и среднюю скорость, причем средняя скорость ниже амплитуды периодических изменений скорости.

[0145] В зависимости от вида прилагаемой силы возможны различные конфигурации. Как описано выше, на ФИГ. 2 представлена характеристика типичной силы для фрикционных контактов. Характеристика силы имеет эффект снижения скорости для относительных скоростей, которые не близки к нулю. Как описано выше, гармоническое или периодическое относительное перемещение между двумя элементами приведет к подаче энергии в систему. Кроме того, как описано выше, демпфирование в этом случае эффективно только при относительном перемещении взаимодействующих поверхностей, близком к нулю (например, точка 204 на ФИГ. 2). Альтернативным (или в комбинации с фрикционным демпфером) может быть вязкий демпфер.

[0146] Далее в соответствии с ФИГ. 26 показан иллюстративный график 2600 зависимости различных характеристик крутящего момента (T)/усилия (F) вязких флюидов от относительного смещения ((e, x)) (например, относительное перемещение/скорость) между двумя частями, которые связаны посредством связывающего усилия некоторого вида. На этом графике кривая 2602 представляет свойства ньютоновской жидкости, кривая 2604 представляет свойства неньютоновской жидкости сдвигового разжижения, а кривая 2606 представляет свойства неньютоновской жидкости сдвигового загущения. Хотя график 2600 иллюстрирует жидкости, такие принципы могут применяться к другим

типам демпферов, таким как бесконтактное демпфирование (например, демпфирование с помощью вихревых токов). На графике 2600 кривая 2602 включает в себя точки 1, 2, 3, кривая 2604 включает в себя точки 4, 5, 6, а кривая 2606 включает в себя точки 7, 8, 9. Точки 1–9 представляют различия в зависимости крутящего момента T или силы F от относительного смещения $((e,)'x)$.

[0147] На графике 2600 наклон кривых 2602, 2604, 2606, например, в точках 1–9, является положительным, а относительное перемещение (включая среднюю скорость $(e,)'x$ в этой точке и изменение относительного смещения, скорости или ускорения по отношению к принудительно соединенным частям, которое вызвано периодическим наложенным колебанием, например, вызванным высокочастотными крутильными колебаниями) относительно этих точек обеспечивает демпфирование системы. Относительное перемещение может, например, происходить между одной частью, которая соединена со стенкой ствола скважины, например, путем трения прихватавания в тангенциальном направлении, как происходит с невращающейся муфтой направляющего механизма. Два взаимодействующих объекта, которые принудительно соединены согласно характеристике этого типа, также могли бы обеспечивать демпфирование высокочастотных крутильных колебаний, если применить положительную среднюю скорость вращения. Недостаток заключается в том, что такой тип характеристики также приведет к средней статической силе (T, F на ФИГ. 26 и соответствующей точкам 1–9) от контактирующих поверхностей, которая снижает мощность от вращения, которую можно применять для разрушения породы. То есть демпфер действует как тормоз для вращения скважинной системы. Таким образом, в указанных случаях может потребоваться более высокая мощность на наземной системе вращения, которая приводит в действие режущую функцию долота.

[0148] Необходимый демпфирующий эффект линейно зависит от наклона различных кривых крутящего момента в зависимости от относительного смещения, которые могут называться коэффициентом вязкостного демпфирования $d (d_1-d_0)$ на ФИГ. 26 и увеличиваются квадратично с нормализованной по массе амплитудой формы колебаний, например, как показано на ФИГ. 9В. Статическая рассеиваемая энергия от постоянного относительного перемещения также линейно увеличивается с коэффициентом вязкого демпфирования d . Поскольку амплитуда формы колебаний является очень локализованной и очень высокой на долоте, и, следовательно, относительное перемещение между двумя принудительно соединенными поверхностями, как описано выше, является высоким, статическое рассеивание энергии также является высоким, и демпфирование является эффективным. В результате локализованной и высокой амплитуды формы колебаний длина демпфера может быть относительно небольшой (например, в осевом направлении). Сила торможения относительно короткого демпфера меньше силы торможения относительно более длинного демпфера. Таким образом, компромиссное соотношение между демпфированием, которое обеспечено динамически, например, для смягчения высокочастотных крутильных колебаний, и (нежелательное) статическое рассеивание энергии, является особенно подходящим вблизи долота или опорного узла долота.

[0149] Обратимся теперь к ФИГ. 27, где показан опорный узел 2700 долота, имеющий демпферный элемент 2701 в форме вязкостного демпфера или демпфера на вихревых токах. Опорный узел 2700 долота может быть аналогичен тому, который показан и описан выше, имеющему муфту 2702 долота, прикрепленную к приводному валу 2706, причем муфта 2702 долота выполнена с отверстием

2704 для долота, предназначенным для приема долота или другого устройства дезинтеграции. Приводной вал 2706 и втулка 2708 крутящего момента могут быть размещены внутри инструментальной втулки 2718. Как будет понятно специалистам в данной области техники, инструментальная втулка 2718 может представлять собой невращающуюся или медленно вращающуюся муфту. Инструментальная втулка 2718 может быть выполнена с возможностью взаимодействия или присоединения к КНБК или к другому скважинному узлу и/или инструментальной колонне, например, направляющему механизму. Как будет понятно специалистам в данной области техники, в этом варианте осуществления, как показано, инструментальная втулка 2718 может входить в контакт со стенкой 2750 ствола скважины с применением элемента 2752 приложения усилия, такого как ребро или множество ребер, удлинительных устройств и т. д. Инструментальная втулка может включать в себя, например, три элемента приложения усилия. Указанный узел также может включать в себя какой-либо тип невращающегося стабилизатора, известного в данной области техники.

[0150] Втулка 2708 крутящего момента и приводной вал 2706 будут вращаться для приведения в действие муфты 2702 долота и, таким образом, долота или устройства дезинтеграции, установленных в ней. Однако инструментальная втулка 2718 может быть принудительно соединена со стенкой 2750 ствола скважины с помощью элемента 2752 приложения усилия. В некоторых неограничивающих вариантах осуществления элемент 2752 приложения усилия может представлять собой направляющее устройство, которое прикладывает усилия для изменения направления бурения. В результате инструментальная втулка 2718 имеет среднюю скорость вращения, близкую к нулю. Кроме того, элемент 2752 приложения усилия разобщен с динамической составляющей высокочастотных крутильных колебаний, которая возбуждается устройством дезинтеграции, поскольку между втулкой 2708 крутящего момента и инструментальной втулкой 2718 применяют подшипники или любое другое устройство(-а) для разобщения.

[0151] Втулка 2708 крутящего момента подвергается нагрузке от высокочастотных крутильных колебаний, которая представляет собой гармонические или периодические смещение, скорость или ускорение и динамический крутящий момент. Таким образом, динамическое относительное перемещение из-за высокочастотных крутильных колебаний накладывается на среднее относительное перемещение между втулкой 2708 крутящего момента и инструментальной втулкой 2718. Это динамическое относительное перемещение можно применять для демпфирования высокочастотных крутильных колебаний внутри опорного узла 2700 долота. Усилие демпфирования обеспечивается демпферным элементом 2701 и может быть отрегулировано по всей окружности или только на конкретных частях диаметра и может быть принудительно связано с втулкой 2708 крутящего момента и инструментальной втулкой 2718 посредством устройства демпфирующего усилия с характеристикой, аналогичной той, которая описана со ссылкой на ФИГ. 26. Более конкретно, в рабочих точках 1-9 на ФИГ. 26 требуется положительный наклон по отношению к относительной скорости (ось x) и передаваемого усилия или крутящего момента. Такое поведение не ограничено гидравлическим демпфированием, но может быть достигнуто с помощью любых других усилий демпфирования или комбинацией усилий демпфирования, как описано в настоящем документе. Таким образом, демпферный элемент 2701 может представлять собой, но не ограничиваясь этим, вязкостный или гидравлический демпфер. Например, может быть применен демпфер на вихревых токах, который имеет чисто линейную

связь между крутящим моментом и относительной скоростью, аналогично ньютоновским жидкостям (кривая 2602, показанная на ФИГ. 26). В этом контексте для демпфирования системы могут применяться две части, которые принудительно соединены, со средней относительной скоростью, близкой к нулю или не равной нулю, или без нее, если относительное перемещение имеет динамическую составляющую от колебаний, связанных с высокочастотными крутильными колебаниями. В этом примере одна из двух принудительно соединенных частей имеет нулевую динамическую составляющую, поскольку она представляет собой приближение, отделенное от динамического перемещения опорного узла долота, приводного вала или аналогичных деталей, которые передают крутящий момент. Часть энергии от крутильных колебаний может быть передана на инструментальную втулку 2718 посредством усилия демпфирования на демпферном элементе 2701. Таким образом, может быть выгодно разработать инструментальную втулку 2718 или другой компонент/часть (например, инструментальной колонны, скважинной колонны, буровой системы, КНБК и т. д.), которые не будут чрезмерно вибрировать в составе этих механизмов, например, за счет другой частоты свободных колебаний или первой частоты свободных колебаний, которая выше, чем у высокочастотных крутильных колебаний, частоты свободных колебаний забойного узла или буровой системы.

[0152] Таким образом, одна форма демпфирования, которая может быть применена в вариантах осуществления настоящего изобретения, представляет собой гидравлическое демпфирование. Такое гидравлическое демпфирование может быть реализовано с помощью системы, которая либо входит в состав муфты долота, либо расположена в непосредственной близости от опорного узла долота или в других положениях в его составе. В некоторых таких вариантах осуществления вязкая текучая среда (например, вязкая текучая среда в камерах) может быть расположена и установлена в аналогичных положениях, как описано выше. В некоторых таких применениях напряжения (сдвига) во флюиде между инерционным кольцом/массой и опорным узлом долота могут быть выбраны для достижения (демпфирующей) силы, тангенциальной к тангенциальному ускорению и связанному гармоническому перемещению для демпфирования высокочастотных крутильных колебаний. В случае сдвига кольца текучая среда обеспечивает демпфирующую силу между инерционным кольцом и опорным узлом долота (например, муфтой долота). В этом случае для кольца может потребоваться закрытый корпус и, возможно, четко определенная геометрическая конфигурация зазоров между кольцом и корпусом, что может быть достигнуто за счет применения указанной гильзы. При гидравлическом демпфировании силы вязкого демпфирования чувствительны к изменениям параметров зазоров и вязкому флюиду. Таким образом, может быть предпочтительным нечувствительный к температурам флюид. Для достижения полезного режима можно применять флюиды с различными напряжениями сдвига в зависимости от скорости сдвига. Некоторые такие иллюстративные флюиды включают в себя, без ограничений, ньютоновские жидкости, неньютоновские жидкости (например, разбавители, жидкости, загустевающие при сдвиге или разжижающиеся при сдвиге), псевдопластические, бингамовские пластические, бингамовские псевдопластические жидкости и т. д.

[0153] Кроме того, в некоторых вариантах осуществления можно применять магнитное демпфирование. Магнитное демпфирование может быть достигнуто с помощью постоянного магнита (например, установленного на инерциальном кольце или массовом элементе), которому разрешено перемещаться относительно катушки и который может быть применен для демпфирования НФТО. В

зависимости от магнитного принципа характеристика демпфирующей силы аналогична гидравлической силе (например, путем вихревых токов) или силе трения (гистерезис). В некоторых таких конфигурациях сила будет действовать в направлении тангенциального ускорения или в любом другом направлении, которое может приводить к демпфированию в направлении скручивания или в направлении, которое должно быть демпфировано.

[0154] Кроме того, в некоторых вариантах осуществления для предотвращения НФТО на долоте могут применяться принципы пьезоэлектрического демпфирования. Можно применять пьезоэлектрический материал, соединенный с инерционным кольцом или тангенциальной массой с одной стороны, и опорным узлом долота с другой стороны. Электроды пьезоэлектрического материала могут быть соединены с цепью, включающей в себя катушки, резисторы и конденсаторы или полуактивные или активные электронные компоненты. Комбинацию электрических компонентов можно применять для достижения полезных характеристик демпфирования между инерционным кольцом и опорным узлом долота. Цепь может быть отрегулирована до частоты свободных вибраций системы для работы в качестве настроенного инерционного демпфера (т. е. для одной или более требуемых форм колебаний). Резистор может быть выполнен с возможностью прямого рассеивания энергии, если пьезоэлектрический блок деформируется относительной силой между массовым элементом и опорным узлом долота. Кроме того, жесткость пьезоэлектрического материала и масса инерционного кольца также могут быть настроены на конкретную частоту. Электроды пьезоэлектрического материала могут быть выполнены с возможностью демпфирования крутильных вибраций. Направление демпфирующих сил может отличаться от направления электродов с применением эффекта благоприятного преобразования из механической силы в электрический сигнал, который предложен конструкцией пьезоэлектрического элемента. Хорошо известные эффекты пьезоэлектрических коэффициентов представляют собой D_{33} (электроды в направлении силы), D_{31} (перпендикулярно направлению силы) и D_{15} (напряжения сдвига). Пьезоэлектрический материал может быть размещен для оптимизации или контроля сопряжения между механической и электрической системой для конкретной формы колебаний или множества форм колебаний, которые являются критическими для высокочастотных крутильных колебаний. Кроме того, различные материалы, в которых механическая сила или напряжение или связанные нагрузки преобразуются в электрические сигналы, могут применяться без отступления от объема настоящего изобретения.

[0155] Дополнительно, внутреннее демпфирование и полученные силы материалов могут быть применены для уменьшения НФТО. Таким образом, демпфирование материала может быть достигнуто пассивным образом за счет демпфирующих свойств высокодемпфирующих материалов. Некоторые такие материалы могут включать в себя, без ограничений, полимеры, эластомеры, резины и т. п., а также эффект демпфирования многофункциональных материалов, таких как сплавы с запоминанием формы. На свойства материала некоторых материалов, таких как сплавы с запоминанием формы, можно активно влиять или их можно контролировать для достижения большего эффекта демпфирования.

[0156] Другие конфигурации демпфирования возможны без отступления от объема настоящего изобретения. Например, могут быть применены отрицательные емкости и полуактивные компоненты с помощью методов переключения. Могут быть применены дополнительные методы и компоненты демпфирования, и описанные выше варианты осуществления и вариации приведены для

иллюстративных и пояснительных целей и не предназначены для ограничения. Все принципы демпфирования, описанные в настоящем документе, можно регулировать для работы в качестве настроенного инерционного демпфера путем добавления механических пружин, отрегулированных до конкретной частоты, и путем добавления демпфирования любого типа. Кроме того, один или более принципов демпфирования, описанных в настоящем документе (или других способов/механизмов), можно комбинировать в многоосновной конфигурации. Например, инерционные демпферы кольцевого типа можно комбинировать с тангенциальными массовыми инерционными демпферами, установленными внутри лопастей устройства дезинтеграции или прикрепленными к ним. Кроме того, можно комбинировать магнитные, гидравлические, фрикционные, пьезоэлектрические силы и принципы, а также силы и принципы демпфирования материала для достижения надежного эффекта демпфирования, например в отношении температуры.

[0157] Как описано выше, один или более демпферных элементов могут быть интегрированы в муфту долота или другую часть опорного узла долота. Например, демпфер кольцевого типа может быть расположен в составе опорного узла долота или возле него, как показано и описано. В некоторых конфигурациях инерционное кольцо демпфера может быть смазано промывочной жидкостью или покрыто конструкцией муфты. В некоторых конфигурациях можно применять закрытое или сплошное кольцо. В других конфигурациях частичные дуги могут быть собраны возле опорного узла долота (например, их можно установить, если кольцо не может быть собрано иным образом). В некоторых таких вариантах осуществления можно применить две полукольцевые дуги. В других вариантах осуществления, более двух кольцевых дуг можно применить для образования конструкции полного (продольного) кольцевого кожуха или менее чем полного (продольного) кольцевого кожуха в зависимости от конкретной применяемой конфигурации.

[0158] В некоторых вариантах осуществления может быть применена конструкция разрезного кольца, в которой дискретные массы расположены возле участка опорного узла долота. В другом примере полная кольцевая конструкция может быть расположена возле опорного узла долота, но конкретные дополнительные массовые элементы или элементы кольца могут быть расположены относительно конкретных частей долота, которое установлено на опорный узел долота (например, лопастей долота, установленного в муфте долота). Один из таких примеров может иметь относительно толстое кольцо в положении относительно лопастей долота, установленного в муфту долота, и меньшую толщину, чтобы обеспечить возможность прохождения потока обломков выбуренной породы вдоль опорного узла долота.

[0159] В некоторых вариантах осуществления для демпферного элемента кольцевого типа может быть предусмотрен ограничивающий упор, который может препятствовать свободному перемещению кольца по окружности опорного узла долота. Такой ограничивающий упор может быть предусмотрен в вариантах осуществления, в которых масса или более высокая масса расположена за или рядом с конкретными лопастями или другими режущими элементами долота, установленного в муфте долота. В таких случаях ограничивающий упор может гарантировать, что масса или увеличенная масса остаются в положении относительно режущих элементов.

[0160] Следует понимать, что демпфирующие элементы трения фрикционного типа по настоящему изобретению могут применять радиальные и/или осевые силы трения. Радиальные силы

трения могут быть достигнуты за счет пружин или упругой конструкции инерционного кольца, которая имеет два полукожуха и является предварительно нагруженной. Осевая нормальная сила может быть достигнута посредством пружин, причем вес массы/инерции в вертикальном стволе скважины и/или пружины могут быть выполнены в виде кожухов и т. д. Материал опорного узла долота может представлять собой сталь, или матричный композит, или другой подходящий материал. В некоторых вариантах осуществления для обеспечения перемещения инерциального кольца в радиальном направлении может применяться подшипник. Таким образом, может быть обеспечен подшипник для обеспечения окружного и/или тангенциального перемещения демпферного элемента. Осевой подшипник может быть применен для отделения комплекта пружины потенциальной нормальной силы от вращательного движения.

[0161] В некоторых вариантах осуществления, как альтернатива демпферному элементу кольцевого типа или в комбинации с ним, могут быть реализованы тангенциальные демпферные элементы, входящие в состав или установленные на других частях опорного узла долота. В некоторых таких вариантах осуществления тангенциальные демпферные элементы могут быть установлены внутри корпусов, которые ввинчиваются в опорный узел долота (например, в муфту долота). В некоторых таких конфигурациях могут быть обеспечены один или более ограничивающих упоров для предотвращения прихвата тангенциальных демпферов на краю или углу корпуса. Контакт между ограничивающим упором и массой тангенциального демпфера может быть достигнут с помощью пружин или других смещающих элементов или конструкций. В некоторых вариантах осуществления жесткость пружины или зазор в корпусе может быть выбран таким образом, чтобы обеспечить возможность перемещения массы тангенциального демпфера внутри корпуса и, таким образом, обеспечения демпфирования вибраций, как описано выше.

[0162] Также могут быть применены элементы регулирования, которые изменяют свойства контакта между контактирующими элементами в опорном узле долота. Например, нормальную силу можно регулировать в фрикционном контакте. Зазор между двумя взаимодействующими поверхностями, которые обеспечивают демпфирование посредством относительного перемещения, может быть увеличен или уменьшен для изменения свойств демпфирования. Например, в случае магнитного демпфирования, величина демпфирования зависит от размера зазора, например, на демпферном элементе 2701, показанном на ФИГ. 27. Регулировка возможна для всех параметров, влияющих на демпфирование, и не ограничивается температурой, геометрией и/или электрическим полем. Кроме того, эффективность демпфирующего устройства может быть измерена посредством нагрузки и ускорения или с помощью других устройств измерения вибрации, а полученные данные, по мере необходимости, могут быть переданы в контур обратной связи для обеспечения дополнительной регулировки параметров демпфирования.

[0163] Соответственно, варианты осуществления настоящего изобретения относятся к определению положения демпфирующей системы, такой как демпфер кольцевого типа или тангенциальный демпфер, возле или в составе опорного узла долота скважинной системы. Путем определения положения демпфирующей системы возле или в составе опорного узла долота можно достичь улучшенного демпфирования высокочастотных крутильных колебаний или других форм вибрации.

[0164] Вариант осуществления 1. Система для демпфирования крутильных колебаний скважинных систем, причем такая система содержит: скважинную колонну; опорный узел долота, выполненный с возможностью крепления и приема устройства дезинтеграции, в котором указанное устройство дезинтеграции расположено на конце скважинной колонны и установлено на опорном узле долота; и демпфирующую систему, выполненную по меньшей мере с возможностью одного из: установки на опорном узле долота или в его составе, причем указанная демпфирующая система содержит по меньшей мере один демпферный элемент, выполненный в контакте с участком опорного узла долота.

[0165] Вариант осуществления 2. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой демпферный элемент выполнен с возможностью перемещения, по меньшей мере частичного, относительно опорного узла долота со скоростью, которая представляет собой сумму периодических изменений скорости, имеющих амплитуду и среднюю скорость.

[0166] Вариант осуществления 3. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой устройство дезинтеграции представляет собой долото, которое сцепляется с муфтой долота опорного узла долота.

[0167] Вариант осуществления 4. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой опорный узел долота содержит: приводной вал; втулку крутящего момента, в которой муфта долота входит в контакт с возможностью вращения с приводным валом, при этом втулка крутящего момента выполнена с возможностью рабочего контакта с приводным валом.

[0168] Вариант осуществления 5. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой муфта долота соединена с приводным валом посредством резьбового соединения.

[0169] Вариант осуществления 6. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, дополнительно содержащая инструментальную втулку, расположенную снаружи относительно втулки крутящего момента, причем по меньшей мере один демпферный элемент расположен между втулкой крутящего момента и инструментальной втулкой.

[0170] Вариант осуществления 7. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой по меньшей мере один демпферный элемент расположен на опорном узле долота.

[0171] Вариант осуществления 8. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой по меньшей мере один демпферный элемент представляет собой конструкцию кольцевого типа, расположенную по окружности возле опорного узла долота.

[0172] Вариант осуществления 9. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой конструкция кольцевого типа содержит два полукружка, размещенных возле опорного узла долота.

[0173] Вариант осуществления 10. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, дополнительно содержащая гильзу, расположенную снаружи относительно по меньшей мере одного демпферного элемента таким образом, что по меньшей мере один демпферный элемент расположен между гильзой и опорным узлом долота.

[0174] Вариант осуществления 11. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, дополнительно содержащая по меньшей мере один подшипник, выполненный с возможностью разобщения с точки зрения вращательного движения по меньшей мере части, по меньшей мере одного демпферного элемента относительно движения опорного узла долота.

[0175] Вариант осуществления 12. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой по меньшей мере один подшипник содержит по меньшей мере один из радиального подшипника и упорного подшипника.

[0176] Вариант осуществления 13. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, дополнительно содержащая осевую пружину, выполненную с возможностью принуждения по меньшей мере части по меньшей мере одного демпферного элемента к фрикционному сцеплению с опорным узлом долота.

[0177] Вариант осуществления 14. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой по меньшей мере один демпферный элемент представляет собой тангенциальный демпферный элемент.

[0178] Вариант осуществления 15. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой опорный узел долота содержит направляющий механизм.

[0179] Вариант осуществления 16. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой по меньшей мере один демпферный элемент дополнительно содержит ограничивающий упор, выполненный с возможностью предотвращения вращения по меньшей мере одной части по меньшей мере одного демпферного элемента вокруг опорного узла долота.

[0180] Вариант осуществления 17. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой указанная демпфирующая система выполнена с возможностью обеспечения по меньшей мере одного из вариантов демпфирования на опорном узле долота: вязкостное демпфирование, фрикционное демпфирование, гидравлическое демпфирование, пьезоэлектрическое демпфирование, демпфирование вихревыми токами и магнитное демпфирование.

[0181] Вариант осуществления 18. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой скважинная колонна представляет собой буровую колонну, в которой указанный опорный узел установлен на конце буровой колонны.

[0182] Вариант осуществления 19. Способ демпфирования крутильных колебаний скважинной системы в стволе скважины, причем указанный способ содержит: установку демпфирующей системы по меньшей мере в одном из вариантов: на опорном узле долота или в его составе, который расположен на скважинной колонне скважинной системы, причем опорный узел долота имеет прикрепленное к нему устройство дезинтеграции, при этом указанная демпфирующая система содержит: по меньшей мере один демпферный элемент, расположенный в контакте с участком опорного узла долота, причем по меньшей мере часть демпферного элемента перемещается относительно опорного узла долота со скоростью, которая представляет собой сумму периодических колебаний скорости, имеющих амплитуду и среднюю скорость.

[0183] Вариант осуществления 20. Способ по любому из предшествующих вариантов осуществления, в котором по меньшей мере один демпферный элемент содержит конструкцию кольцевого типа, установленную возле опорного узла долота.

[0184] В поддержку идей, представленных в настоящем документе, можно применять различные компоненты анализа, включая цифровую и/или аналоговую систему. Например, контроллеры, компьютерные системы обработки и/или системы геонавигации, представленные в настоящем документе, и/или применяемые с вариантами осуществления, описанными в настоящем документе, могут включать в себя цифровые и/или аналоговые системы. Системы могут иметь такие компоненты, как процессоры, носители данных, запоминающее устройство, входы, выходы, линии связи (например, проводные, беспроводные, оптические или другие), пользовательские интерфейсы, программные продукты, процессоры сигналов (например, цифровые или аналоговые) и другие подобные компоненты (например, такие как резисторы, конденсаторы, индукторы и другие) для обеспечения работы и анализа устройства и способов, описанных в настоящем документе, в любом из нескольких способов, хорошо изученных в данной области техники. Считается, что эти идеи могут быть, но не обязательно, реализованы в сочетании с набором исполняемых компьютером команд, хранящихся на энергонезависимом машиночитаемом носителе, включая запоминающее устройство (например, ПЗУ, ОЗУ), оптическое устройство (например, CD-ROM) или магнитное устройство (например, диски, жесткие диски) или любой другой тип устройств, который при выполнении приводит компьютер к реализации способов и/или процессов, описанных в настоящем документе. Эти команды могут обеспечивать работу оборудования, управление, сбор данных, анализ и другие функции, которые считаются значимыми разработчиком системы, ее владельцем, пользователем или другим подобным персоналом, в дополнение к функциям, описанным в настоящем описании. Обработанные данные, такие как результат реализованного способа, могут быть переданы в виде сигнала посредством интерфейса вывода процессора в устройство приема сигнала. Устройство приема сигнала может представлять собой экранный монитор или принтер для представления результата пользователю. Альтернативно или дополнительно устройство приема сигнала может представлять собой запоминающее устройство или носитель данных. Следует понимать, что сохранение результата в запоминающем устройстве или носителе данных может преобразовывать запоминающее устройство или носитель данных в новое состояние (т. е. содержащее результат) из предшествующего состояния (т. е. не содержащего результат). Кроме того, в некоторых вариантах осуществления предупредительный сигнал может передаваться от процессора на пользовательский интерфейс, если результат превышает пороговое значение.

[0185] Кроме того, могут быть включены и описаны различные другие компоненты для обеспечения аспектов идей, представленных в настоящем документе. Например, датчик, передатчик, приемник, приемопередатчик, антенна, контроллер, оптический блок, электрический блок и/или электромеханический блок могут быть включены в поддержку различных аспектов, описанных в настоящем документе, или в поддержку других функций, отклоняющихся от объема настоящего описания.

[0186] Использование форм единственного и множественного числа и аналогичных отсылок в контексте описания изобретения (особенно в контексте представленной ниже формулы изобретения) следует понимать как охватывающее как единственное, так и множественное число, если в настоящем документе не указано иное или если это явно не противоречит контексту. Дополнительно следует отметить, что термины «первый», «второй» и т. п. в настоящем документе не означают какой-либо порядок, количество или важность, а использованы для различения одного элемента от другого.

Определение «около», используемое в связи с каким-либо количеством, включает указанную величину и имеет значение, определяемое контекстом (например, включает степень ошибки, связанной с измерением определенного количества).

[0187] Следует понимать, что различные компоненты или технологии могут обеспечивать определенные необходимые или полезные функциональные возможности или признаки. Соответственно, эти функции и признаки, которые могут потребоваться для поддержки прилагаемой формулы изобретения и ее вариантов, признаны по своей сути частью идей, представленных в настоящем документе, и частью настоящего изобретения.

[0188] Идеи, представленные в настоящем описании, могут быть использованы во множестве разнообразных операций на скважине. Эти работы могут включать применение одного или более средств для обработки при обработке формации, флюидов, находящихся в формации, ствола скважины и/или оборудования в стволе скважины, такого как эксплуатационные насосно-компрессорные трубы. Средства для обработки могут быть представлены в форме жидкостей, газов, твердых веществ, полутвердых веществ и их смесей. Примеры средств обработки включают без ограничений гидроразрывные флюиды, кислоты, пар, воду, солевой раствор, антикоррозионные средства, цемент, модификаторы проницаемости, буровые растворы, эмульгаторы, деэмульгаторы, индикаторы, противотурбулентные присадки и т. п. Примеры операций на скважине включают без ограничений гидравлический разрыв пласта, интенсификацию, введение индикаторов, очистку, кислотную обработку, нагнетание пара, заводнение, цементирование и т. п.

[0189] Хотя варианты осуществления, описанные в настоящем документе, были описаны со ссылкой на различные варианты осуществления, следует понимать, что допускается внесение различных изменений и замена отдельных элементов на эквивалентные без отступления от объема настоящего изобретения. Кроме того, будет понятным множество модификаций для адаптации конкретного инструмента, ситуации или материала к идеям настоящего изобретения без отступления от его объема. Таким образом, предполагается, что настоящее изобретение не ограничивается конкретными вариантами осуществления, описанными как наилучший вариант осуществления, предусмотренный для осуществления описанных признаков, но предполагается, что настоящее изобретение включает в себя все варианты осуществления, входящие в объем формулы изобретения.

[0190] Соответственно, варианты осуществления настоящего изобретения не следует рассматривать как ограничивающие приведенное выше описание, вместо этого они ограничиваются только объемом прилагаемой формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Система (712) для демпфирования крутильных колебаний скважинных систем (712), содержащая:
 - скважинную колонну (704);
 - опорный узел (2300) долота, выполненный с возможностью крепления и приема устройства (50) дезинтеграции, в котором указанное устройство (50) дезинтеграции расположено на конце скважинной колонны (704) и установлено на опорном узле (2300) долота; и
 - демпфирующую систему (1000), выполненную по меньшей мере с возможностью одного из: установки на опорном узле (2300) долота или в его составе, причем указанная демпфирующая система (1000) содержит по меньшей мере один демпферный элемент (2320), выполненный в контакте с участком опорного узла (2300) долота.
2. Система (712) по п. 1, в которой демпферный элемент (2320) выполнен с возможностью перемещения, по меньшей мере частичного, относительно опорного узла (2300) долота со скоростью, которая представляет собой сумму периодических изменений скорости, имеющих амплитуду и среднюю скорость.
3. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, в которой устройство (50) дезинтеграции представляет собой долото, которое входит в контакт с муфтой (2302) долота опорного узла (2300) долота.
4. Система (712) по п. 3, в которой опорный узел (2300) долота содержит:
 - приводной вал (2306); и
 - втулку (2308) крутящего момента, в которой муфта (2302) долота входит в контакт с возможностью вращения с приводным валом (2306), при этом втулка (2308) крутящего момента находится в рабочем контакте с приводным валом (2306),
 - при этом предпочтительно по меньшей мере одно из:
 - муфта (2302) долота с помощью резьбы соединена с приводным валом (2306); и
 - инструментальную втулку (2318), расположенную снаружи относительно втулки (2308) крутящего момента, причем по меньшей мере один демпферный элемент (2320) расположен между втулкой (2308) крутящего момента и инструментальной втулкой (2318).
5. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, в которой на опорном узле (2300) долота установлен по меньшей мере один демпферный элемент (2320).
6. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, в которой по меньшей мере один демпферный элемент (2320) представляет собой конструкцию кольцевого типа, расположенную по окружности возле опорного узла (2300) долота, при этом предпочтительно, когда указанная конструкция кольцевого типа содержит два полукожуха, расположенных возле опорного узла (2300) долота.
7. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая гильзу, расположенную снаружи относительно по меньшей мере одного демпферного элемента (2320) таким образом, что по меньшей мере один демпферный элемент (2320) расположен между гильзой и опорным узлом (2300) долота.
8. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая по меньшей мере один подшипник (2322), выполненный с возможностью разобщения с точки зрения

вращательного движения по меньшей мере части, по меньшей мере одного демпферного элемента (2320) относительно движения опорного узла (2300) долота, при этом предпочтительно, когда по меньшей мере один подшипник (2322) содержит по меньшей мере один из радиального подшипника (2322) и упорного подшипника (2322).

9. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая осевую пружину (2324), выполненную с возможностью принуждения по меньшей мере части по меньшей мере одного демпферного элемента (2320) к фрикционному сцеплению с опорным узлом (2300) долота.

10. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, в которой по меньшей мере один демпферный элемент (2320) представляет собой тангенциальный демпферный элемент (2320).

11. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, в которой опорный узел (2300) содержит направляющий механизм (62).

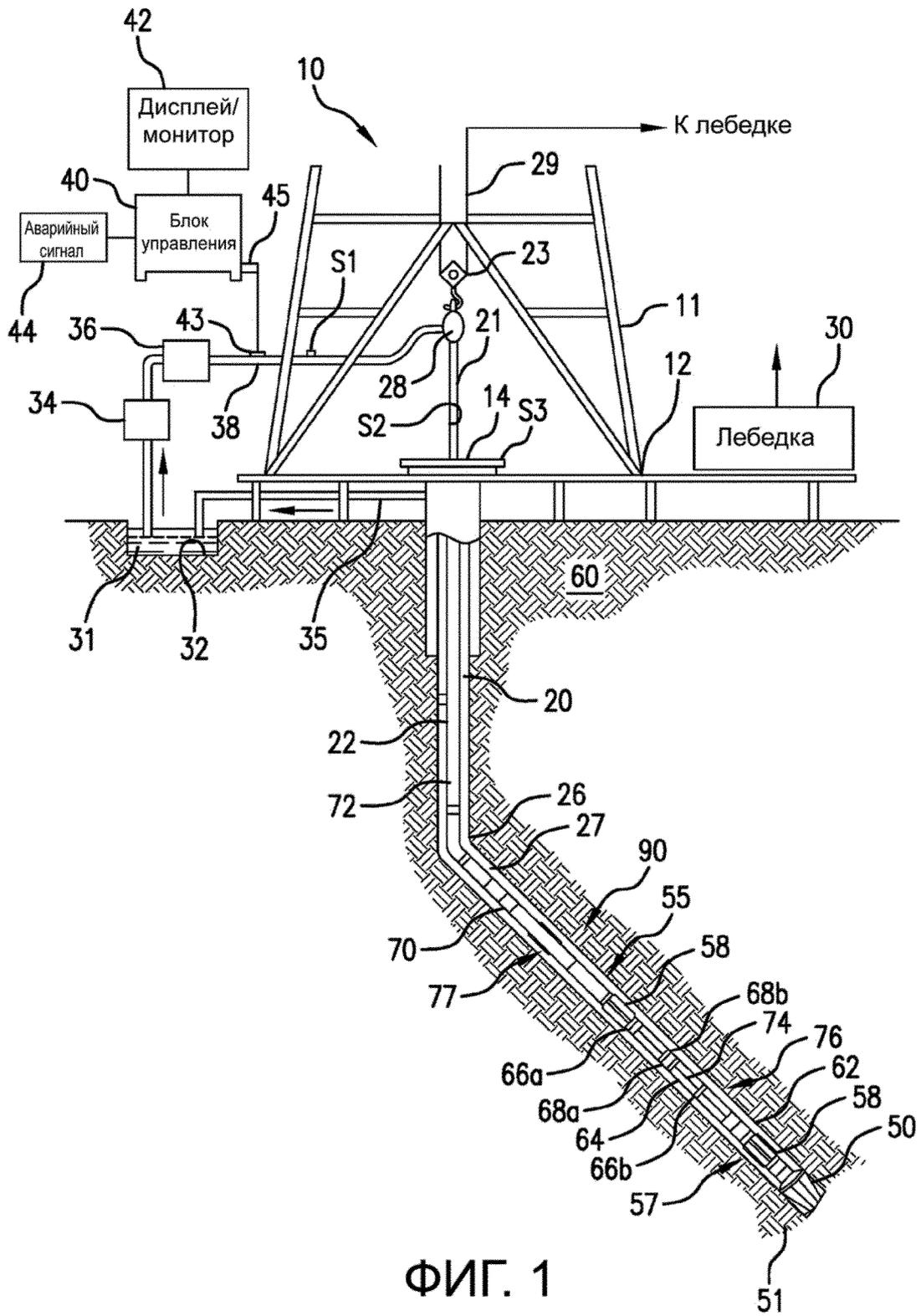
12. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, в которой по меньшей мере один демпферный элемент (2320) дополнительно содержит ограничивающий упор, выполненный с возможностью предотвращения вращения по меньшей мере части по меньшей мере одного демпферного элемента (2320) вокруг опорного узла (2300) долота.

13. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, в которой демпфирующая система (1000) выполнена с возможностью обеспечения по меньшей мере одного из: вязкостного демпфирования, фрикционного демпфирования, гидравлического демпфирования, пьезоэлектрического демпфирования, демпфирования вихревыми токами и магнитного демпфирования на опорном узле (2300).

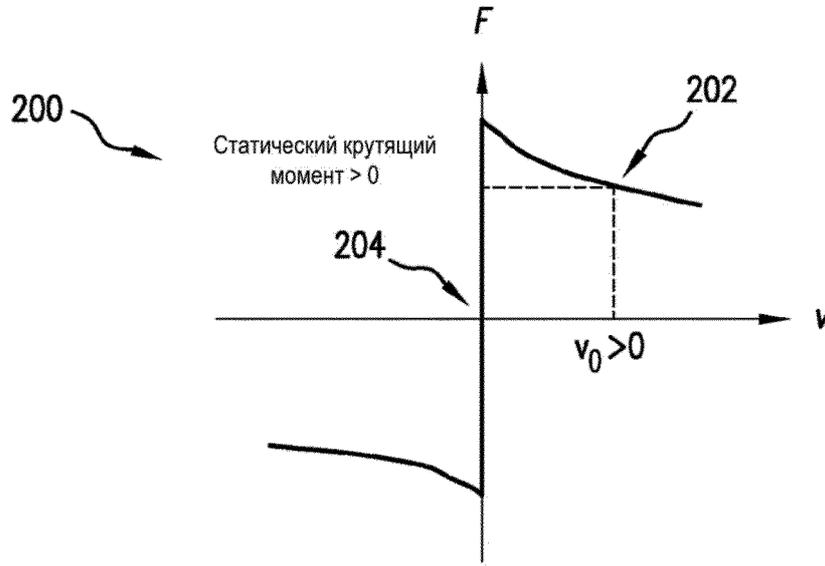
14. Система (712) по любому из предшествующих пунктов, в котором скважинная колонна (704) представляет собой буровую колонну (20), в которой опорный узел (2300) установлен на конце буровой колонны (20).

15. Способ демпфирования крутильных колебаний скважинной системы (1002) в стволе (26) скважины, с применением системы по любому из предшествующих пунктов, при этом указанный способ содержит:

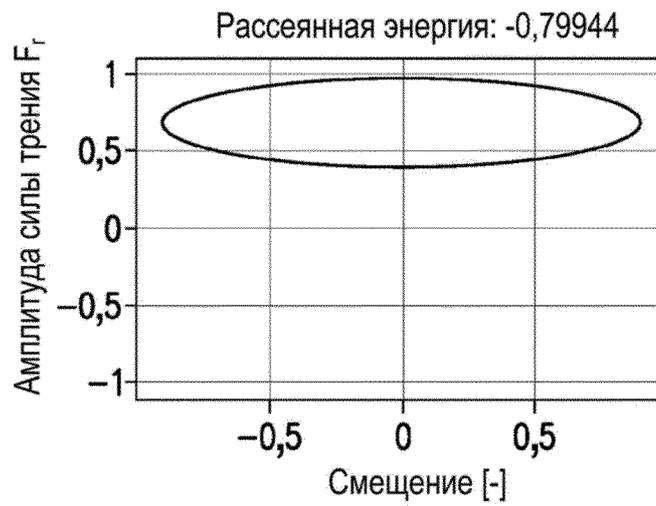
установку демпфирующей системы (1000) по меньшей мере в одном из вариантов: на опорном узле (2300) долота или в его составе, который расположен на скважинной колонне (704).



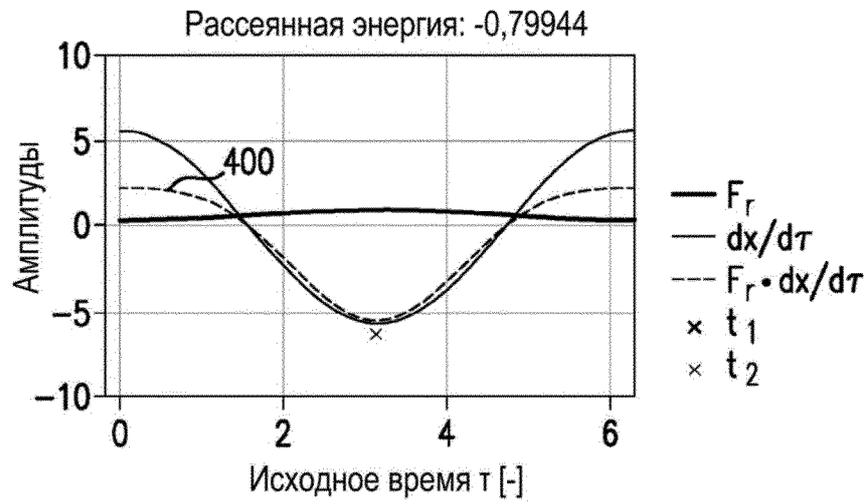
ФИГ. 1



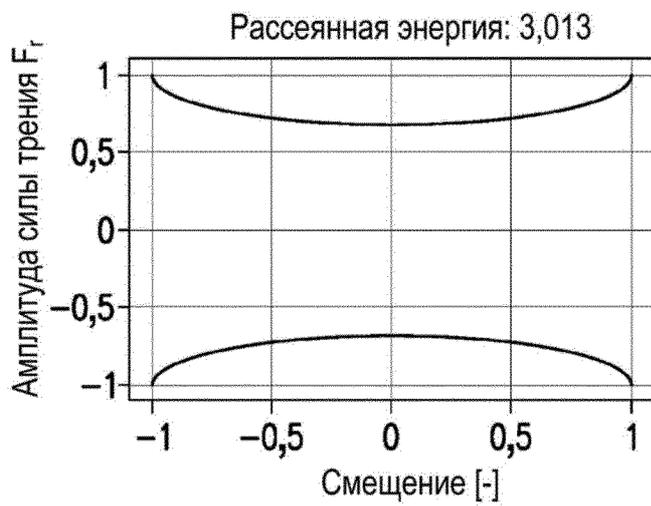
ФИГ. 2



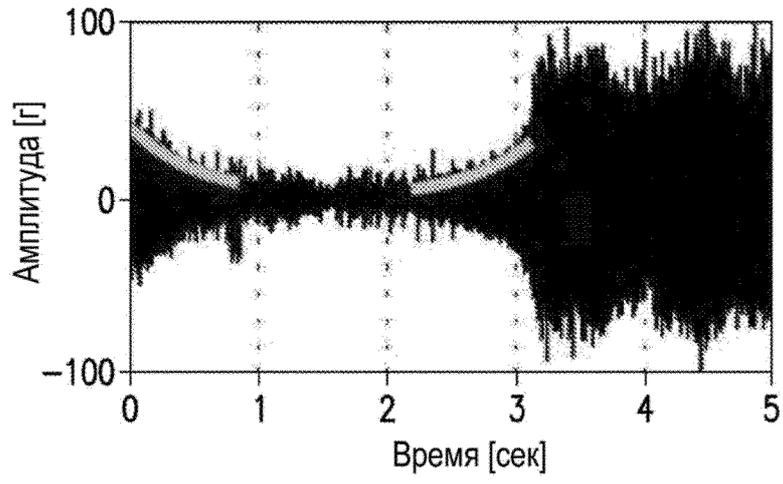
ФИГ. 3



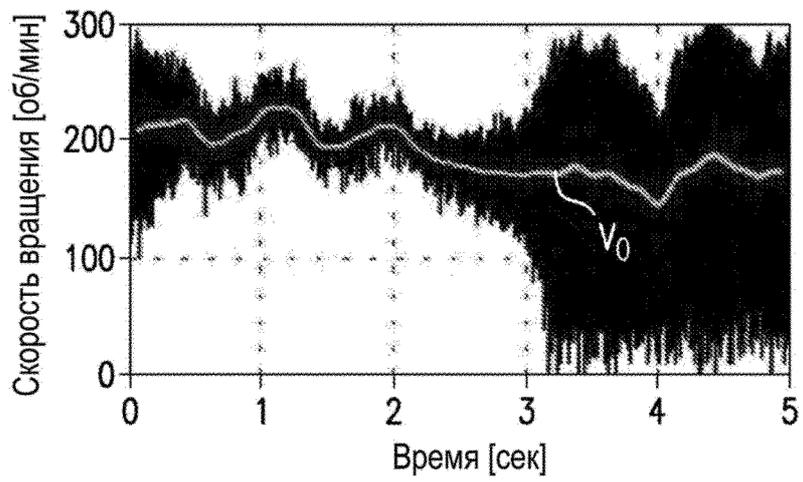
ФИГ. 4



ФИГ. 5



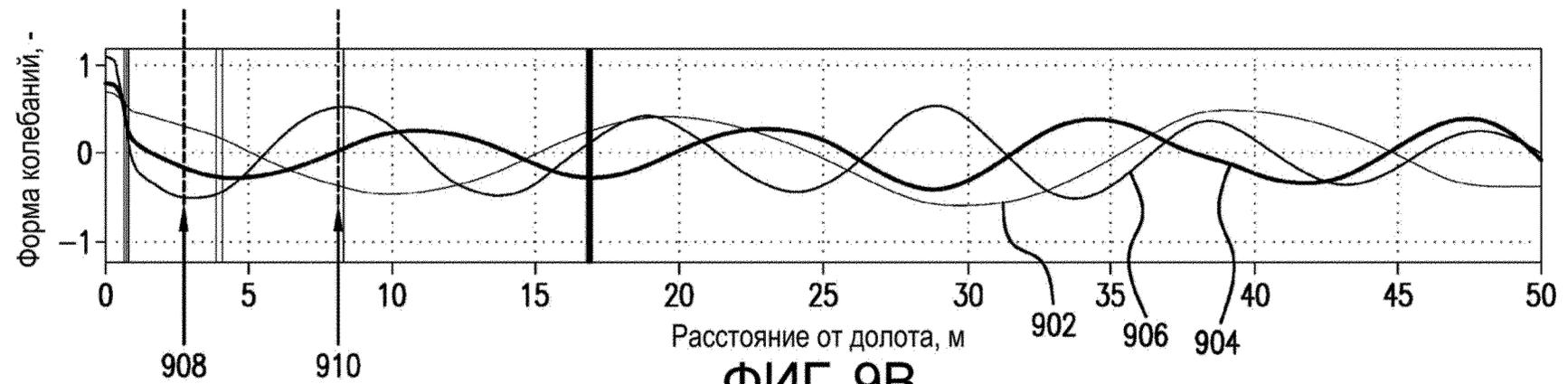
ФИГ. 8А



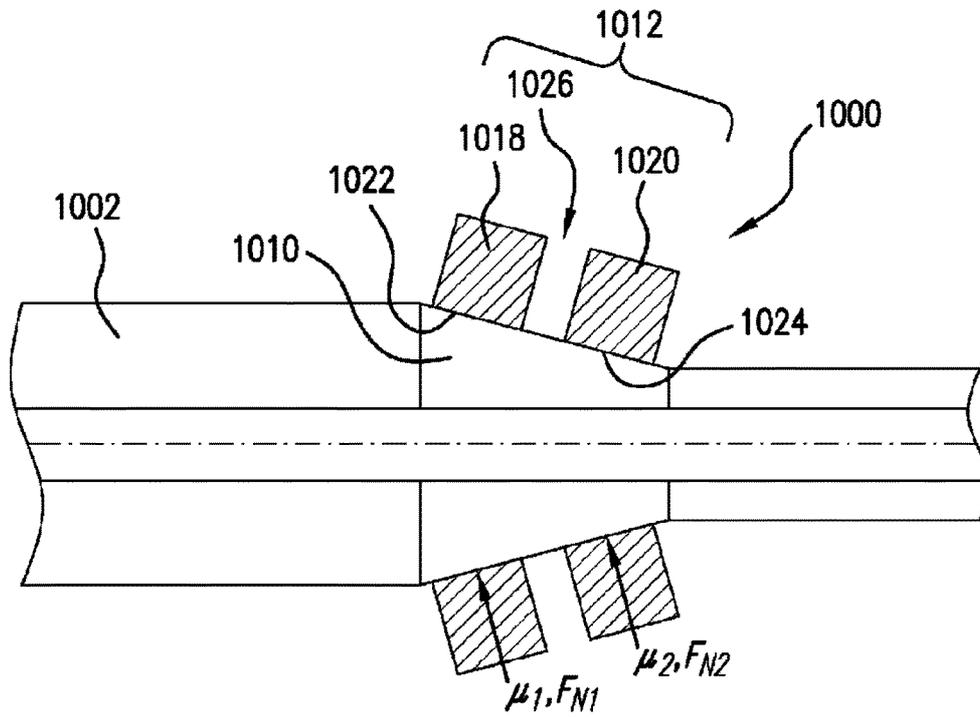
ФИГ. 8В



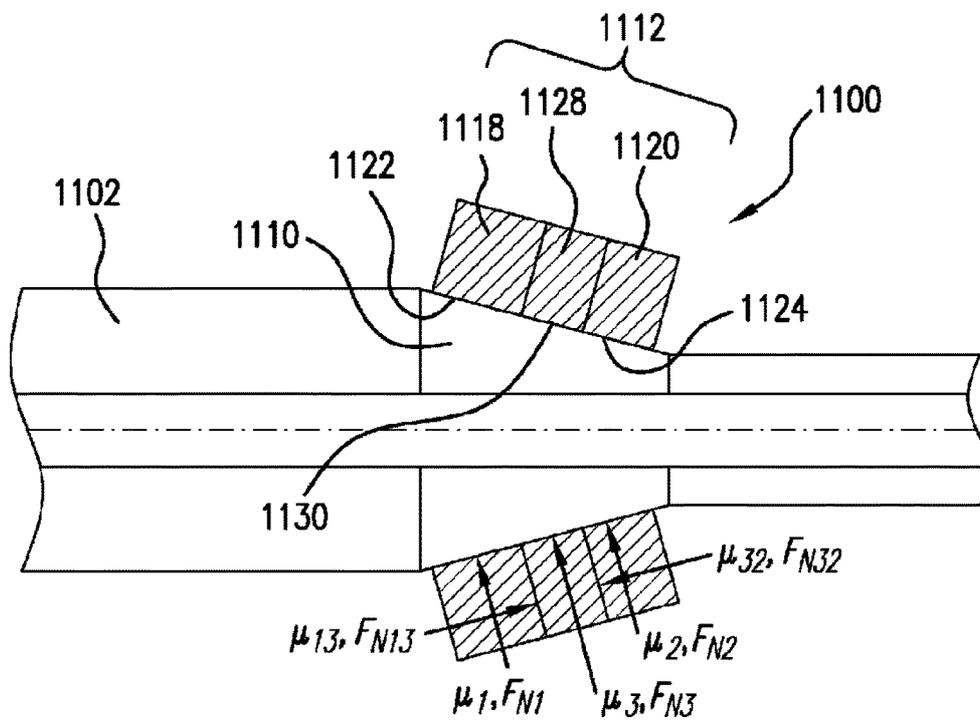
ФИГ. 9А



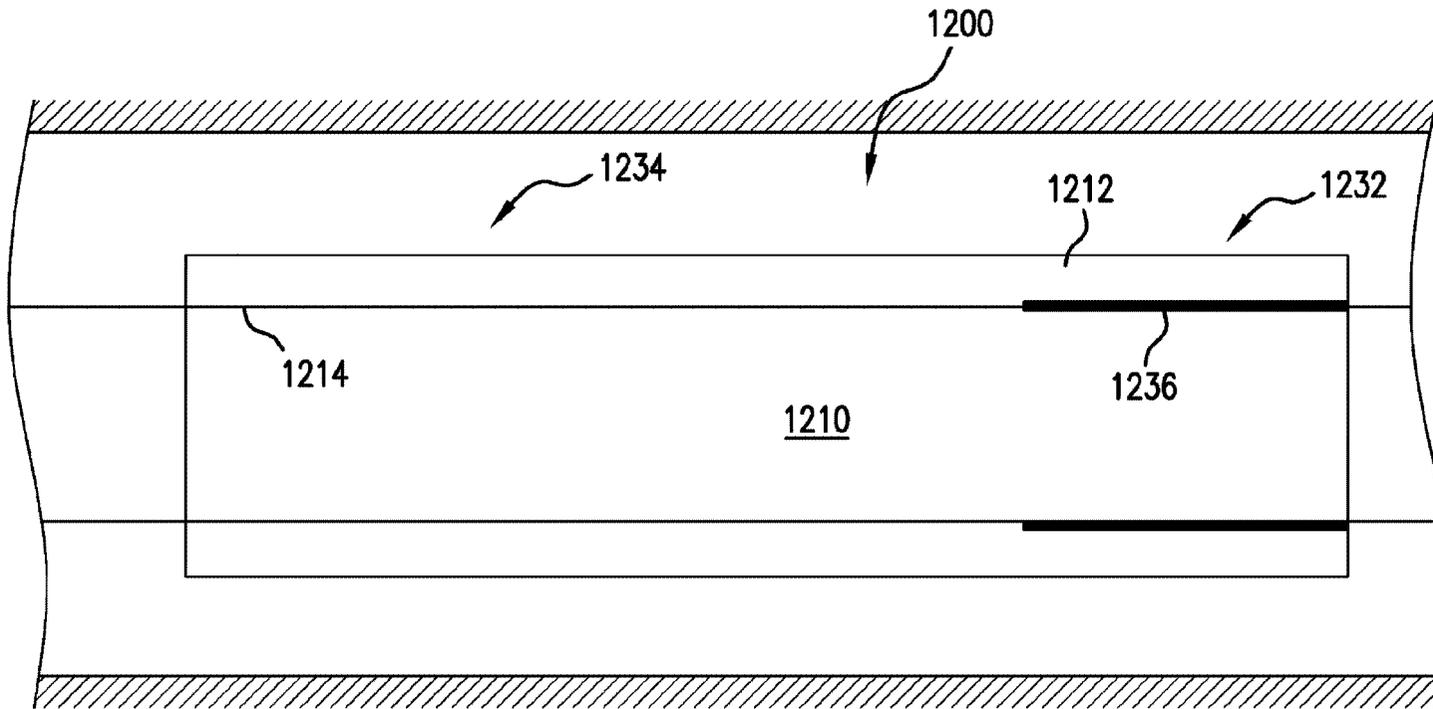
ФИГ. 9В



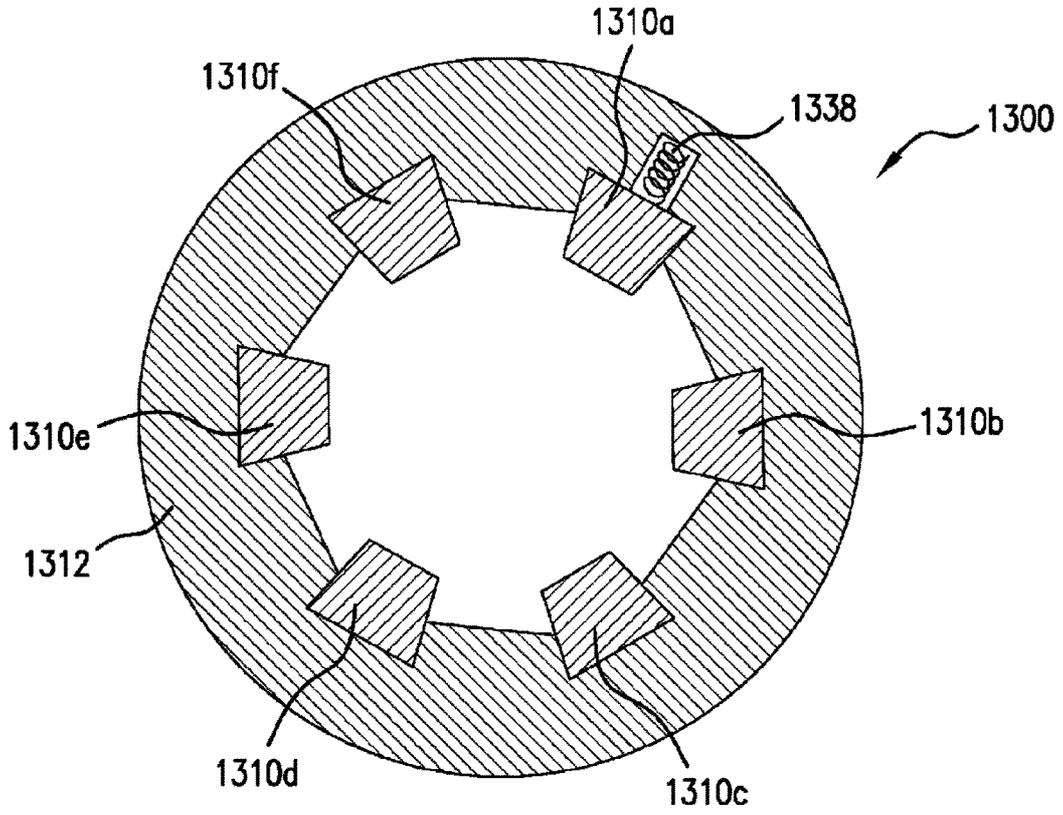
ФИГ. 10



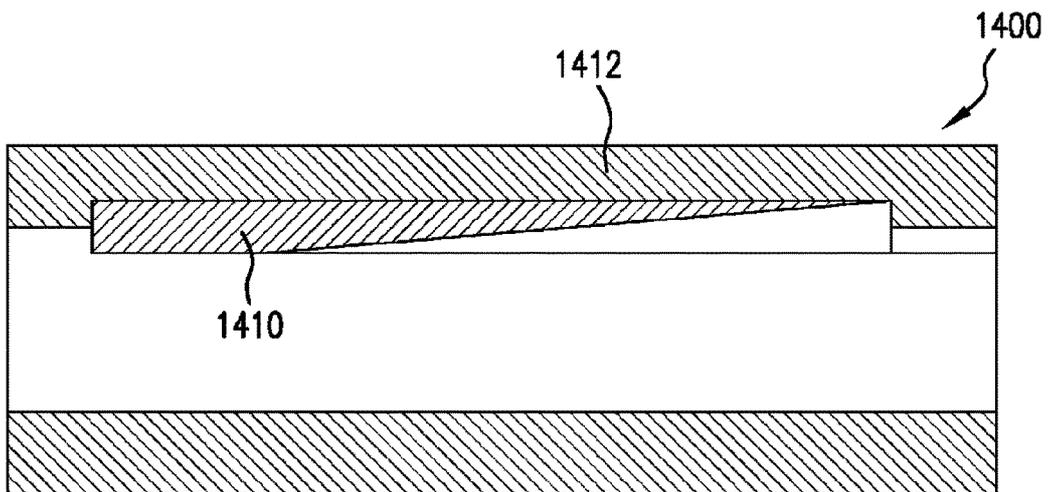
ФИГ. 11



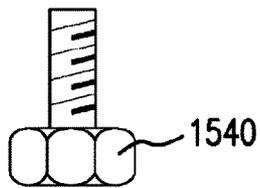
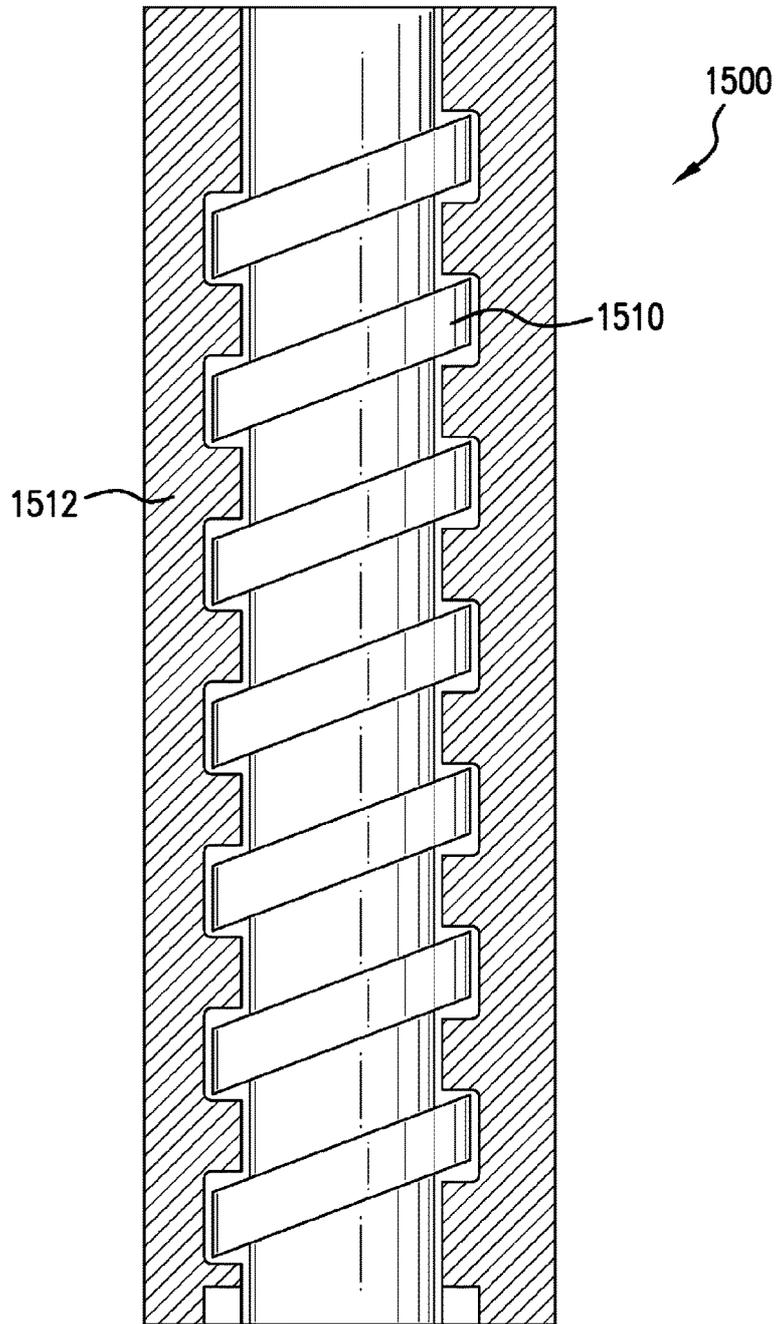
ФИГ. 12



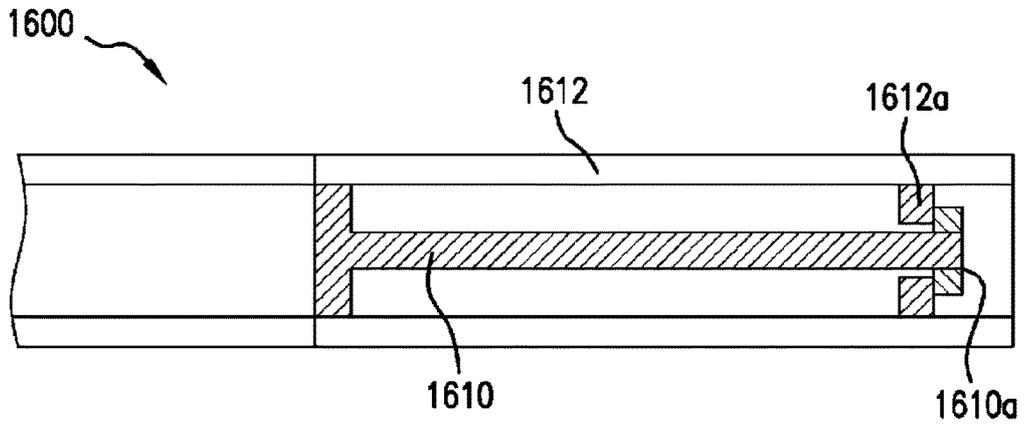
ФИГ. 13



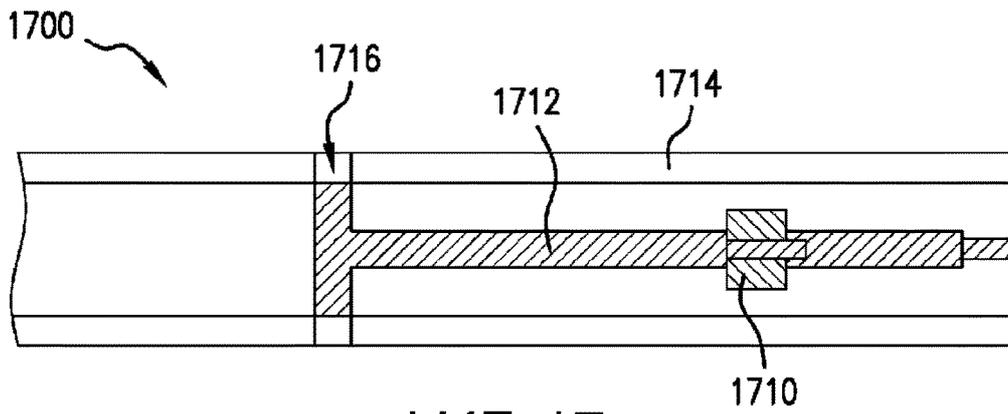
ФИГ. 14



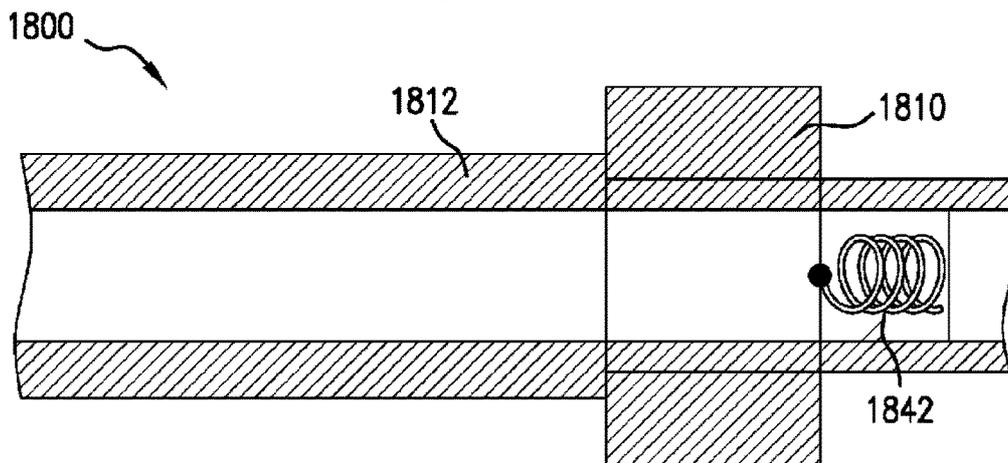
ФИГ. 15



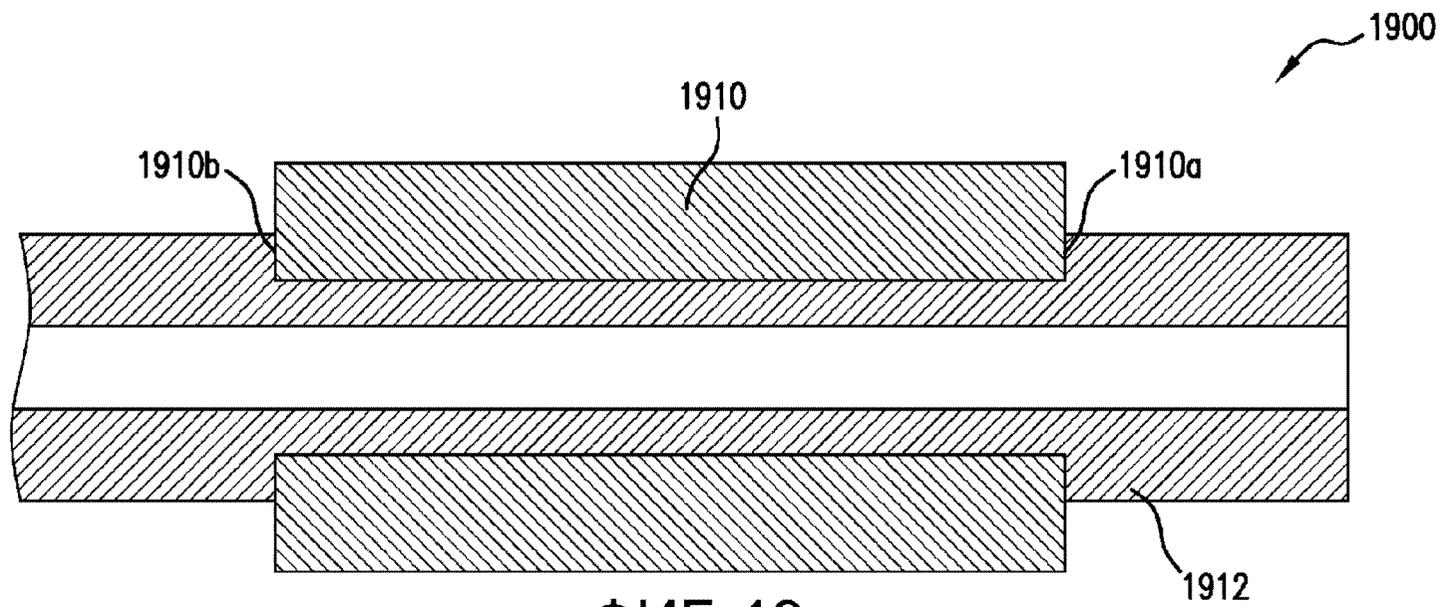
ФИГ. 16



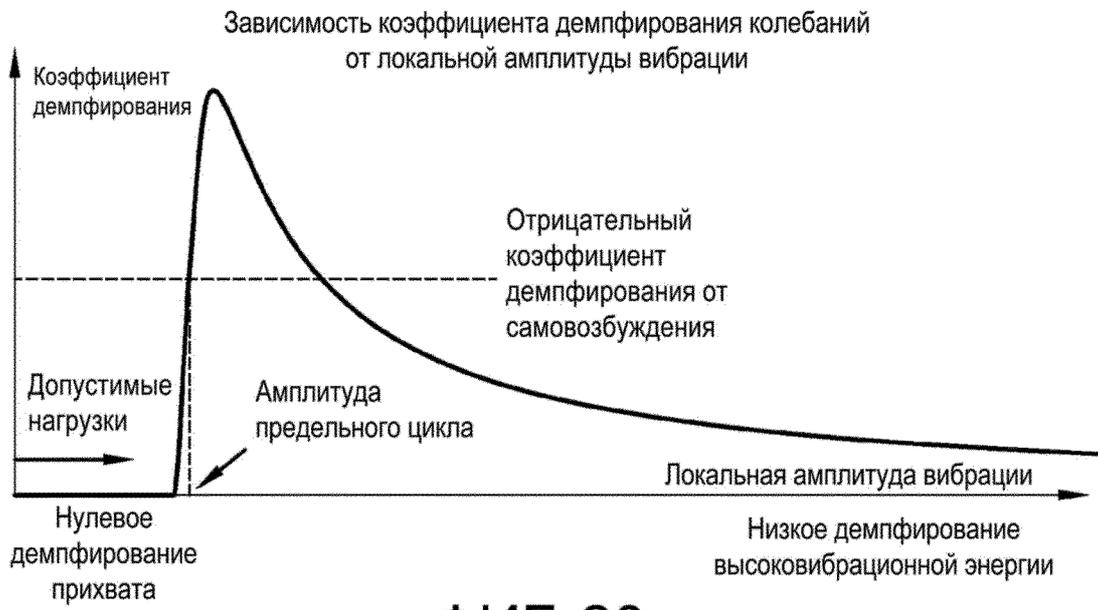
ФИГ. 17



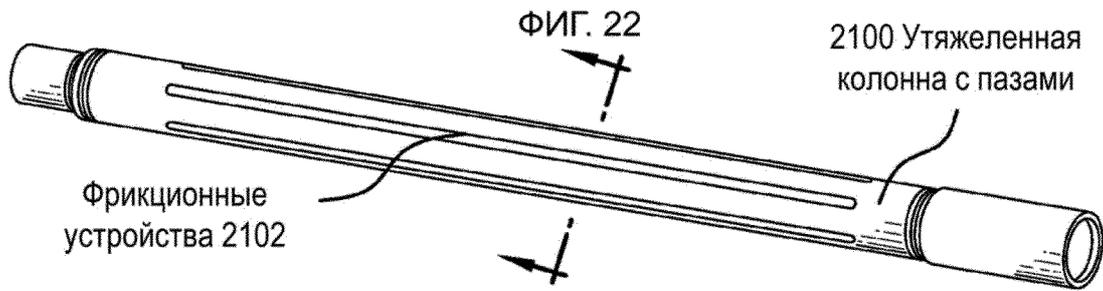
ФИГ. 18



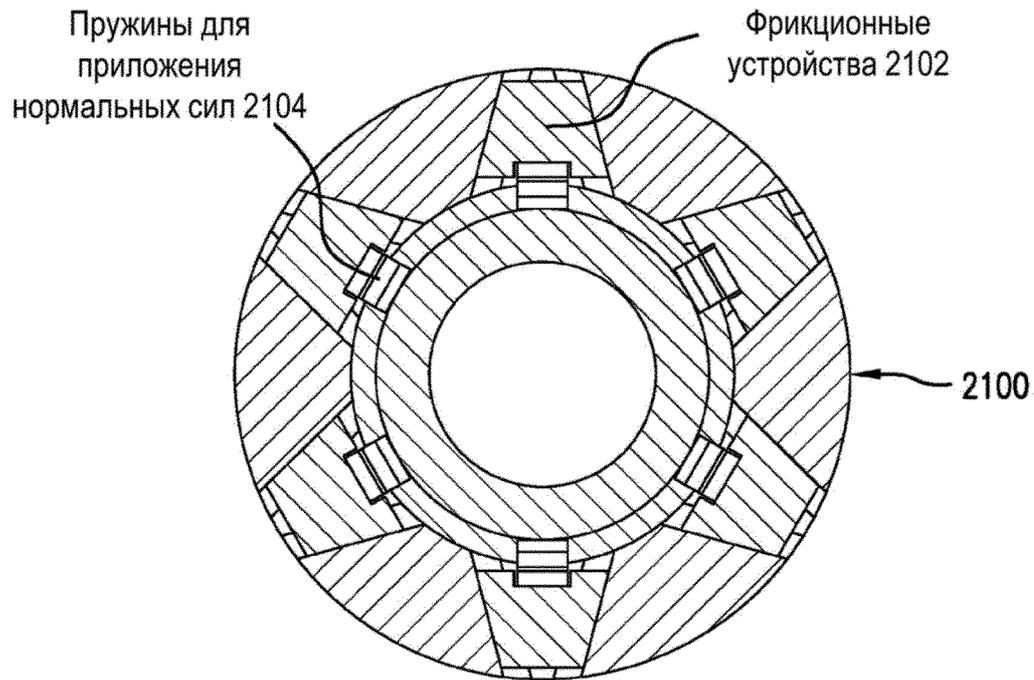
ФИГ. 19



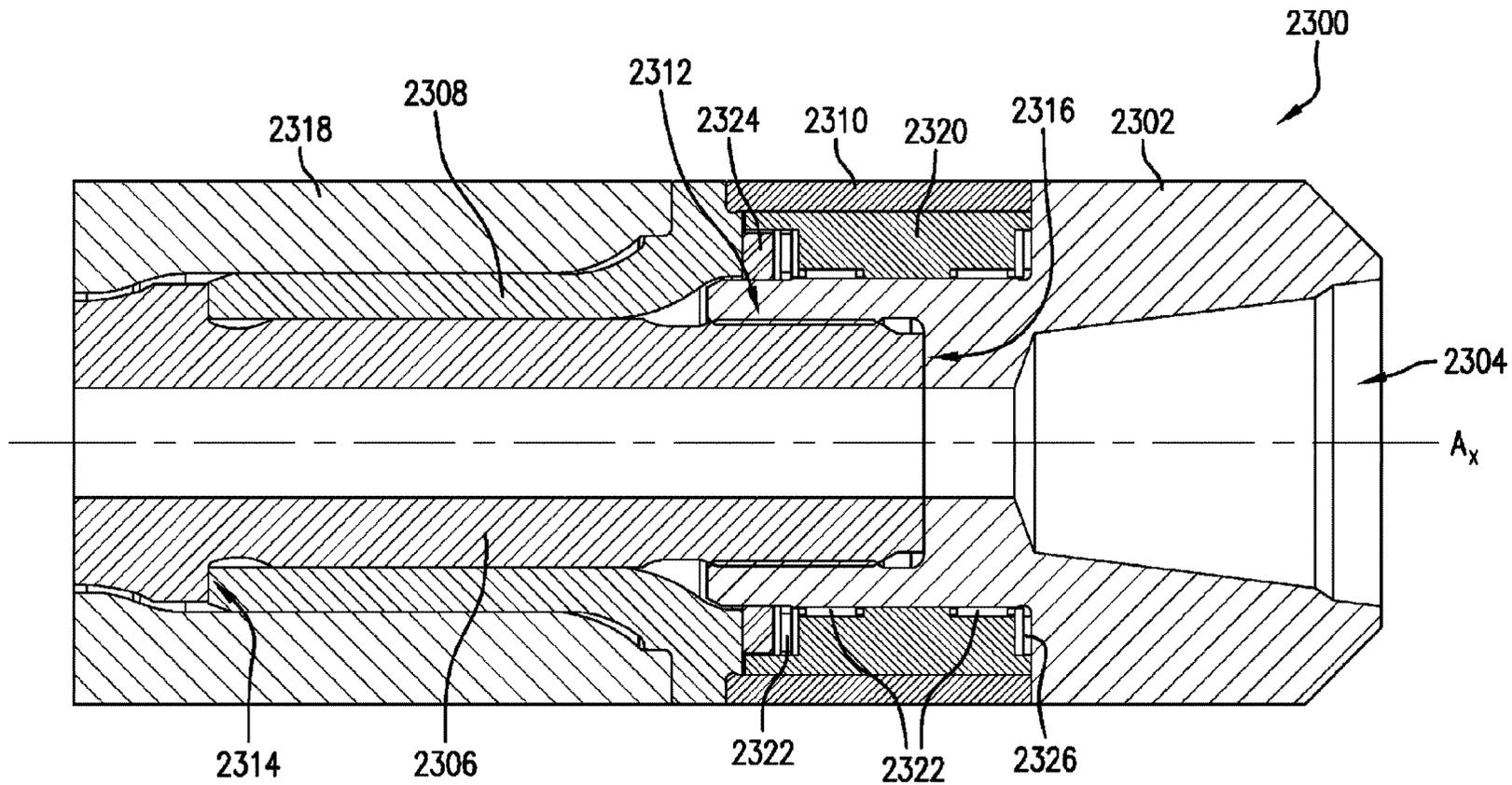
ФИГ. 20



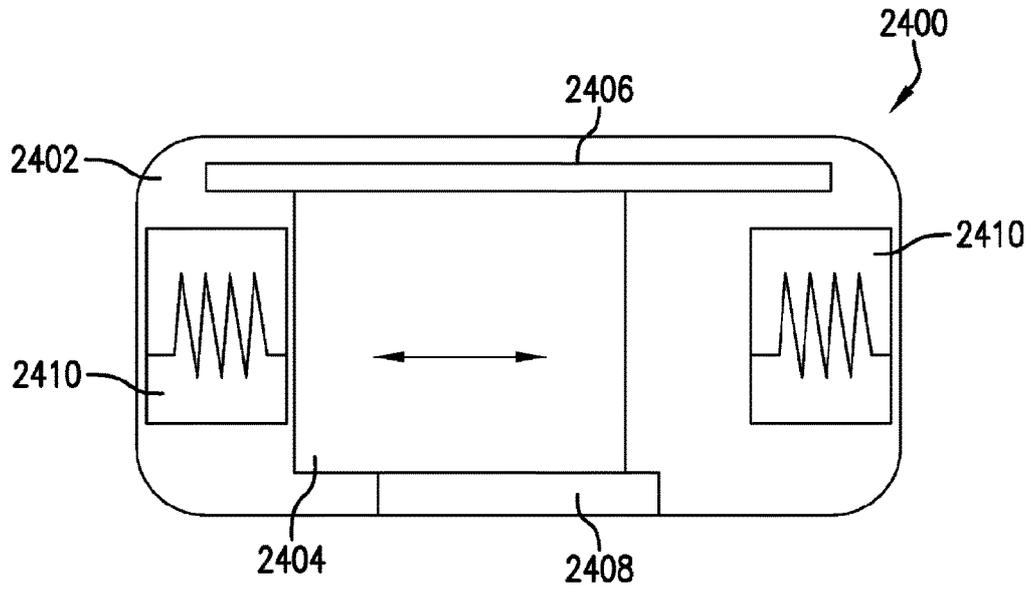
ФИГ. 21



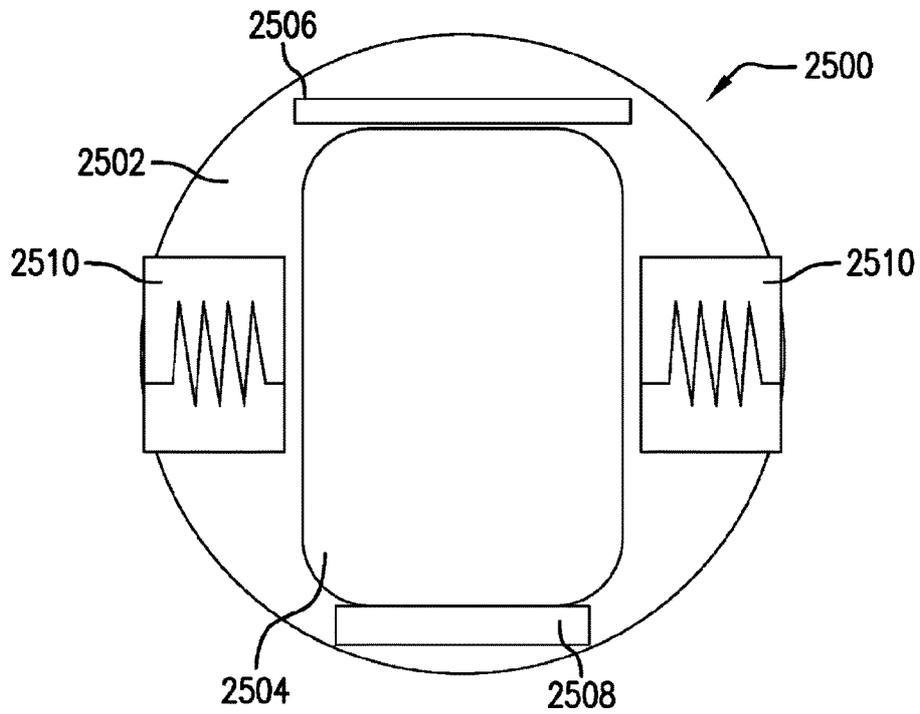
ФИГ. 22



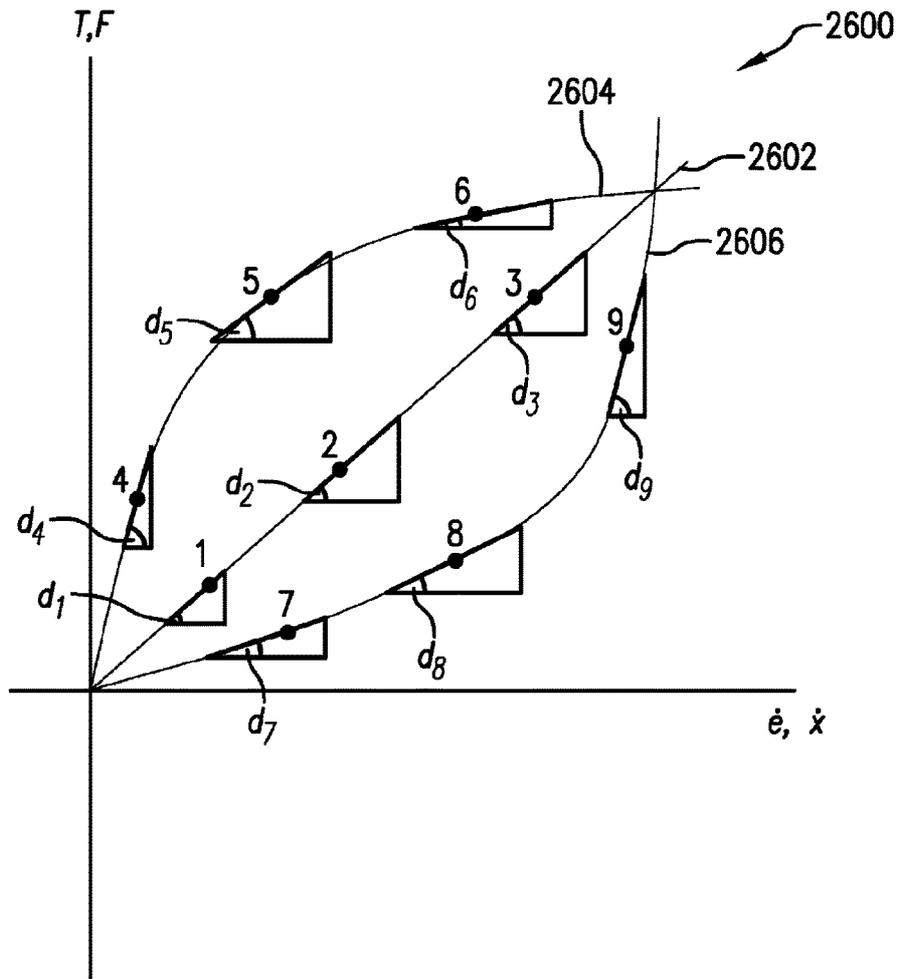
ФИГ. 23



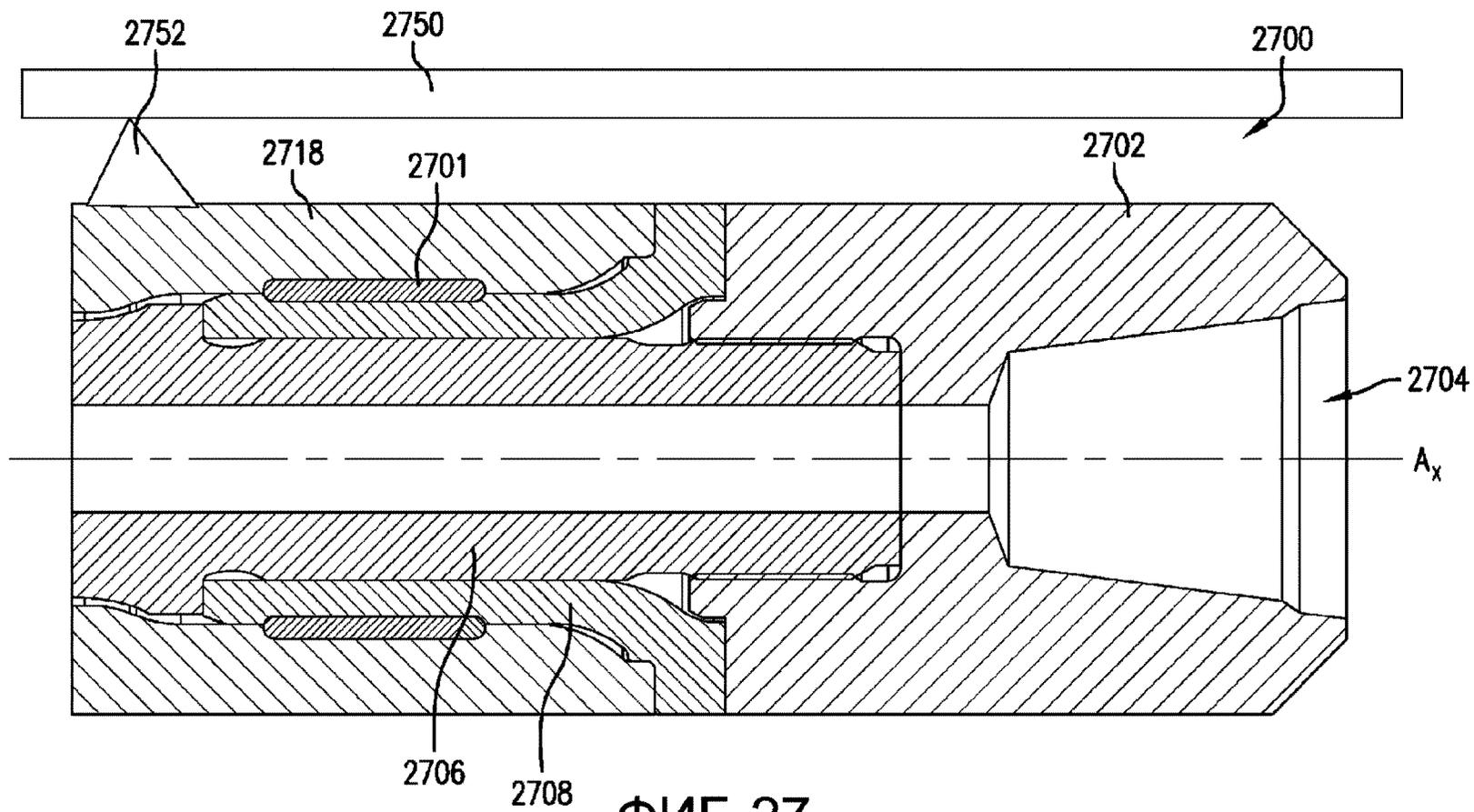
ФИГ. 24



ФИГ. 25



ФИГ. 26



ФИГ. 27