

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202290876** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.07.20

(22) Дата подачи заявки
2020.09.11

(51) Int. Cl. **E21B 44/00** (2006.01)
E21B 41/00 (2006.01)
E21B 28/00 (2006.01)
E21B 17/07 (2006.01)
E21B 17/10 (2006.01)

**(54) ОПТИМИЗИРОВАННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ СРЕДСТВ ДЕМПФИРОВАНИЯ ВИБРАЦИИ
ЗА СЧЕТ ПОДСТРОЙКИ ФОРМЫ КОЛЕБАНИЙ**

(31) **62/899,354; 62/899,331; 62/899,332;
62/899,291**

(32) **2019.09.12**

(33) **US**

(86) **PCT/US2020/050425**

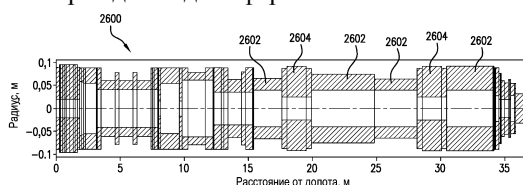
(87) **WO 2021/050888 2021.03.18**

(71) Заявитель:
**БЕЙКЕР ХЬЮЗ ОЙЛФИЛД
ОПЕРЕЙШНЗ ЛЛК (US)**

(72) Изобретатель:
**Петерс Фолкер, Рекманн Ханно,
Холь Андреас, Кюек Армин, Хербиг
Кристиан, Хайниш Деннис, Тергайт
Матиас, Лам Су-Лонг, Кульке Винсент
(US)**

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

(57) Описаны системы и способы демпфирования крутильных колебаний скважинных систем. Указанные системы включают в себя скважинную буровую систему, расположенную на конце скважинной системы в рабочем соединении с буровым долотом. На скважинной буровой системе установлена демпфирующая система, причем указанная демпфирующая система имеет по меньшей мере один демпферный элемент, выполненный с возможностью демпфирования по меньшей мере одного режима НФТО. По меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний расположен на буровой системе. По меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний расположен на буровой системе и выполнен с возможностью изменения по меньшей мере одного из: формы режима НФТО, частоты режима НФТО, способности возбуждения режима НФТО и эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента.



A1

202290876

202290876

A1

ОПТИМИЗИРОВАННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ СРЕДСТВ ДЕМПФИРОВАНИЯ ВИБРАЦИИ ЗА СЧЕТ ПОДСТРОЙКИ ФОРМЫ КОЛЕБАНИЙ

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА СМЕЖНУЮ ЗАЯВКУ

[0001] В настоящей заявке испрашивается приоритет Предварительной заявки США с серийным номером 62/899,354, поданной 12 сентября 2019 г., Предварительной заявки США с серийным номером 62/899,291, поданной 12 сентября 2019 г., Предварительной заявки США с серийным номером 62/899,331, поданной в сентябре. 12, 2019 г., и предварительной заявки США с серийным номером 62/899,332, поданной 12 сентября 2019 г., полное описание которых включено в настоящий документ посредством ссылки.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Область применения изобретения

[0002] Настоящее изобретение по существу относится к скважинным операциям и системам для демпфирования вибраций скважинных систем во время работы.

2. Описание предшествующего уровня техники

[0003] 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.

[0004] 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 скважинных 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

[0005] 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 возле бурового долота или на нем или на другом устройстве дезинтеграции скважинной системы. 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.

[0006] В соответствии с некоторыми вариантами осуществления предложены системы для демпфирования крутильных колебаний скважинных систем. Указанные системы включают в себя буровую систему, содержащую КНБК, расположенную на конце буровой колонны, по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний, расположенный на буровой системе, причем указанный по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний, выполнен с возможностью смещения максимума режима высокочастотных крутильных колебаний (НФТО), и демпфирующую систему, выполненную в составе буровой системы, причем указанная демпфирующая система содержит по меньшей мере один демпферный элемент, расположенный в смещенном положении максимума.

[0007] Согласно некоторым вариантам осуществления предложены способы демпфирования крутильных колебаний скважинных систем в стволе скважины. Указанные способы включают в себя установку на буровую систему по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний, причем указанная буровая система содержит буровую колонну и КНБК, причем указанный по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний выполнен с возможностью смещения положения максимума режима высокочастотных крутильных колебаний (НФТО) буровой системы и установку на буровой системе демпфирующей системы, причем указанная демпфирующая система содержит по меньшей мере один демпферный элемент, расположенный в смещенном положении максимума.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0008] 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:

[0009] на ФИГ. 1 представлен пример системы для выполнения скважинных работ, в которых могут применяться варианты осуществления настоящего изобретения;

[0010] 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;

[0011] на ФИГ. 3 представлен гистерезисный график зависимости силы трения от смещения для положительной относительной средней скорости с дополнительными небольшими изменениями скорости;

[0012] 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;

[0013] на ФИГ. 5 представлен гистерезисный график зависимости силы трения от смещения для относительной средней скорости нуля с дополнительными небольшими изменениями скорости;

[0014] на ФИГ. 6 представлен график зависимости силы трения, относительной скорости и произведения обоих для относительной средней скорости нуля с дополнительными небольшими изменениями скорости;

[0015] на ФИГ. 7 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0016] на ФИГ. 8А представлен график тангенциального ускорения, измеренного на буровом долоте;

[0017] на ФИГ. 8В представлен график, соответствующий ФИГ. 8А, иллюстрирующий скорость вращения;

[0018] на ФИГ. 9А представлен схематический график скважинной системы, демонстрирующий форму скважинной системы в зависимости от расстояния от долота;

[0019] на ФИГ. 9В представлены иллюстративные соответствующие формы крутильных вибраций, которые могут быть возбуждены во время работы скважинной системы, показанной на ФИГ. 9А;

[0020] на ФИГ. 10 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0021] на ФИГ. 11 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0022] на ФИГ. 12 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0023] на ФИГ. 13 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0024] на ФИГ. 14 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0025] на ФИГ. 15 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0026] на ФИГ. 16 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0027] на ФИГ. 17 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0028] на ФИГ. 18 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0029] на ФИГ. 19 представлено схематическое изображение демпфирующей системы в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения; и

[0030] на ФИГ. 20 представлен схематический график зависимости коэффициента демпфирования колебаний от амплитуды местной вибрации;

[0031] на ФИГ. 21 представлено схематическое изображение скважинного инструмента, имеющего демпфирующую систему;

[0032] на ФИГ. 22 представлен вид в поперечном сечении скважинного инструмента, показанного на ФИГ. 21;

[0033] на ФИГ. 23 представлен набор графиков, иллюстрирующих формы колебаний различных КНБК и нормализованное демпфирование для демпфера в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0034] на ФИГ. 24А–24С представлены схематические изображения размещения одиночного демпферного элемента в скважине в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения;

[0035] на ФИГ. 25 представлен набор графиков, иллюстрирующих формы колебаний различных КНБК и нормализованное демпфирование для демпфера в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0036] на Фиг. 26А представлено схематическое изображение скважинной колонны, имеющей элементы подстройки формы колебаний, и демпферный элемент, установленный на ней в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0037] на ФИГ. 26В представлены формы колебаний, модифицированные или подстроенные за счет включения в состав элементов подстройки формы колебаний в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0038] на ФИГ. 27 представлено схематическое изображение тангенциального демпферного элемента в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0039] на ФИГ. 28 представлено схематическое изображение тангенциального демпферного элемента в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения;

[0040] на ФИГ. 29А представлено схематическое изображение примеров элементов подстройки формы колебаний в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения; и

[0041] на ФИГ. 29В представлено схематическое изображение примеров узла скважинной колонны, имеющего элементы подстройки формы колебаний и переводник с демпферным элементом в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[0042] 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 буровое долото (или просто долото), прикрепленное к концу КНБК 90, при вращении разрушает геологические пласты 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.

[0043] 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.

[0044] 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.

[0045] 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.

[0046] 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 буровой колонны и/или перед ними. Устройство 64 каротажа сопротивлений формации, изготовленное в соответствии с вариантом осуществления, описанным в настоящем документе, может быть присоединено в любом подходящем положении, в том числе над нижним подузлом 62 начала отклонения, для оценки или определения сопротивления формации вблизи устройства 50 дезинтеграции или перед ним или в других подходящих положениях. Инклинометр 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 буровой 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 буровой колонны 20 буровой двигатель 55 может быть соединен ниже устройства 64 каротажа сопротивлений или в любом другом подходящем положении.

[0047] Как показано на ФИГ. 1, другие устройства каротажа в процессе бурения (КПБ) (в общем обозначенные в настоящем документе ссылкой 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.

[0048] 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.

[0049] 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.

[0050] 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.

[0051] 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 буровой колонны из-за обрушения ствола скважины.

[0052] 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.

[0053] Интенсивные вибрации в буровых колоннах и компоновках низа буровой колонны во время буровых работ могут быть вызваны усилиями резания на буровом 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 буровой 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 «вибрации», «колебания», а также «неравномерность» имеют значение повторяющихся и/или периодических движений или периодических отклонений от среднего значения, таких 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 низкочастотными крутильными колебаниями (такими как прерывистое скольжение) и НФТО является частота и типовая форма колебаний. Например, ВЧКК имеют частоту, обычно превышающую 50 Гц по сравнению с низкочастотными крутильными колебаниями, которые обычно имеют частоты ниже 1 Гц. Кроме того, возбужденная форма низкочастотных крутильных колебаний или прерывистое скольжение, как правило, представляет собой первую форму всей буровой

системы, в то время как форма ВКК может быть более высокой и, как правило, ограничена более мелкими частями буровой системы с сравнительно высокими амплитудами в точке возбуждения, которая может представлять собой буровое долото или любую другую режущую структуру (например, бур-расширитель) или любой контакт между буровой системой и формацией (например, стабилизатором).

[0054] 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.

[0055] В соответствии с не ограничивающим вариантом осуществления, предложенным в настоящем документе, демпфер вибрации или, в контексте настоящего изобретения, просто демпфер, также называемый демпфирующей системой, например, система демпфирования крутильных колебаний, может быть основан на трении. Например, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления, указанный демпфер может содержать один или более демпферных элементов, которые могут быть включены в переводник демпферного элемента. Трение между двумя частями внутри демпферного элемента, такими как два взаимодействующих объекта в демпферном элементе, могут рассеивать энергию и снижать уровень крутильных колебаний, тем самым уменьшая потенциальное повреждение, вызываемое высокочастотными вибрациями. Предпочтительно, рассеивание энергии демпфера является по меньшей мере равным входной величине энергии НФТО, вызванных взаимодействием долота и породы.

[0056] 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.

[0057] 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 (например, фрикционный контакт или характеристика 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.

[0058] По существу сила трения F_R зависит от нормальной силы, как описано 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 известен как коэффициент 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.

[0059] 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.

[0060] Еще раз со ссылкой на ФИГ. 2, точка 202 иллюстрирует среднюю скорость двух взаимодействующих объектов, которая соответствует средней скорости v_0 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 НТФО вокруг средней скорости v_0 , которая изменяется относительно медленно со временем по сравнению с НТФО. 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 НТФО 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 НТФО не приводит к изменению знака относительной скорости двух взаимодействующих объектов (например, как проиллюстрировано точкой 202 на ФИГ. 2).

[0061] 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 применению 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.

[0062] 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 $\left(\frac{dx}{dt}\right)$ и произведение

обоих (обозначено ссылочной позицией 400 на ФИГ. 4) для положительной средней относительной скорости с дополнительными небольшими изменениями скорости, что приводит 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.

[0063] 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 $F_r \cdot \frac{dx}{dt}$, 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 показанные 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.

[0064] 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. Фрикционные демпферные элементы являются частью фрикционных демпферов и могут содержать два взаимодействующих объекта, такие как первый элемент и второй элемент, имеющий фрикционную контактную поверхность с первым элементом. Фрикционные демпферы 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.

[0065] 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 и вторым элементом с положительными или отрицательными скоростями в соответствии с колебаниями 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 наземным давлением 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.

[0066] 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.

[0067] 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, $J\ddot{x} \geq M_H = F_N\mu_H r$, которая может быть вызвана моментом инерции J одного из контактирующих объектов, если он ускоряется с $\ddot{x}$, должна быть выше крутящего момента $M_H = F_N\mu_H r$, который определяет предел между прихватом и скольжением. Применяемый в настоящем документе параметр 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.

[0068] Аналогичные механизмы применимы, если усилие контакта вызвано смещением и пружинным элементом. Ускорение $\ddot{x}$ области контакта может быть обусловлено возбуждением типа колебаний и зависит от соответствующей формы колебаний, как дополнительно обсуждается ниже в отношении ФИГ. 9В. В случае прикрепленной инерционной массы (либо просто инерции или массы в контексте данного изобретения) с моментом инерции J , ускорение $\ddot{x}$ равно ускорению возбужденного типа колебаний и соответствующей формы колебаний в положении крепления при условии, что в контактном взаимодействии имеется прихват.

[0069] 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.

[0070] 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.

[0071] Кривая зависит от различных параметров. Предпочтительно иметь высокое нормальное усилие, а фазу скольжения — с минимальной амплитудой. В случае инерционной массы это может быть достигнуто с помощью высокой массы или путем размещения контактного сопряжения в точке высокого ускорения относительно возбужденной формы 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 демпфера 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. Амплитуда в этом контексте примерно линейно зависит от средней скорости вращения, как показано и обсуждено со ссылкой на ФИГ. 8В ниже.

[0072] Как показано на ФИГ. 7, колонна 704 и, следовательно, скважинная система 702 вращаются со скоростью $\frac{d\varphi}{d\tau}$, 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 инерционным массовым элементом выбирают или определяют для обеспечения скользящего движения и предотвращения самофиксации.

[0073] 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 (т. е. окружного) ускорения, измеренного на буровом долоте, а на ФИГ. 8В представлена соответствующая скорость вращения.

[0074] 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 прихватаыванием 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.

[0075] 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.

[0076] 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.

[0077] 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 низкой силе трения, и происходит скольжение, но рассеянная энергия является незначительной. 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.

[0078] 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.

[0079] 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.

[0080] 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.

[0081] 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.

[0082] 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.

[0083] Например, первое положение 908 демпфирования близко к буровому долоту скважинной системы 900 и в основном демпфирует первое и третье 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.

[0084] 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.

[0085] 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.

[0086] 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 демпферы) 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.

[0087] 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.

[0088] 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_1 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.

[0089] 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.

[0090] 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.

[0091] 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.

[0092] 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 могут быть выбраны, будучи отличными друг от друга таким образом, что произведение $\mu_i \cdot F_i$ ($i = 1, 2, 3, 13, 32$) 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.

[0093] 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.

[0094] 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).

[0095] 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.

[0096] 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.

[0097] 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 НФТО 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.

[0098] 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 моменты инерции, таким образом обеспечивая различные конфигурации демпфирования.

[0099] 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.

[0100] 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.

[0101] 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.

[0102] 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.

[0103] 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.

[0104] 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.

[0105] 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 1910a, имеющим первый контакт (например, нормальная сила F_{Ni} первого конца, коэффициент статического или динамического трения μ_i первого конца и момент инерции J_i первого конца) и второй контакт на втором конце 1910b (например, нормальная сила F_{Ni} второго конца, коэффициент статического или динамического трения μ_i второго конца и момент инерции J_i второго конца). В некоторых таких вариантах осуществления тип взаимодействия между соответствующим первым концом 1910a или вторым концом 1910b и вторым элементом 1912 может иметь разные физические характеристики. Например, один или оба из первого конца 1910a и второго конца 1910b могут иметь прихватывающий контакт/зацепление, а один или оба могут иметь скользящий контакт/зацепление. Расположения/конфигурации первого и второго концов 1910a, 1910b могут быть установлены для обеспечения демпфирования, как описано в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения.

[0106] Преимущественно, варианты осуществления, предложенные в настоящем документе, относятся к системам для смягчения высокочастотных крутильных колебаний (HFTO) скважинных систем путем применения демпфирующих систем, установленных на вращающейся колонне (например, 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 отдельно установленным 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 HFTO. Однако, когда HFTO 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.

[0107] Как описано выше, вторые элементы демпфирующих систем выбраны или выполнены таким образом, что при отсутствии вибрации (т. е. HFTO) в колонне второй элемент будет фрикционно соединен с первым элементом с помощью силы статического трения. Однако при наличии вибрации (HFTO) 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 HFTO. 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 HFTO, но затем способны перемещаться

при наличии определенных ускорений (например, в соответствии с формами колебаний HFTO), таким образом обеспечивая демпфирование HFTO через переход через ноль относительной скорости (например, переключение между положительными и отрицательными относительными скоростями вращения).

[0108] 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 сил, 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 HFTO.

[0109] 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, и что настоящее описание включает все варианты осуществления, входящие в объем прилагаемой формулы изобретения или приведенное ниже описание возможных вариантов осуществления.

[0110] Интенсивные вибрации в бурильных колоннах и компоновках низа бурильной колонны могут быть вызваны усилиями резания на буровом 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.

[0111] Существуют различные виды крутильных вибраций. В литературе крутильные вибрации в основном дифференцированы как прихват/проскальзывание всей буровой системы и высокочастотные крутильные колебания (HFTO). 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 HFTO представляет собой частоту и типичную форму колебаний. В случае HFTO 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 буровом долоте.

[0112] 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).

[0113] Одна концепция демпфирования основана на трении. Трение между двумя частями в КНБК или буровой колонне может рассеивать энергию и уменьшать уровень крутильных колебаний.

[0114] 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.

[0115] 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.

[0116] Рассеивание энергии происходит только в фазе проскальзывания в сопряжении между первым и вторым элементами демпфера. Проскальзывание происходит, если инерциальная сила превышает предел между прихватыванием и проскальзыванием, который представляет собой силу статического трения: $F_R > \mu_0 \cdot F_N$ (причем сила статического трения равна коэффициенту статического трения, умноженному на нормальную силу между обоими 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.

[0117] 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).

[0118] В качестве фрикционного демпфера по настоящему изобретению можно применять эквивалент. Можно задействовать утяжеленную бурильную трубу 2100 с пазами, как показано на ФИГ. 21 и ФИГ. 22. На ФИГ. 22 представлен вид в поперечном сечении утяжеленной бурильной трубы 2100 с пазами. В одном неограничивающем варианте осуществления утяжеленная бурильная труба 2100 с пазами имеет высокую гибкость или низкую жесткость, что приведет к более высоким деформациям, если не ввести в ее состав фрикционные устройства 2102. Более высокая скорость приведет к повышенным центробежным силам, которые усилят прижатие фрикционных устройств 2102 к пазам за счет оптимизированных нормальных сил для обеспечения значительного фрикционного демпфирования. В этой конфигурации другие факторы, которые могут быть оптимизированы, представляют собой количество и геометрическую конфигурацию пазов, а также геометрическую конфигурацию демпфера. Дополнительная нормальная сила может быть приложена пружинными элементами, как показано на ФИГ. 22, приводными механизмами и/или центробежными силами, как описано выше.

[0119] Преимущество этого принципа заключается в том, что фрикционные устройства 2102 будут непосредственно установлены в поток силы. Скручивание утяжеленной бурильной трубы из-за возбужденного режима НФТО и соответствующей формы колебаний будет частично поддержано фрикционными устройствами 2102, которые будут перемещаться вверх и вниз в течение одного периода колебаний. Высокое относительное перемещение вместе с оптимизированным коэффициентом трения и нормальной силой приводит к высокому рассеиванию энергии.

[0120] В данном случае цель заключается в предотвращении амплитудного увеличения амплитуд НФТО (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 энергия, поступающая в систему. Поступление энергии происходит не мгновенно, а в течение многих периодов до достижения амплитуды худшего случая (нулевая частота вращения бурового долота).

[0121] 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 НФТО, 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 НФТО. Сравнительно высокая относительная скорость между фрикционными устройствами и утяжеленной трубой приведет к высокому рассеиванию энергии.

[0122] Демпфер будет довольно целесообразным и будет подходить для различных применений. НФТО 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 НГТО), 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 ГНТО и соответствующие формы колебаний.

[0123] 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. Таким образом, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения демпферы могут быть интегрированы в буровое долото или другое устройство дезинтеграции и входить в его состав. В таких вариантах осуществления расстояние до долота равно нулю или по существу нулю.

[0124] В некоторых таких вариантах осуществления демпфер может быть образован из массы или инерции, которые сопряжены с буровым долотом или демпферным элементом колонны только посредством усилия или крутящего момента демпфирования. Усилие демпфирования, например и без ограничений, может быть сгенерировано с помощью вязкостного 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 объединен с пружиной, которая может обеспечивать настраиваемый демпфер, например, настраиваемый фрикционный демпфер. В этих случаях собственная частота демпфера может быть настроена на собственную частоту формы колебаний, которая должна быть демпфирована. В дополнение к установке или креплению на буровом долоте или возле него (т. е. на конце скважинной колонны), демпфер может быть установлен в любом положении в составе КНБК или на ней и, таким образом, расположен вблизи конца скважинной колонны.

[0125] Как описано выше, размещение устройств для демпфирования вибрации вдоль буровой колонны влияет на эффективность демпфирования вибрации. Типичные режимы НГТО, поскольку эти режимы имеют более высокий порядок, имеют несколько узлов и максимумов вдоль секции колонны КНБК. Размещение демпфера вибрации, который реагирует на амплитуду вибрации, в положении внутри или сверху КНБК, которое имеет низкую амплитуду или нулевую (узел) амплитуду формы колебаний, может привести к снижению эффективности демпфирования для соответствующего режима колебаний. Однако расположение демпфера в локальный максимум режима колебаний, подлежащего демпфированию, создает повышенное демпфирование для этого режима колебаний, как описано выше.

[0126] В соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения элементы буровой колонны, далее «элементы подстройки формы колебаний», с заданными или выбранными длиной и/или диаметрами могут быть применены для увеличения амплитуды локального максимума в конкретном месте формы колебаний, например, в форме масс-нормализованной формы колебаний. Такое усиление может повысить эффективность демпфирования. Таким образом, намеренная и конкретная модификация буровой колонны и/или КНБК может обеспечивать контроль

местоположения и амплитуды локального максимума формы колебаний, такой как масс-нормализованная форма колебаний, тем самым контролируя и/или повышая эффективность демпфирования, которая может быть реализована, как описано выше, с включением элементов подстройки формы колебаний.

[0127] Например, при помощи моделирования или другого программного обеспечения, могут быть выбраны отдельно элементы подстройки формы колебаний для реализации улучшенного или оптимального расположения демпферов на КНБК индивидуальной конструкции. Такое моделирование или программное обеспечение могут быть применены для обеспечения специальных пользовательских свойств (например, размеров, таких как длина или диаметр, материал и/или механические свойства, такие как жесткость, гибкость, масса, момент инерции, плотность или модуль упругости (сдвига и основной массы)), а также для позиционирования/расположения элементов подстройки формы колебаний, и/или для позиционирования/расположения одного или более демпферных элементов. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления программное обеспечение/моделирование может быть выполнено с возможностью выбора из набора (например, как показано на ФИГ. 29А) или списка конкретных заданных элементов подстройки формы колебаний, которые будут использованы в комбинации с одним или более демпферными элементами. Программное обеспечение/моделирование также можно применять для создания и оптимизации набора элементов подстройки формы колебаний. В дополнение к длине и диаметру для управления амплитудой локального максимума могут быть заданы пользовательские значения элементов подстройки формы колебаний, плотности, формы, модуля упругости (сдвига и основной массы) и/или других параметров, влияющих на гибкость или инерцию колонны и/или КНБК.

[0128] Демпфирование HFTO и, в частности, размещение устройств для улучшенного или оптимизированного демпфирования HFTO является довольно новой технологией. Основная теория описана в документе Hohl et al. (2015): «Вывод и экспериментальная проверка аналитического критерия идентификации самовозбуждаемых режимов колебаний в буровых системах», опубликованной в издании *Journal of Sound and Vibration*, 342, pp. 290–302, содержание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки. Одно представление подстройки формы колебаний для сведения к минимуму вибрации в определенных положениях в КНБК и снижения возбудимости S_c (например, наименьший наклон характеристики крутящего момента, для которой система является в минимальной степени устойчивой) описана в Патенте США № 9,976,405, названном «Способ уменьшения наведенных от долота вибраций путем намеренно модифицирующих форм колебаний бурильных колонн за счет изменений массы или жесткости», выданном 22 мая 2018 г., содержание которого полностью включено в настоящий документ посредством ссылки. Однако не описана искусственная максимизация амплитуды формы колебаний в фактическом положении демпфирующего элемента. Например, использование элементов подстройки формы колебаний, как описано в настоящем документе, можно применять для усиления или даже максимизации формы колебаний в конкретном положении и, таким образом, для обеспечения повышенной эффективности демпфирования HFTO. Примеры элементов подстройки формы колебаний могут представлять собой податливые для крутильных колебаний элементы (например, гибкие трубы) и/или компоненты с высокой инерцией (например, секции со значительной массой) или их комбинации различной длины, применяемые для

усиления амплитуды формы колебаний в положении демпфирующего элемента (например, демпфирующего элемента, как описано выше и ниже).

[0129] Размещение демпферов в произвольных положениях вдоль буровой колонны представляет собой один способ, но такое произвольное размещение может привести к неэффективному демпфированию. Такое произвольное размещение может быть выбрано, исходя из конкретной КНБК или другого свойства/характеристики колонны так, что демпферы помещают в места, которые являются целесообразными с точки зрения других признаков колонны. Этот недостаточный эффект демпфирования является результатом того, что большинство положений обладают значительно более низкой демпфирующей способностью, чем максимум (например, в положениях, не являющихся положениями максимума формы колебаний, таких как масс-нормализованная форма колебаний, показанная и описанная выше). Это приводит по существу к случайному позиционированию демпфирующих элементов, а значит — к относительно низкой эффективности демпфирования.

[0130] В дополнение к определению положения демпфера в месте неэффективного демпфирования, во время операции бурения часто присутствуют более одного режима НФТО. Каждый режим колебаний имеет соответствующую характеристическую частоту и форму колебаний с различными локальными максимумами и минимумами (в зависимости от длины волны). Если, вероятно, НФТО будут происходить более чем в одном режиме (что, как правило, является типовым случаем), предпочтительно, чтобы все (или большинство) этих режимов колебаний были демпфированы в достаточной степени.

[0131] На ФИГ. 23 представлены масс-нормализованные формы колебаний некоторых примеров режимов НФТО КНБК (верхний график) и нормализованное демпфирование (нормализованное до максимального значения демпфирования на расстоянии от долота = 0) для режимов колебаний (нижний график) в зависимости от расстояния от долота. Верхний график на ФИГ. 23 показывает, что для данной КНБК генерируются по меньшей мере четыре режима колебаний, соответствующие частотам 162 Гц, 216 Гц, 270 Гц и 324 Гц. Максимумы и минимумы четырех режимов колебаний расположены в разных позициях. Например, первый максимум режима колебаний 324 Гц находится на расстоянии приблизительно 10 м от долота, тогда как первый максимум режима колебаний 270 Гц находится на расстоянии приблизительно 6 м от долота. Как показано, за исключением бурового долота (расстояние 0), демпфирование изменяется с расстоянием от долота, но всегда составляет менее 25% от максимального демпфирования и, следовательно, является довольно небольшим. Таким образом, варианты осуществления настоящего изобретения направлены на оптимизацию размещения одного или более демпферов в эффективных положениях вдоль или предпочтительно в верхней части КНБК, чтобы эффективно демпфировать или уменьшить все режимы высокочастотных крутильных колебаний КНБК. Например, в зависимости от положения одного или более демпферов относительно КНБК (например, если один или более демпфер расположен за пределами КНБК или в верхней или нижней части КНБК), предпочтительно может быть возможным применение демпферного элемента или переводника с демпферным элементом без электрического соединения и/или демпферного элемента или переводника с демпферным элементом, который не имеет проводного подключения от верха до низа демпферного элемента или переводника с демпферным элементом.

[0132] Варианты осуществления настоящего изобретения относятся к размещению демпферов и подстройке форм колебаний для получения приемлемого демпфирования всех режимов колебаний, которые, вероятно, будут возникать во время бурения с помощью КНБК конкретной конструкции. Чтобы охватить все потенциальные формы колебаний, для создания достаточного демпфирования демпферные элементы не обязательно располагать в положении максимума каждого режима колебаний, а можно их поместить в положениях, демонстрирующих приемлемые амплитуды режима колебаний. Таким образом, достигается компромисс для всех режимов колебаний и вариантов позиционирования вместе с выбором применимых элементов подстройки формы колебаний (например, гибких секций и секций значительной массы) для усиления и концентрации локального максимума в определенных положениях. При допущении восприимчивости или жесткости определенных режимов колебаний, можно проводить взвешивание определенных режимов колебаний для оптимизации демпфирования выбранных или целевых режимов колебаний.

[0133] На ФИГ. 24А–24С представлены схематические графики, иллюстрирующие размещение демпфера на бурильной колонне и/или КНБК. На ФИГ. 24А–24С показано размещение одиночного демпфера для одного режима высокочастотных крутильных колебаний. Однако следует понимать, что описанный способ может быть применен для любого количества демпферных элементов и режимов колебаний. На ФИГ. 24А применено случайное размещение демпфера, и такое случайное размещение позволяет достичь демпфирования D только на уровне приблизительно 20% от максимально возможного демпфирования при нахождении демпфера в оптимальном положении в составе неоптимизированной КНБК (например, КНБК, которая не оптимизирована с точки зрения размеров, таких как длина или диаметр, материала и/или механических свойств, таких как жесткость, гибкость, масса, момент инерции, плотность или модуль упругости (сдвига и основной массы), а также с точки зрения позиционирования/расположения). Хотя масс-нормализованное отклонение режима колебаний составляет лишь немного меньше 50% по сравнению с оптимальным позиционированием, полученное демпфирование является значительно меньшим из-за квадратичной зависимости позиционирования (масс-нормализованная форма колебаний $\phi_{(i,j)}$) для режима колебаний i и положения j на демпфирующий эффект (D является пропорциональным $\phi_{(i,j)}^2$). Такая взаимосвязь описана во включенном выше документе Патент США №9,976,405.

[0134] Один способ оптимизации размещения демпфера заключается в изменении длины различных элементов бурильной колонны вблизи демпфера. Например, за счет удлинения трубы демпфер может быть перемещен в направлении максимума формы колебаний (показанных на ФИГ. 24В), что приводит к увеличению эффекта демпфирования (т. е. оптимальному положению в составе исходной КНБК). Длина элементов может быть увеличена путем включения в состав колонны одного или более элементов подстройки формы колебаний и/или замены обычного элемента колонны на элемент подстройки формы колебаний. Результирующее демпфирование может достигать эффективности до 100% (т. е. полное демпфирование заданного режима НФТО благодаря размещению демпфера и подстройке/смещению формы колебаний за счет элементов подстройки формы колебаний).

[0135] В дополнение к изменениям длины, для изменения момента инерции колонны можно применить один или более элементов подстройки формы колебаний. Это позволяет обеспечить локальное повышение амплитуды форм(ы) колебаний за счет объединения податливых и обладающих

высокой инерцией компонентов бурильной колонны. На ФИГ. 24С показано положение демпфера в составе КНБК, когда два компонента были изменены по длине и диаметру (т. е. заменены элементами подстройки формы колебаний) по сравнению с максимальным демпфированием без элементов подстройки формы колебаний, причем положение демпфера приводит к показателю в 140% от максимального демпфирования КНБК, которая не оптимизирована с точки зрения размеров, таких как длина или диаметр, материала и/или механических свойств, такие как жесткость, гибкость, масса, момент инерции, плотность или модуль упругости (сдвига и основной массы), а также позиционирования/расположения. Таким образом, применение элементов для подстройки формы колебаний для элемента конкретной длины и диаметра с целью оптимизации положения относительно максимума заданного режима колебаний, делает возможным максимальное демпфирование на уровне более 100%.

[0136] Элементы подстройки формы колебаний по настоящему изобретению обеспечивают локальные изменения свойств бурильной колонны и/или КНБК. Элементы подстройки формы колебаний могут применяться в качестве дополнительных элементов колонны или могут быть применены в качестве замены типовых компонентов колонны или КНБК. Элементы подстройки формы колебаний обеспечивают возможность выбора диаметра, длины, плотности, модуля упругости, материала, геометрической формы, геометрических свойств поперечного сечения и т. д., для подстройки или смещения формы колебаний и, таким образом, обеспечения возможности применения демпферов в конкретных местах для достижения максимальной эффективности демпфирования. Использование элементов подстройки формы колебаний может приводить к локальным изменениям форм колебаний (например, амплитуды) в одном, нескольких (например, для критических режимов колебаний) или всех режимов колебаний в месте расположения демпфера, а также всего режима колебаний (например, на буровом долоте). Кроме того, применение элементов подстройки формы колебаний может изменять частоту одного, нескольких или всех режимов колебаний (например, режимы колебаний могут становиться критическими или некритическими). Кроме того, элементы подстройки формы колебаний могут изменять возбуждаемость одного, нескольких или всех режимов колебаний (например, режимы колебаний могут становиться критическими или некритическими). Например, комбинация элементов подстройки формы колебаний податливого для крутильных колебаний типа (например, гибкие трубы) в объединении с компонентами, имеющими высокую инерцию (например, секции значительной массы) и различную длину может усиливать амплитуду формы колебаний в положении демпфирующего элемента.

[0137] По этой причине способы оптимизации по настоящему изобретению могут быть применены для определения демпфирования, достигаемого с помощью одного или множества демпферов в отношении различных режимов колебаний. За счет изменения локальных компонентов (например, за счет замены компонентов одним или более элементами подстройки формы колебаний) расположение оказывает влияние не только на эффект демпфирования, но также и на способность возбуждения критических режимов колебаний.

[0138] Способы оптимизации, которые могут быть применены в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, могут включать в себя анализ/расчеты/моделирование (например, численное моделирование) одного или более режимов НФТО для КНБК или буровой системы

с целью определения максимума формы колебаний или эффективности демпфирования. На втором этапе может быть выбран демпфер и/или элемент подстройки формы колебаний с заданной характеристикой. Такие характеристики могут включать в себя, без ограничений, размеры, такие как длина или диаметр, материал и/или механические свойства, такие как жесткость, гибкость, масса, момент инерции, плотность или модуль упругости (сдвига и основной массы). Будет выбрано положение, в котором демпфер и/или элемент подстройки формы колебаний будут добавлены в состав КНБК для получения модифицированной КНБК. На следующем этапе для модифицированной КНБК будут выполнены анализ/расчеты/моделирование (например, численное моделирование) для оценки одного или более режимов НФТО модифицированной КНБК с целью определения модифицированного максимума формы колебаний или модифицированной эффективности демпфирования. Если модифицированная КНБК соответствует критерию (например, предварительно выбранному критерию, такому как пороговое значение, которое связано с максимальной формой колебаний, способностью к возбуждению, производной формы колебаний, эффективностью демпфирования или разностью амплитуд двух форм колебаний), то указанная модифицированная КНБК может быть применена для бурения участка ствола скважины в указанном пласте. В противном случае модифицированная КНБК может быть дополнительно модифицирована путем добавления/удаления/перемещения демпфера(-ов) и/или элемента подстройки формы колебаний с заданной характеристикой до тех пор, пока критерий не будет достигнут. Таким образом, предпочтительное размещение и выбор демпферов и элементов подстройки формы колебаний могут быть определены с помощью итерационного процесса.

[0139] В дополнительном или альтернативном варианте осуществления предпочтительное размещение и выбор демпферов и элементов подстройки формы колебаний могут быть определены с помощью (численного) метода инверсии. Такой метод инверсии может включать в себя, например, автоматизированный или полуавтоматизированный метод инверсии. Кроме того, в дополнительном или альтернативном варианте осуществления, предпочтительное размещение и выбор демпферов и элементов подстройки формы колебаний могут быть определены с помощью способов оптимизации, которые могут включать в себя, без ограничений, оптимизацию на основе градиента. Такая оптимизация на основе градиента может включать в себя метод Нелдера-Мида. Как будет понятно специалистам в данной области техники, другие возможные способы оптимизации представляют собой модели Монте-Карло, оптимизацию Левенберга-Марквардта, генетический алгоритм, смоделированную нормализацию, алгоритм наименьших квадратов, алгоритм оптимизации подражанием муравьиной колонии, метод сопряженных градиентов, метод подпространства Крылова, метод бисопряженных градиентов или любой другой способ оптимизации. Критерии оптимизации или штрафную функцию задают, в основном, для максимального повышения демпфирования, но можно применять и ограниченную оптимизацию по геометрическим факторам или набору предварительно заданных элементов подстройки формы колебаний или другие ограничения. Преимущественно во время оптимизации один, несколько или все режимы колебаний могут быть взвешены с помощью весового коэффициента или весовой функции, например, для определения критериев оптимизации или штрафной функции. Следует понимать, что как подстройка формы колебаний, так и местоположение и влияние демпфирующих элементов могут быть учтены при проектировании компоновки/конфигурации.

[0140] Обратимся теперь к ФИГ. 25, на которой показаны формы колебаний, а также нормализованное минимальное демпфирование четырех (4) режимов колебаний. В конфигурации, используемой для иллюстрации на ФИГ. 25, в составе КНБК используют один или более элементов подстройки формы колебаний для смещения или изменения местоположения максимума (например, по сравнению с показанным на ФИГ. 23). Как показано на ФИГ. 25, на расстоянии приблизительно 7,5 м от бурового долота для всех режимов колебаний может быть определено минимальное нормализованное демпфирование на уровне более 60%. Таким образом, это положение является весьма подходящим для стабилизации всех режимов колебаний. Соответственно, за счет применения элементов подстройки режима колебаний, положение максимума множества различных режимов колебаний может быть по существу совмещено, что позволяет демпферу (или нескольким демпферам) снизить высокочастотные крутильные колебания колонны.

[0141] Кроме того, как показано на ФИГ. 25, если в составе бурильной колонны необходимо установить не один, а два демпфера, положение в 18 м от бурового долота также можно рассматривать как подходящее из-за совмещения с другим максимумом. Однако минимально нормализованное демпфирование в новом положении (18 м) может быть небольшим по сравнению с демпфированием в положении 7,5 м, причем комбинация обеих положений может обеспечивать улучшенное демпфирование по сравнению с системой одиночного демпфирования. Два режима колебаний (при 218 Гц и 263 Гц) имеют высокие отклонения форм колебаний в положении 7,5 м, а два режима колебаний (160 Гц и 317 Гц) имеют высокие отклонения форм колебаний в положении 18 м. В результате, размещение демпферных элементов в положениях 7,5 м и 18 м от бурового долота может привести к демпфированию во всех режимах колебаний.

[0142] Для обеспечения подстройки формы колебаний, в состав бурильную колонны или КНБК могут быть добавлены один или более конструктивных элементов, или они могут быть применены для замены типовой/обычной части модифицированной частью, которая представляет собой элемент подстройки формы колебаний. Таким образом, путем включения одного или более элементов подстройки формы колебаний, инструментальная колонна (т. е. бурильная колонна плюс КНБК) может быть адаптирована таким образом, что один или более максимумов, связанных с НТФО, могут быть смещены в своем положении, а множество различных максимумов может быть смещено в одно положение или в непосредственное приближение к одному местоположению так, что для демпфирования НТФО с различными режимами или порядками колебаний может быть применен одиночный демпферный элемент. Элементы подстройки формы колебаний могут включать в себя, например, секцию металлической трубы с выбранной или предварительно заданной длиной, диаметром и/или геометрическими свойствами, которая прикреплена к бурильной колонне в непосредственной близости от КНБК. Этот элемент подстройки формы колебаний может вносить в бурильную колонну дополнительную массу и/или гибкость (или негибкость) в месте ее присоединения, таким образом изменяя (и смещая) максимум высокочастотных крутильных колебаний системы. Исходя из этого смещения, для демпфирования одного или более выбранных режимов НТФО может быть установлен демпферный элемент.

[0143] Преимуществом является то, что элементы подстройки формы колебаний, добавляемые в секцию бурильной колонны, снаружи, возле, в состав или на КНБК, могут быть применены для

смещения положения максимума НФТО и дают возможность с помощью одного или более демпферных элементов обеспечить повышенную эффективность демпфирования. Положение элементов подстройки формы колебаний по отношению к КНБК может обеспечивать предпочтительное применение элементов подстройки формы колебаний без электрического подключения и/или элементов подстройки формы колебаний, которые не имеют проводных соединений от верха до низа указанного элемента подстройки формы колебаний. Эксплуатационные свойства применяемых демпферных элементов могут быть значительно улучшены за счет включения элементов подстройки формы колебаний, что, в свою очередь, может привести к уменьшению количества демпферных элементов. Кроме того, такая оптимизация или улучшенная эффективность могут приводить к применению демпферных элементов меньшего размера и/или меньшей стоимости и к более эффективному демпфированию при различных режимах колебаний.

[0144] Следует понимать, что варианты осуществления настоящего изобретения направлены не только на улучшение расположения демпфера с учетом конкретной формы колебаний. А именно, варианты осуществления настоящего изобретения направлены на изменение свойств бурильных колонн и/или состава КНБК или участка в непосредственной близости от нее. Такие модификации улучшают эксплуатационные характеристики установленных демпферов в соответствии с позиционированием и модифицированием формы колебаний (т. е. подстройка формы колебаний, ее регулировка и/или смещение). За счет изменения одной или более характеристик или свойств (например, длины, диаметра, плотности, геометрии и т. д.) колонны для одного или более режимов НФТО может быть достигнуто улучшенное демпфирование (например, более 100%).

[0145] На ФИГ. 26А–26В показаны иллюстрации скважинной колонны 2600, имеющей два демпфера. На ФИГ. 26А представлено схематическое изображение конструкции скважинной колонны 2600, а на ФИГ. 26В показаны формы колебаний, модифицированные или подстроенные с применением элементов 2602 подстройки формы колебаний. Как показано в данном варианте осуществления, представлены два демпферных элемента 2604, расположенных в смещенном максимуме так, что демпферными элементами 2604 могут быть охвачены множество режимов высокочастотных крутильных колебаний. На этой иллюстрации скважинная колонна 2600 представляет собой пример КНБК, имеющий установленные на ней демпферные элементы 2604. КНБК подвержены условиям с критическими вибрациями и, следовательно, демпфирование таких вибраций является предпочтительным. Во всех конфигурациях КНБК для максимального демпфирующего воздействия от установки демпферных элементов 2604 требуется всего несколько элементов 2602 подстройки формы колебаний (например, сегменты гибкой трубы и сегменты трубы большой массы).

[0146] В соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения может существовать возможность неизменно достигать конкретной реакции для всех режимов НФТО в каком-либо положении, за счет применения определенных компонентов (например, элементы подстройки формы колебаний, специальные демпферные элементы, разделительные устройства и т. д.). Например, разделительные устройства показаны и описаны в совместной заявке на патент США №2019/0284882A1, названной «Демпферы для снижения колебаний скважинного инструмента и устройство для изоляции колебаний на скважинной компоновке низа бурильной колонны», совместной заявке на патент США №62/899,331, названной «Амортизирующая соединительная муфта, предназначенная для уменьшения высокочастотных крутильных колебаний в бурильной колонне»,

совместной заявке на патент США № 62/899,332, названной «Амортизирующая соединительная муфта, предназначенная для ослабления вибраций в бурильной колонне», которые в полном объеме включены в настоящий документ посредством ссылки. Кроме того, следует понимать, что такие подстройка и смещение формы колебаний не ограничиваются фрикционными демпферами. Например, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения, могут быть применены принципы демпфирования на основе свойств жесткости. Оптимальное расположение в случае применения принципов демпфирования на основе свойств жесткости зависит не от амплитуды формы колебаний, а от ее производной. Таким образом, для демпфирования на основе свойств жесткости может быть учтено отличие между двумя амплитудами формы колебаний (разность формы колебаний). Оптимумом для демпфирования на основе свойств жесткости являются узлы, поскольку в них относительное смещение является наибольшим.

[0147] Как упоминалось выше, в дополнение к добавлению длины и/или массы в форме элементов подстройки формы колебаний, указанные элементы подстройки формы колебаний в соответствии с настоящим изобретением могут обеспечивать другие модификации колонны и/или КНБК так, чтобы форма колебаний была смещена или подстроена на конкретное положение, тем самым позволяя повысить эффективность демпферных элементов, установленных на колонне и/или КНБК или в их составе. Например, для повышения гибкости колонны может быть применено удлинение трубных сегментов, для достижения смещения формы колебаний НФТО может быть применено модифицирование по форме или геометрическим характеристикам (кроме изменения диаметра), изменение плотности и/или модуль упругости, или могут быть модифицированы или адаптированы другие свойства колонны/КНБК. Таким образом, в составе скважинной системы для повышения эффективности демпфирования НФТО и снижения вибраций инструмента может быть применена комбинация элементов подстройки формы колебаний и демпферных элементов и, таким образом, могут быть уменьшены, предотвращены или устранены связанные неблагоприятные воздействия.

[0148] На ФИГ. 27–28 представлены схематические изображения демпферных элементов 2700, 2800. Демпферные элементы 2700, 2800 выполнены с возможностью установки внутри лопасти устройства дезинтеграции, как описано выше. Каждый демпферный элемент 2700, 2800 содержит соответствующий корпус 2702, 2802 для размещения и содержания компонентов соответствующих демпферных элементов 2700, 2800. Первый демпферный элемент 2700 имеет по существу прямоугольную геометрическую конфигурацию (с изогнутыми углами), а второй демпферный элемент 2800 имеет по существу круглую геометрическую конфигурацию. Корпусы 2702, 2802 выполнены с возможностью установки в лопасть устройства дезинтеграции (например, как показано на ФИГ. 26).

[0149] Каждый из демпферных элементов 2700, 2800 содержит массовый элемент 2704, 2804, установленный с возможностью перемещения внутри корпусов 2702, 2802. Массовый элемент 2704, 2804 расположен между монтажным элементом 2706, 2806 и контактным элементом 2708, 2808. Монтажные элементы 2706, 2806 выполнены с возможностью приложения силы к соответствующему массовому элементу 2704, 2804 по направлению к контактным элементам 2708, 2808. Таким образом, между соответствующим массовым элементом 2704, 2804 и контактными элементами 2708, 2808 может быть достигнут фрикционный контакт. Массовые элементы 2704, 2804 могут быть расположены с одним или более ограничивающими упорами 2710, 2810 внутри соответствующих корпусов 2702, 2802.

Ограничивающие упоры 2710, 2810 могут включать необязательную жесткость или гидравлические элементы для демпфирования перемещения массовых элементов 2704, 2804.

[0150] Кроме того, ограничивающие упоры 2710, 2810 могут предотвращать застревание массовых элементов 2704, 2804 одного края корпуса 2702, 2802. Ограничивающие упоры 2710, 2810 могут быть выполнены с пружинами или другими элементами, чтобы избежать повреждения массовых элементов 2704, 2804 и прижимать массовые элементы 2704, 2804 к среднему положению или положению покоя относительно корпуса. В некоторых вариантах осуществления может быть предпочтительно оптимизировать жесткость пружины и/или зазор в корпусе 2702, 2802, чтобы позволить массовым элементам 2704, 2804 перемещаться внутри корпуса 2702, 2802. Демпферные элементы 2700, 2800 могут быть расположены в виде вставок (например, корпус 2702, 2802 выполнен с возможностью установки). Вставляемые демпферные элементы 2700, 2800 могут быть установлены таким образом, чтобы массовые элементы 2704, 2804 размещались в положении высокого радиуса относительно оси буровой системы для увеличения вращательной инерции.

[0151] Монтажный элемент 2706, 2806 выполнен с возможностью приложения нормального усилия к массовым элементам 2704, 2804 (например, усилие, которое является перпендикулярным монтажному элементу 2706, 2806 или массовым элементам 2704, 2804). Например, монтажный элемент 2706, 2806 может быть расположен в виде пружинных кожухов для прижимания массовых элементов 2704, 2804 с вхождением в контакт с контактным элементом 2708, 2808. Кроме того, монтажные элементы 2706, 2806 и/или контактные элементы 2708, 2808 могут быть выполнены с возможностью управления тангенциальным перемещением массовых элементов 2704, 2804 для обеспечения демпфирования НФТО. В некоторых вариантах осуществления монтажные элементы 2706, 2806 прижимают массовые элементы 2704, 2804 с вхождением в контакт с контактным элементом 2708, 2808 для создания силы трения. Сила трения прикладывается, например, через материал, который полезен относительно коэффициента трения и ожидаемого износа, который должен быть максимально низким.

[0152] В соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, может быть обеспечена интеграция средств демпфирования в буровое долото или другое местоположение на буровой колонне (например, возле КНБК или в ее составе). 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. Связывание также может быть достигнуто кинетически, например, посредством взаимодействия долота и породы. 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.

[0153] Другая форма демпфирования, которую можно применять, представляет собой гидравлическое демпфирование. Такое гидравлическое демпфирование может быть реализовано

посредством системы либо в лопастях долота, либо расположенную возле него или в других местах бурового долота или устройства дезинтеграции, или по длине КНБК или скважинной колонны. Один пример гидравлического демпфера показан и описан в совместной заявке на патент США №62/899,291, названной «Вязкостное демпфирование вибрации от крутильных колебаний», которая полностью включена в настоящий документ путем ссылки. 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 для достижения (демпфирующего) усилия, которое действует в направлении тангенциального ускорения и связанного с ним гармонического перемещения для демпфирования крутильных колебаний, таких как НФТО могут быть выбраны напряжения (сдвига) в текучей среде между инерционным кольцом/массой и буровым долотом/буровой системой. В случае кольцевого сдвига текучая среда обеспечивает демпфирующее усилие между инерционным кольцом/массой и буровым долотом. В этом случае для кольца может потребоваться закрытый корпус и, возможно, четко определенная геометрическая конфигурация зазоров между кольцом и корпусом. При гидравлическом демпфировании силы вязкого демпфирования чувствительны к изменениям параметров зазоров и вязкому флюиду. Таким образом, может быть предпочтительной жидкость, нечувствительная к температуре, или жидкость, которая менее чувствительна к температуре. Для достижения полезного режима можно применять флюиды с различными напряжениями сдвига в зависимости от скорости сдвига. Примеры таких жидкостей включают в себя, без ограничений, ньютоновские жидкости, дилатантные жидкости (например, жидкости, загустевающие при сдвиге), псевдопластические жидкости, бингамову пластическую жидкость, бингамовы псевдопластические жидкости и т. д. Предпочтительно, для достижения дисперсионного поведения жидкости к жидкости могут быть добавлены твердые вещества.

[0154] Кроме того, в некоторых вариантах осуществления можно применять магнитное демпфирование. Магнитное демпфирование может быть достигнуто с помощью постоянного магнита (например, установленного на инерциальном кольце/массе), который способен перемещаться относительно катушки и который может быть применен для демпфирования НФТО. В зависимости от принципа устройства магнита, характеристика демпфирующего усилия может быть сходна с гидравлическим усилием (например, в случае вихревых токов) или с силой 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 по окружности или в направлении, которое должно быть демпфировано.

[0155] Кроме того, в некоторых вариантах осуществления для предотвращения крутильных колебаний, таких как НФТО в буровом долоте или в буровой колонне, могут быть применены принципы пьезоэлектрического демпфирования. Может быть применен пьезоэлектрический материал, присоединенный к инерционному кольцу/массе с одной стороны, и к участку скважинной колонны с другой стороны. Электроды пьезоэлектрического материала могут быть соединены с цепью, включающей катушки, резисторы и конденсаторы или полуактивные или активные компоненты. Комбинацию электрических компонентов можно применять для достижения полезных характеристик демпфирования между инерционным кольцом/массой и компонентами скважинной колонны. Цепь может быть отрегулирована до частоты свободных вибраций системы для работы в качестве

подстроенного 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, действующей между инерционным кольцом/массой и компонентом скважинной колонны. Кроме того, жесткость пьезоэлектрического материала и инерционное кольцо/масса 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 за счет эффекта благоприятного преобразования механического усилия в электрический сигнал, который предусмотрен конструкцией пьезоэлектрического элемента. Хорошо известные эффекты пьезоэлектрических коэффициентов представляют собой D_{33} (в направлении силы), D_{31} (перпендикулярно направлению силы) и D_{15} (напряжения сдвига). Пьезоэлектрический материал может быть размещен для оптимизации или контроля соединения между механической и электрической системой для конкретной формы колебаний или множества форм колебаний, которые являются критическими для НФТО. 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.

[0156] 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.

[0157] 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 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, демпферы кольцевого типа или тангенциальные массовые/инерционные демпферы могут быть установлены внутри или прикреплены к лопастям устройства дезинтеграции или в других местах в составе буровой колонны. 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.

[0158] Как описано выше, один или более демпферных элементов могут быть встроены в буровое долото или другое устройство дезинтеграции, или в другие места вдоль скважинной колонны или КНБК. Например, демпфер долота может быть расположен на хвостовике долота или возле него. 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 вокруг скважинной колонны (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.

[0159] В некоторых вариантах осуществления может быть применена конструкция разрезного кольца, в которой дискретные массы расположены за или рядом с лопастями бурового долота. В другом примере полная кольцевая конструкция может быть расположена рядом с лопастями, но конкретные дополнительные массовые элементы или элементы кольца могут быть расположены относительно конкретных лопастей бурового долота. Один из таких примеров может иметь относительно толстое кольцо в положении лопастей и более низкую толщину, чтобы обеспечить возможность прохождения потока кусков породы вдоль бурового долота. Кроме того, такие кольца могут быть расположены в других местах вдоль скважинной колонны (например, КНБК).

[0160] В некоторых вариантах осуществления может быть предусмотрен ограничивающий упор, который может препятствовать свободному перемещению инерционного кольца/массы по окружности бурового долота. Такой ограничивающий упор может быть обеспечен в вариантах осуществления, в которых масса или более высокая масса расположена за или рядом с конкретными лопастями. В таких случаях ограничитель может гарантировать, что инерционное кольцо/масса остается в нужном положении относительно лопастей или что пространство, в котором может перемещаться инерционное кольцо/масса, является ограниченным.

[0161] Следует понимать, что для создания окружных усилий трения в демпфирующих элементах фрикционного типа по настоящему изобретению могут применяться радиальные и/или осевые контактные усилия. Радиальные силы трения могут быть созданы за счет пружин, разности давлений или упругой конструкции инерционного кольца или его сегментов, которые могут иметь два или более кожухов и являться предварительно напряженными. Осевое нормальное усилие может быть достигнуто с помощью пружин, разности давлений и/или веса инерционного кольца/массы в негоризонтальном стволе скважины. Материал бурового долота или другого устройства дезинтеграции может представлять собой сталь или матричный композит и т. д. В некоторых вариантах осуществления для обеспечения перемещения инерционного кольца/массы в радиальном направлении может быть применен подшипник. Таким образом, для обеспечения окружного и/или тангенциального перемещения демпферного элемента может быть предусмотрен подшипник. Осевой подшипник может быть применен для отделения комплекта пружины потенциальной нормальной силы от вращательного движения.

[0162] В некоторых вариантах осуществления, как альтернатива демпферному элементу кольцевого типа или в комбинации с ним, могут быть реализованы демпферные элементы в составе или на лопастях устройства дезинтеграции, стабилизатора, или в составе других компонентов скважинной колонны или на них. В некоторых таких вариантах осуществления демпферные элементы могут быть установлены внутри корпусов, которые ввинчивают в лопасти или выемки, под гильзы, или крышки

смотровых проемов. В некоторых таких конфигурациях могут быть обеспечены один или более ограничивающих упоров для предотвращения прихвата или заклинивания демпферных элементов на краю или в углу корпуса. Контакт между ограничивающим упором и массой 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 демпфера внутри корпуса и, таким образом, обеспечения демпфирования вибраций, как описано выше.

[0163] Также могут быть применены элементы регулирования, которые изменяют свойства контакта между контактирующими элементами в составе скважинной колонны. Например, нормальную силу можно регулировать в фрикционном контакте. Кроме того, нормальное усилие или эффективность демпфера можно измерить с помощью нагрузки и ускорения или других устройств измерения вибрации, и отрегулировать на основании этих измерений.

[0164] Обратимся теперь к ФИГ. 29А–29В, где схематически изображены различные типы элементов подстройки формы колебаний. На ФИГ. 29А представлен набор примеров элементов 2902–2916 подстройки формы колебаний, а на ФИГ. 29В показана скважинная колонна 2920 (например, КНБК), имеющая различные элементы 2922 подстройки формы колебаний (например, один или более из иллюстративных элементов 2902–2916 подстройки формы колебаний) установленные на ней для подстройки или смещения, или уменьшения одного или более максимумов режима НФТО и, таким образом, обеспечения демпфирования таких вибраций от НФТО в скважинной колонне 2920.

[0165] Как показано на ФИГ. 29А, элементы подстройки формы колебаний могут иметь различные размеры. Каждый из элементов 2902–2916 подстройки формы колебаний имеет разную длину и, как показано, элементы 2902, 2904 подстройки формы колебаний имеют большие диаметры и могут быть выполнены в виде элементов подстройки формы колебаний с добавлением веса (т. е. имеющими значительную массу). И напротив, элементы 2906, 2908, 2910, 2912, 2914, 2916 подстройки формы колебаний имеют меньший диаметр и могут обеспечивать гибкость колонны, к которой они присоединены (т. е. гибкие трубы). Элементы 2902–2916 подстройки формы колебаний могут также отличаться жесткостью по отношению к скручивающему моменту. Также на ФИГ. 29А показан переводник 2918 с демпферным элементом. Скважинная колонна, такая как скважинная строка 2920, показанная на ФИГ. 29В, может быть выполнена с одним или более элементами подстройки формы колебаний, чтобы обеспечить возможность смещения одного или более максимумов НФТО, а затем обеспечить улучшенное демпфирование, осуществляемое с помощью переводника 2918 с демпферным элементом.

[0166] Как показано на ФИГ. 29В, скважинная колонна 2920 включает в себя двигатель 2924, один или более элементов 2922 подстройки формы колебаний (которые, например, могут быть выбраны из элементов 2902–2916 подстройки формы колебаний, показанных на ФИГ. 29А), переводник 2918 с демпферным элементом, гибкий стабилизационный переводник 2926, набор элементов 2928 для выполнения бурения (например, измерения во время бурения, каротаж во время бурения, направляющий механизм и т. д.) и устройство 2930 дезинтеграции (например, буровое долото), расположенное на ее конце. Включение элементов 2922 подстройки формы колебаний в состав скважинной колонны 2920 позволяет подстраивать или смещать один или более максимумов НФТО, за счет чего НФТО могут быть

уменьшены, когда элементы расположены в пределах КНБК, которая является чувствительной к НФТО. Кроме того, включение элементов 2922 подстройки формы колебаний в состав скважинной колонны 2920 позволяет осуществлять подстройку или смещение одного или более максимумов НФТО, то есть местоположение переводника 2918 с демпфирующим элементом может быть оптимизировано для демпфирования таких вибраций.

[0167] Соответственно, варианты осуществления настоящего изобретения относятся к определению положения демпфирующей системы, такой как демпфер кольцевого типа или тангенциальный демпфер в составе скважинной колонны, то есть возле или в составе бурового долота или другого устройства дезинтеграции, или в других конкретных местоположениях в составе/на/вдоль скважинной колонны. Путем определения местоположения демпфирующей системы в конкретных местоположениях в составе/на/вдоль скважинной колонны (например, в направляющем механизме, в буровом долоте или в других местах) может быть достигнуто улучшенное демпфирование НФТО или других режимов вибрации. Кроме того, элементы подстройки формы колебаний могут быть выполнены с возможностью размещения одного или более демпфирующих элементов на конце буровой колонны или вблизи него, на конце КНБК, в непосредственной близости или на буровом долоте (например, в пределах 10 м от бурового долота, например, в пределах 5 м от бурового долота или даже в пределах 3 м от бурового долота), в одном или более максимуме одной или более формы колебаний, или в одном или более узлах формы колебаний для эффективного обеспечения демпфирования одного или более режимов НФТО с одним демпфирующим элементом. Таким образом, как описано в настоящем документе, может быть совмещено (подстроено) максимальное количество различных режимов НФТО может быть выровнено (настроено), чтобы обеспечить оптимальное расположение демпфирующего элемента для демпфирования одного или более режимов НФТО и, таким образом, уменьшения вибраций скважинной системы.

[0168] Вариант осуществления 1. Система для демпфирования высокочастотных крутильных колебаний (НФТО) скважинной системы, причем указанная скважинная система содержит: скважинную буровую систему, расположенную на конце скважинной системы в рабочем соединении с буровым долотом; демпфирующую систему, установленную на скважинной буровой системе, причем указанная демпфирующая система содержит по меньшей мере один демпферный элемент, выполненный с возможностью демпфирования по меньшей мере одного режима НФТО; и по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний, расположенный на буровой системе, причем указанный по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний расположен на буровой системе и выполнен с возможностью изменения по меньшей мере одного из: формы режима НФТО, частоты режима НФТО, способности возбуждения режима НФТО и эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента.

[0169] Вариант осуществления 2. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний расположен на буровой системе и выполнен с возможностью изменения формы режима НФТО в месте расположения по меньшей мере одного демпферного элемента.

[0170] Вариант осуществления 3. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний выбран на

основании по меньшей мере одного из: размера по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний, свойств материала по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний и механических свойств по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний.

[0171] Вариант осуществления 4. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой расположение по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний на буровой системе выбрано по меньшей мере для одного из модификаций формы режима HFTO в положении по меньшей мере одного демпферного элемента и оптимизации эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента.

[0172] Вариант осуществления 5. Система по любому предшествующему варианту осуществления, дополнительно содержащая совокупность элементов подстройки формы колебаний, из которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний выбран для размещения на буровой системе.

[0173] Вариант осуществления 6. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний выбран для размещения на буровой системе на основании численного моделирования HFTO по меньшей мере участка скважинной системы.

[0174] Вариант осуществления 7. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой по меньшей мере один из по меньшей мере одного демпферного элемента и по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний расположен и/или выбран на основании численной инверсии.

[0175] Вариант осуществления 8. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой демпфирующая система представляет собой по меньшей мере одну из вязкостной демпфирующей системы, фрикционной демпфирующей системы, гидравлической демпфирующей системы, магнитной демпфирующей системы и пьезоэлектрической демпфирующей системы.

[0176] Вариант осуществления 9. Система по любому предшествующему варианту осуществления, дополнительно содержащая разделительный элемент.

[0177] Вариант осуществления 10. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой по меньшей мере один демпферный элемент расположен в пределах 10 метров от бурового долота.

[0178] Вариант осуществления 11. Способ демпфирования высокочастотных крутильных колебаний (HFTO) скважинной системы, причем указанный способ содержит: бурение с помощью скважинной буровой системы недр земли, причем указанная скважинная буровая система находится в рабочем соединении с буровым долотом и содержит демпфирующую систему, которая включает в себя по меньшей мере один демпферный элемент и по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний, расположенные на буровой системе; выбор конфигурации и расположение по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний буровой системы для изменения по меньшей мере одного из формы режима HFTO, частоты режима HFTO, способности возбуждения режима HFTO и эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента; и демпфирование по меньшей мере одного режима HFTO с по меньшей мере одним демпферным элементом.

[0179] Вариант осуществления 12. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, в котором по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний расположен на буровой системе и выполнен с возможностью изменения формы режима НФТО в месте расположения по меньшей мере одного демпферного элемента.

[0180] Вариант осуществления 13. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, дополнительно содержащий выбор по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний для размещения в составе буровой системы на основании по меньшей мере одного из: размера по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний, свойств материала по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний и механических свойств по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний.

[0181] Вариант осуществления 14. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, дополнительно содержащий выбор положения по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний на буровой системе для по меньшей мере одного из модификации формы режима НФТО в положении по меньшей мере одного демпферного элемента и оптимизации эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента.

[0182] Вариант осуществления 15. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, дополнительно содержащий выбор по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний из совокупности элементов подстройки формы колебаний для размещения в буровой системе.

[0183] Вариант осуществления 16. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, дополнительно содержащий: выполнение численного моделирования НФТО по меньшей мере участка скважинной системы; и выбор по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний для размещения в буровой системе, исходя из численного моделирования НФТО участка скважинной системы.

[0184] Вариант осуществления 17. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, дополнительно содержащий: выполнение численной инверсии и по меньшей мере одно из позиционирования и выбора по меньшей мере одного из: по меньшей мере одного демпферного элемента и по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний, исходя из численной инверсии.

[0185] Вариант осуществления 18. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, в котором демпфирующая система представляет собой по меньшей мере одну из вязкостной демпфирующей системы, фрикционной демпфирующей системы, гидравлической демпфирующей системы, магнитной демпфирующей системы и пьезоэлектрической демпфирующей системы.

[0186] Вариант осуществления 19. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, в котором скважинная буровая система дополнительно содержит разделительный элемент.

[0187] Вариант осуществления 20. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, в котором по меньшей мере один демпферный элемент расположен в пределах 10 м от бурового долота.

[0188] Вариант осуществления 21. Система для демпфирования крутильных колебаний скважинных систем, причем указанная система содержит: буровую систему, содержащую компоновку низа бурильной колонны, расположенную на конце буровой колонны; по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний, расположенный на буровой системе, причем указанный по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний, выполненный с возможностью смещения местоположения одного или более максимумов высокочастотных крутильных колебаний (HFTO); и демпфирующую систему, выполненную на буровой системе, причем указанная демпфирующая система содержит по меньшей мере один демпферный элемент, расположенный ближе к смещенному расположению одного или более максимумов, чем без элемента подстройки формы колебаний, расположенного на буровой системе.

[0189] Вариант осуществления 22. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний представляет собой секцию трубы, имеющую по меньшей мере одно из следующего: заданный размер, такой как заданная длина или заданный диаметр, материал и/или заданные механические свойства, такие как заданная жесткость, заданная гибкость, заданный вес, заданный момент инерции, заданная плотность или заданный модуль упругости (сдвига и основной массы), а также заданное позиционирование/расположение.

[0190] Вариант осуществления 23. Система по любому предшествующему варианту осуществления, в которой демпфирующая система содержит переводник с демпфирующим элементом, в состав которого входит по меньшей мере один демпферный элемент.

[0191] Вариант осуществления 24. Система по любому из предшествующих вариантов осуществления, в которой демпфирующая система выполнена с возможностью обеспечения по меньшей мере одного из вязкостного демпфирования, фрикционного демпфирования, гидравлического демпфирования, пьезоэлектрического демпфирования, демпфирования вихревыми токами и магнитного демпфирования крутильных колебаний буровой системы.

[0192] Вариант осуществления 25. Способ демпфирования крутильных колебаний скважинной системы в стволе скважины, причем указанный способ содержит: установку по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний на буровой системе, причем по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний выполнен с возможностью смещения местоположения одного или более максимумов режима высокочастотных крутильных колебаний (HFTO) буровой системы; и установку на буровой системе демпфирующей системы, причем указанная демпфирующая система содержит по меньшей мере один демпферный элемент, расположенный ближе к смещенному местоположению максимума, чем без элемента подстройки формы колебаний, установленного на буровой системе.

[0193] Вариант осуществления 26. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, в котором по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний представляет собой секцию трубы, имеющую по меньшей мере одно из следующего: заданный размер, такой как заданная длина или заданный диаметр, материал и/или заданные механические свойства, такие как заданная жесткость, заданная гибкость, заданный вес, заданный момент инерции, заданная плотность или заданный модуль упругости (сдвига и основной массы), а также заданное позиционирование/расположение.

[0194] Вариант осуществления 27. Способ по любому предшествующему варианту осуществления, в котором демпфирующая система содержит переводник с демпфирующим элементом, в состав которого входит по меньшей мере один демпферный элемент.

[0195] Вариант осуществления 28. Способ по любому из предшествующих вариантов осуществления, в котором демпфирующая система выполнена с возможностью обеспечения по меньшей мере одного из вязкостного демпфирования, фрикционного демпфирования, гидравлического демпфирования, пьезоэлектрического демпфирования, демпфирования вихревыми токами и магнитного демпфирования крутильных колебаний буровой системы.

[0196] 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 экраный 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.

[0197] 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.

[0198] 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).

[0199] 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.

[0200] 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.

[0201] 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 ограничено 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.

[0202] Соответственно, варианты осуществления настоящего изобретения не следует рассматривать как ограниченные приведенным выше описанием, вместо этого они ограничены только объемом прилагаемой формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Система для демпфирования высокочастотных крутильных колебаний (НФТО) скважинной системы (1002), при этом указанная скважинная система (1002) содержит:
скважинную буровую систему (10), расположенную на конце скважинной системы (1002) в рабочем соединении с буровым долотом;
демпфирующую систему (700, 1000, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900), установленную на скважинную буровую систему (10), причем указанная демпфирующая система (700, 1000, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900) содержит по меньшей мере один демпферный элемент (2604, 2700, 2800), выполненный с возможностью демпфирования по меньшей мере одного режима высокочастотных крутильных колебаний; и
по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922), размещенный на скважинной буровой системе (10),
при этом по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) расположен на скважинной буровой системе (10) и выполнен с возможностью изменения по меньшей мере одного из форм режима НФТО, частоты режима НФТО, способности возбуждения режима НФТО и эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800).
2. Система по п. 1, в которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) расположен на скважинной буровой системе (10) и выполнен с возможностью усиления режима НФТО в месте расположения по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800) на скважинной буровой системе.
3. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) выбран, исходя из по меньшей мере одного из: размера по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922), свойства материала по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) и механических свойств по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922).
4. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой расположение по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) на скважинной буровой системе (10) выбрано для по меньшей мере одного из модификации формы режима НФТО в положении по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800) на скважинной буровой системе и оптимизации эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800).
5. Система по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая совокупность элементов подстройки формы колебаний (2602), из которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) выбран для размещения на скважинной буровой системе (10).
6. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) выбран для

размещения на скважинной буровой системе (10) на основе численного моделирования НФТО по меньшей мере участка скважинной системы (1002), причем, предпочтительно, по меньшей мере один из по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800) и по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) расположен, выполнен и/или выбран на основании численной инверсии.

7. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой демпфирующая система (700, 1000, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900) представляет собой по меньшей мере одну из вязкостной демпфирующей системы, фрикционной демпфирующей системы, гидравлической демпфирующей системы, магнитной демпфирующей системы и пьезоэлектрической демпфирующей системы.

8. Система по любому из предшествующих пунктов, дополнительно содержащая разделительный элемент.

9. Система по любому из предшествующих пунктов, в которой по меньшей мере один демпферный элемент (2604, 2700, 2800) расположен в пределах 10 м от бурового долота.

10. Способ демпфирования высокочастотных крутильных колебаний (НФТО) скважинной системы (1002), причем указанный способ содержит:

бурение с помощью скважинной буровой системы (10) недр земли, причем указанная скважинная буровая система (10) находится в рабочем соединении с буровым долотом и содержит демпфирующую систему (700, 1000, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900), которая включает в себя по меньшей мере один демпферный элемент (2604, 2700, 2800) и по меньшей мере один элемент подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922), размещенные на скважинной буровой системе (10);

демпфирование по меньшей мере одного режима НФТО с помощью по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800); и

выбор конфигурации и расположение по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) на скважинной буровой системе (10) для изменения по меньшей мере одного из формы режима НФТО, частоты режима НФТО, способности возбуждения режима НФТО и эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800).

11. Способ по п. 10, дополнительно содержащий выбор по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) для размещения в составе скважинной буровой системы (10) на основании по меньшей мере одного из: размера по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний, свойств материала по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний и механических свойств по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний.

12. Способ по любому из пп. 10–11, дополнительно содержащий расположение по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) на скважинной буровой системе (10) для по меньшей мере одного из: усиления режима НФТО в месте расположения по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800) на скважинной

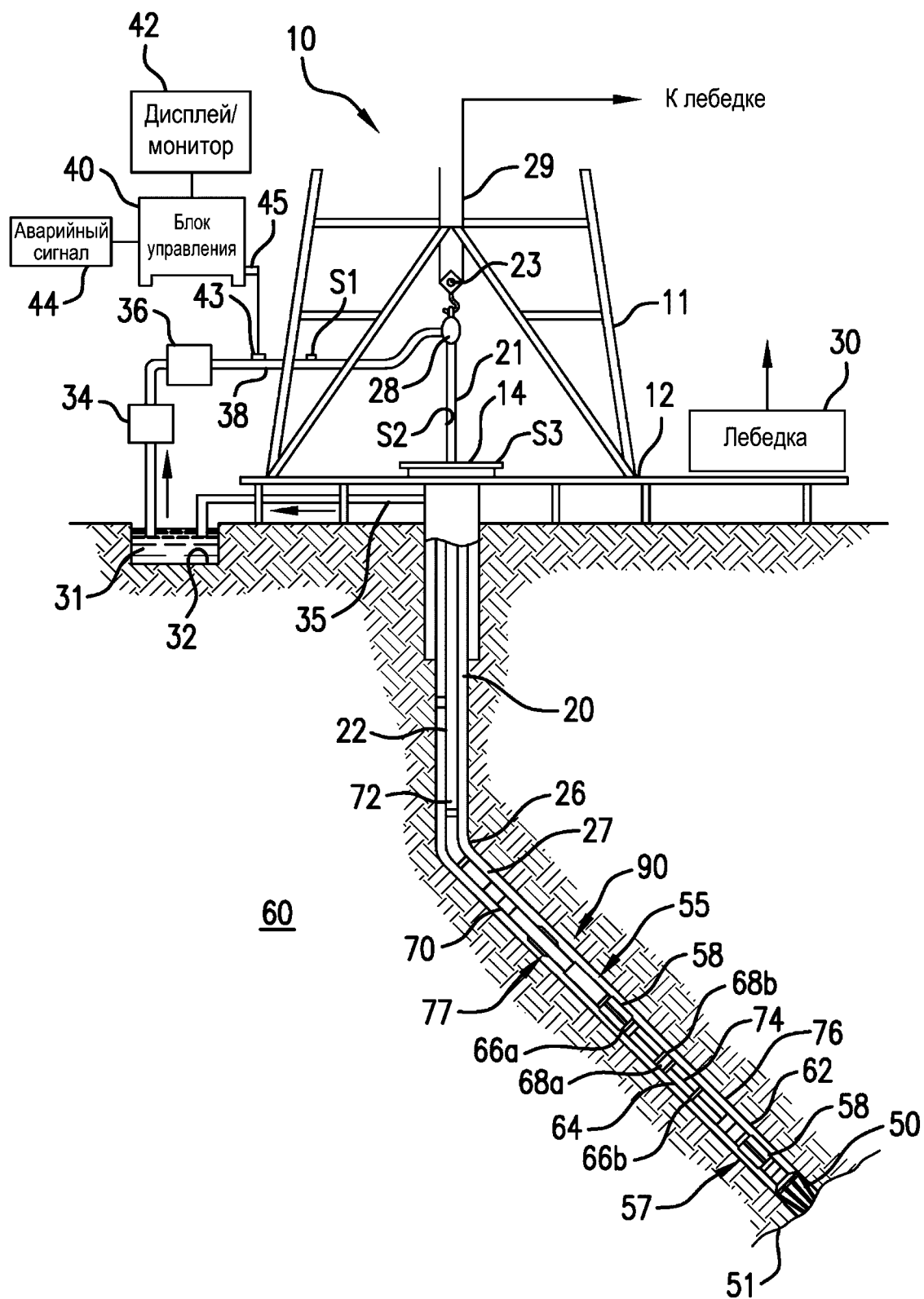
буровой системе и оптимизации эффективности демпфирования по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800) на скважинной буровой системе.

13. Способ по любому из пп. 10–12, дополнительно содержащий выбор по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) из совокупности элементов подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) для размещения в составе скважинной буровой системы (10).

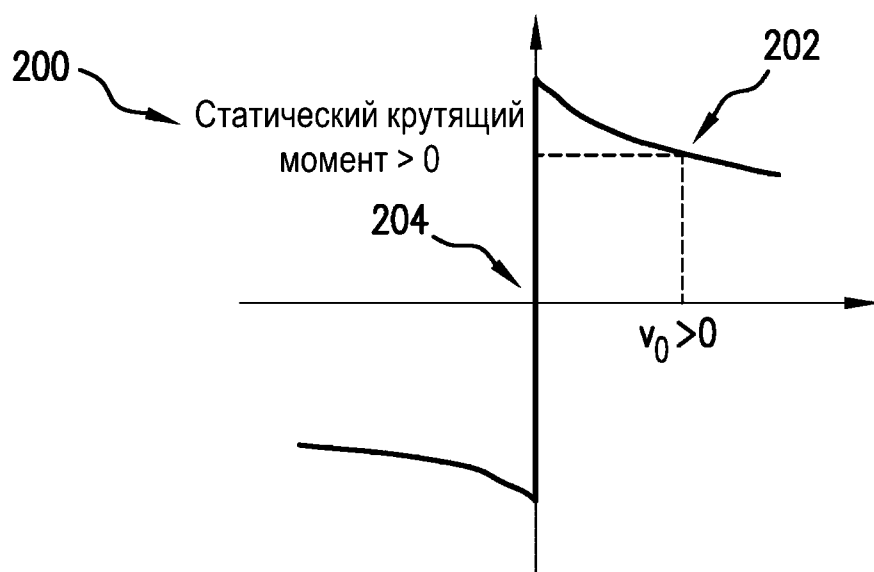
14. Способ по любому из пп. 10–13, дополнительно содержащий:
выполнение численного моделирования НФТО по меньшей мере участка скважинной буровой системы (1002); и

выбор по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922) для размещения в составе скважинной буровой системы (10), исходя из численного моделирования НФТО участка скважинной системы (1002).

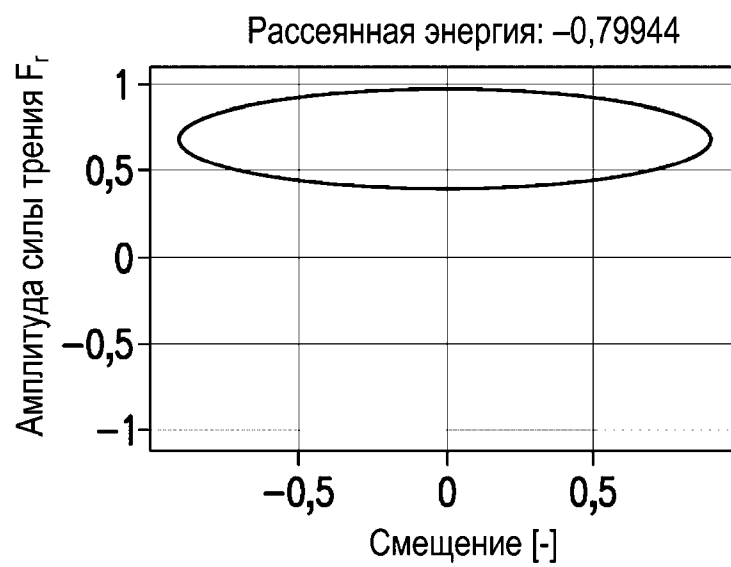
15. Способ по п. 14, дополнительно содержащий:
выполнение численной инверсии; и
по меньшей мере одно из: позиционирование и выбор по меньшей мере одного из по меньшей мере одного демпферного элемента (2604, 2700, 2800) и по меньшей мере одного элемента подстройки формы колебаний (2602, 2902, 2904, 2906, 2908, 2910, 2912, 2922), исходя из численной инверсии.



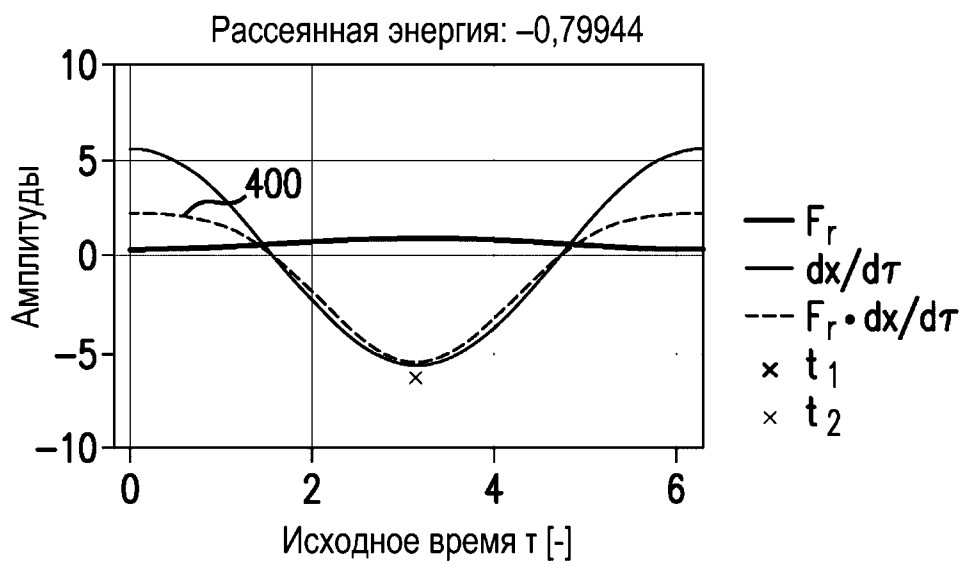
ФИГ. 1



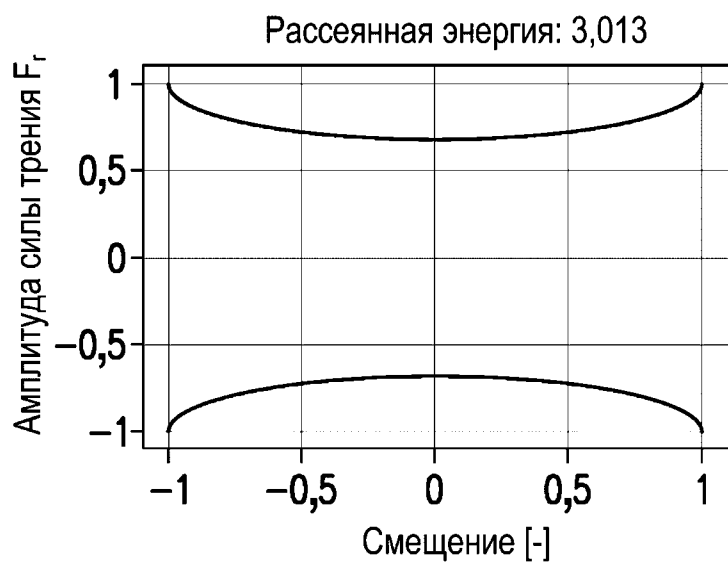
ФИГ. 2



ФИГ. 3



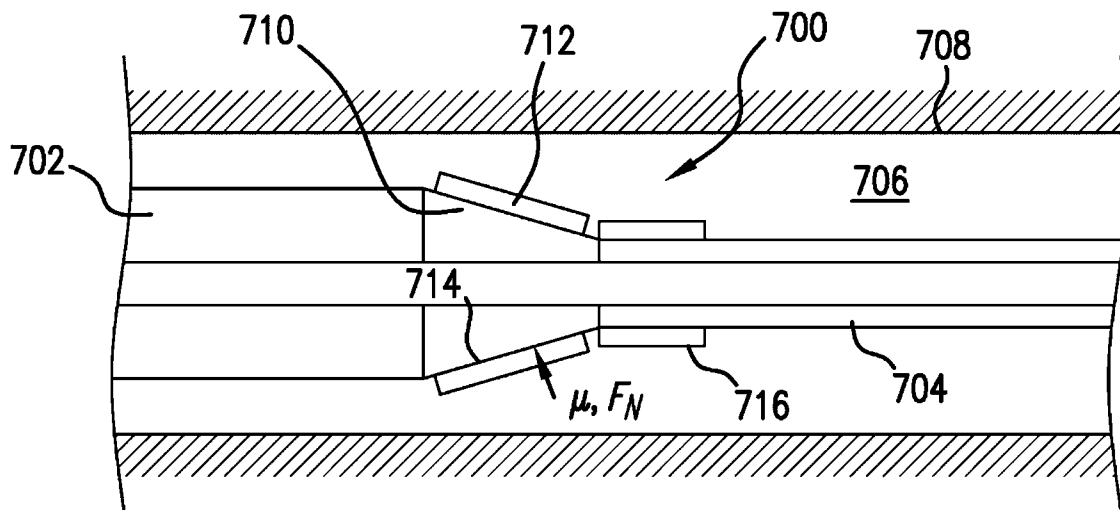
ФИГ. 4



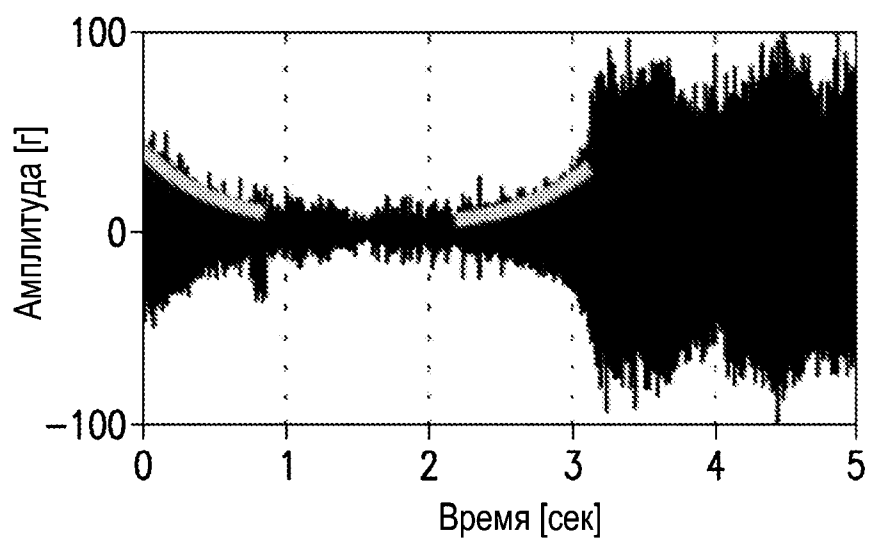
ФИГ. 5



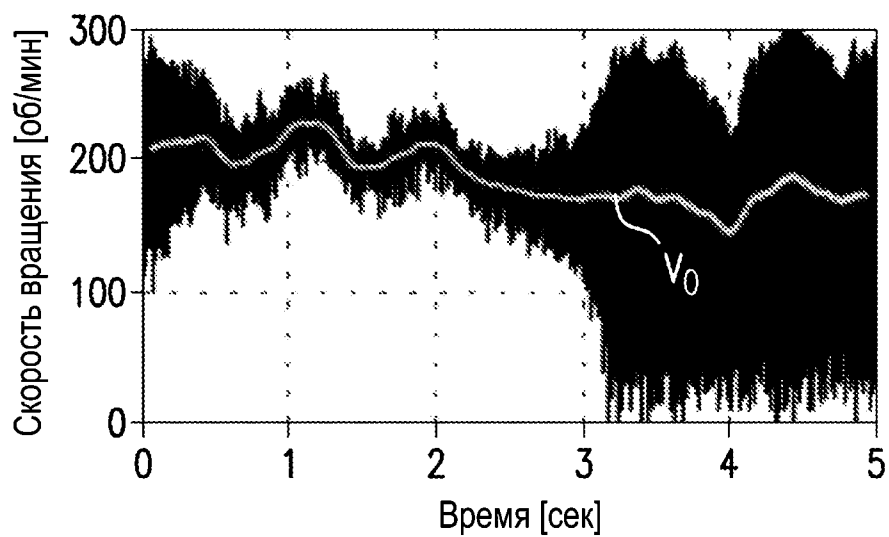
ФИГ. 6



ФИГ. 7



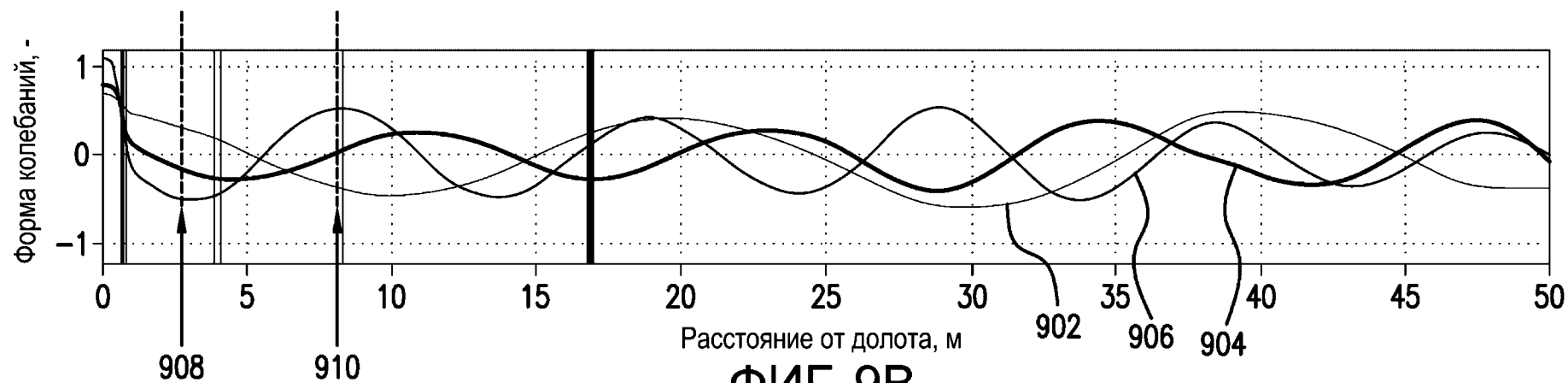
ФИГ. 8А



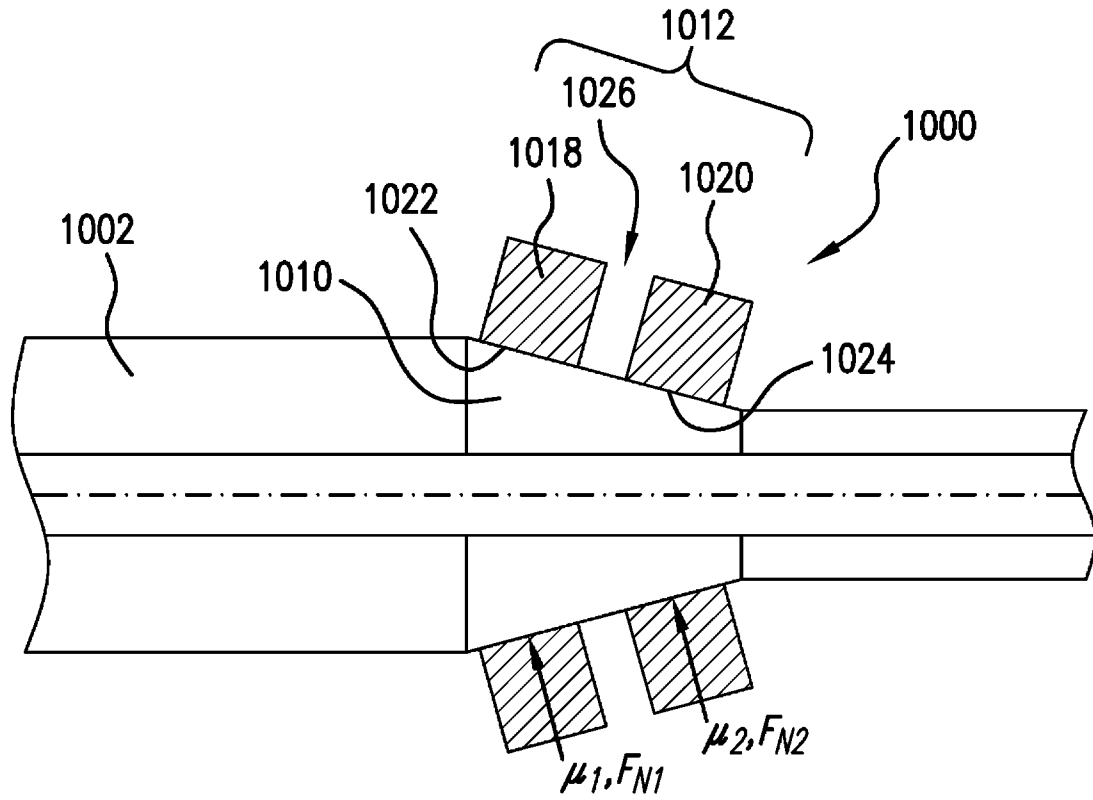
ФИГ. 8В



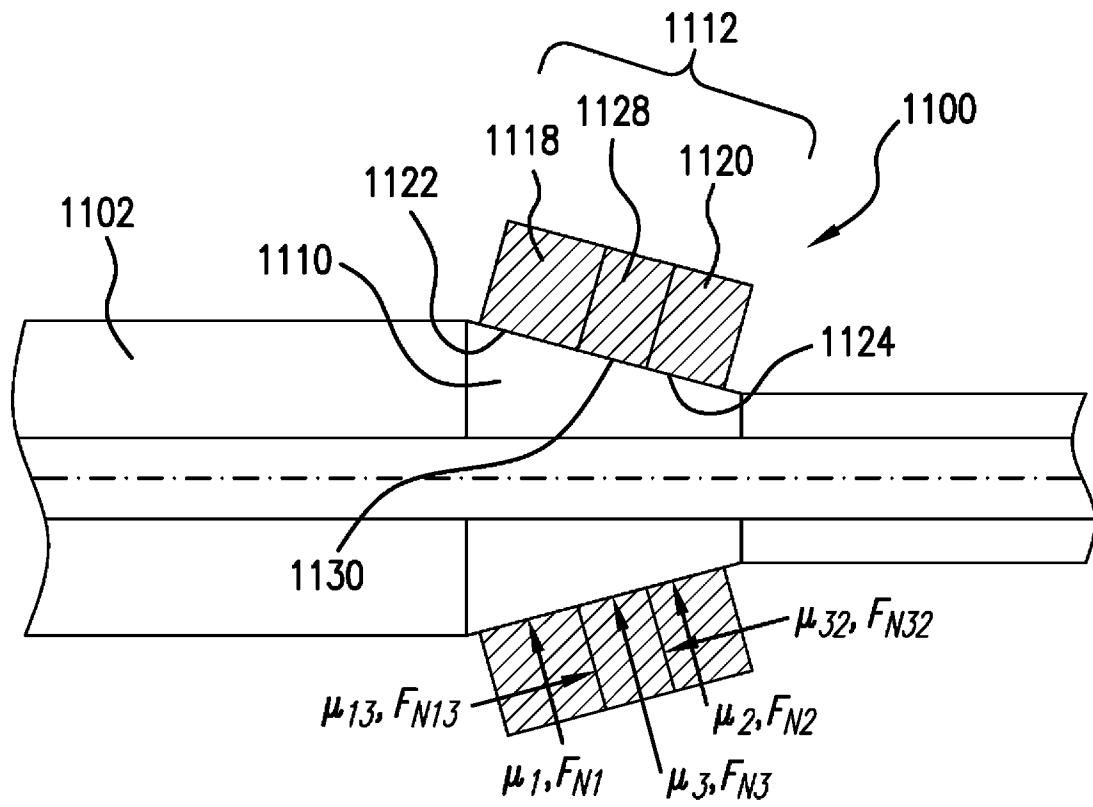
ФИГ. 9А



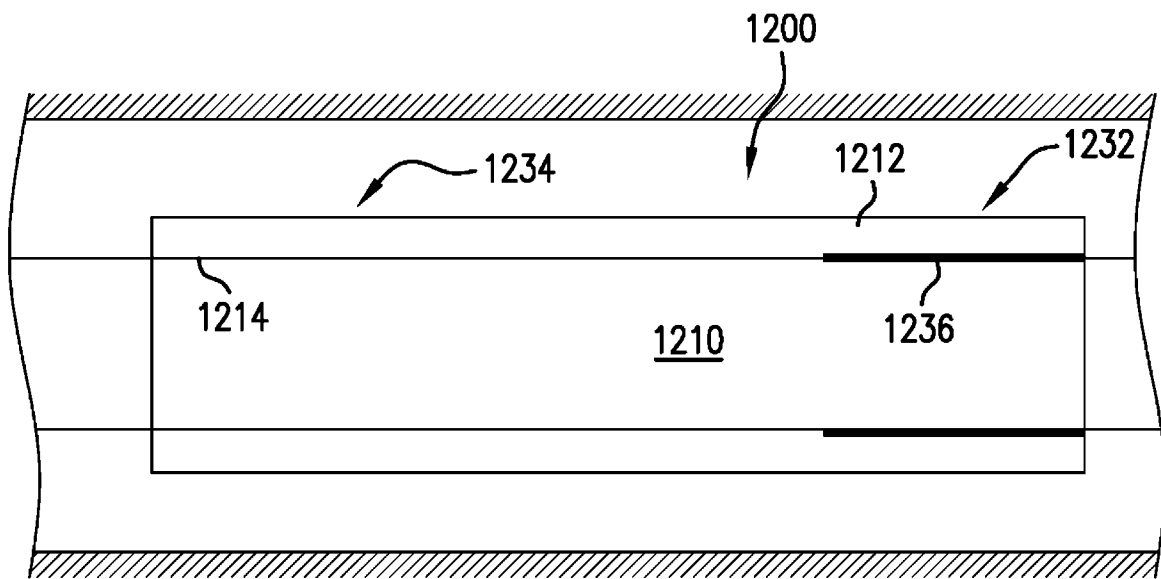
ФИГ. 9В



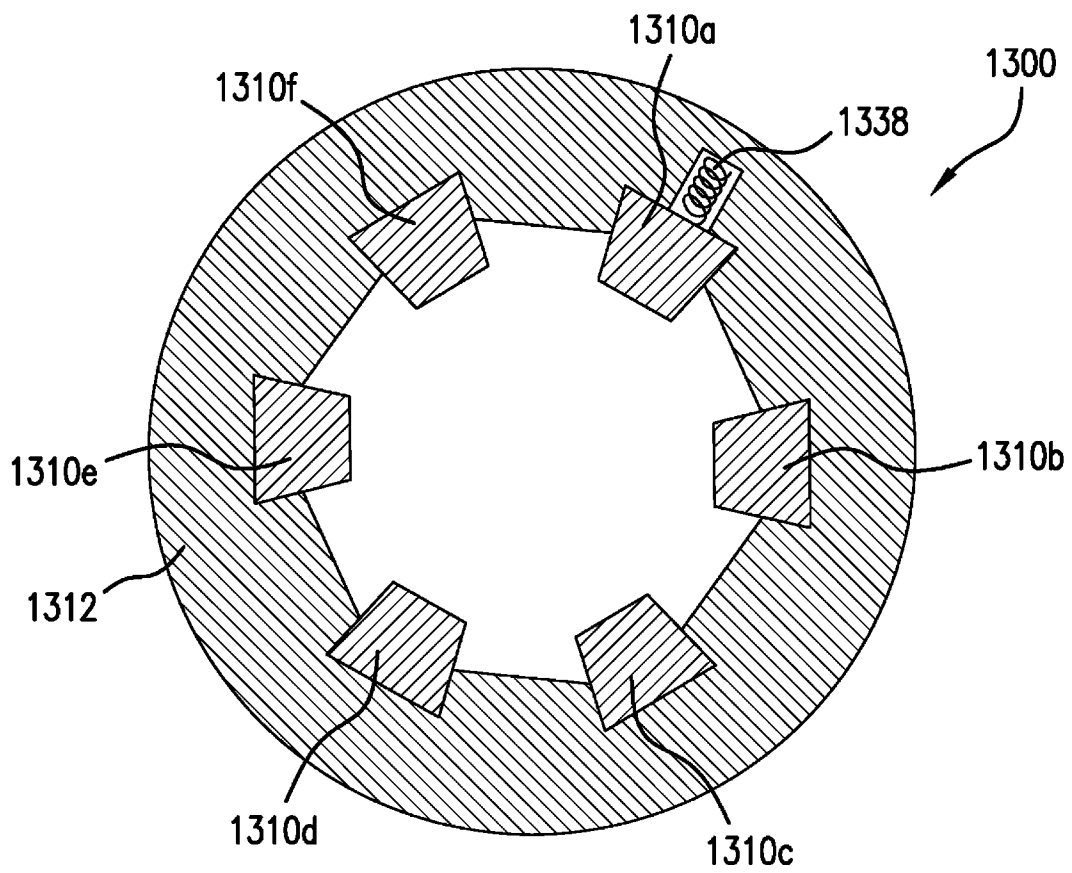
ФИГ. 10



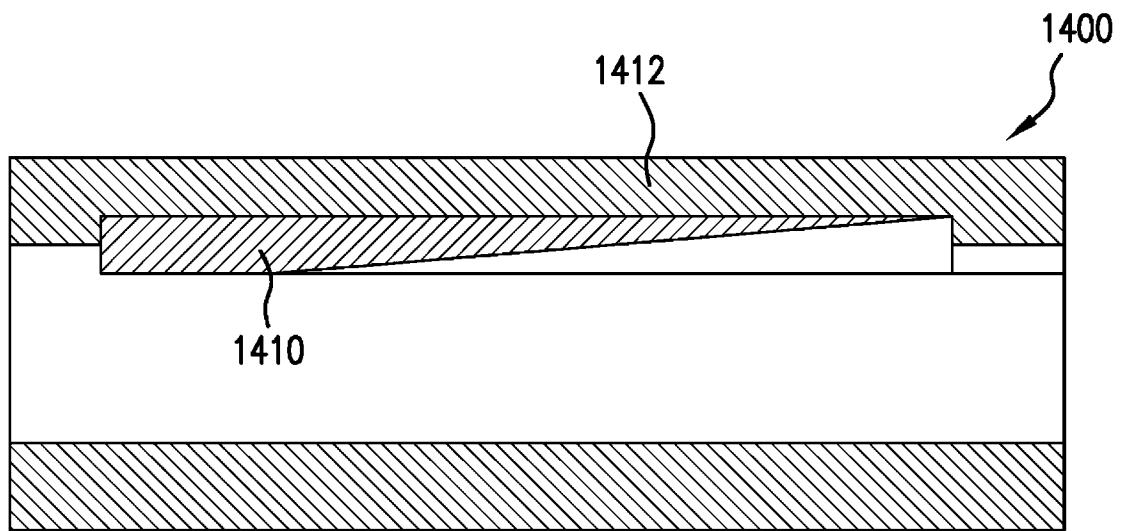
ФИГ. 11



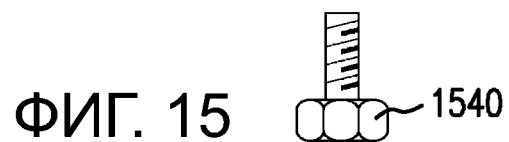
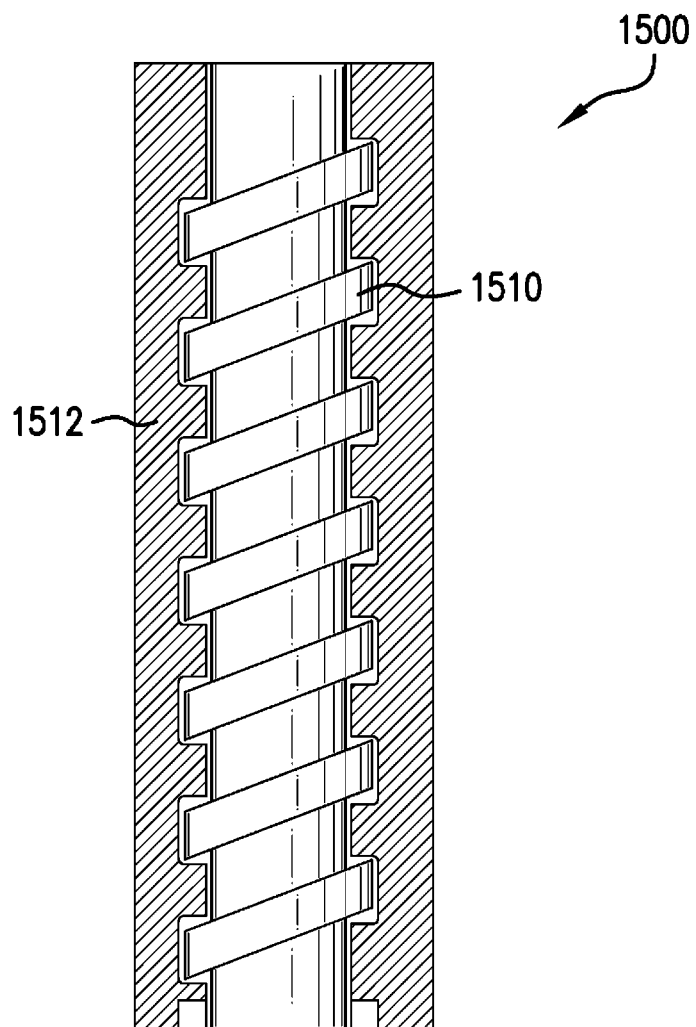
ФИГ. 12



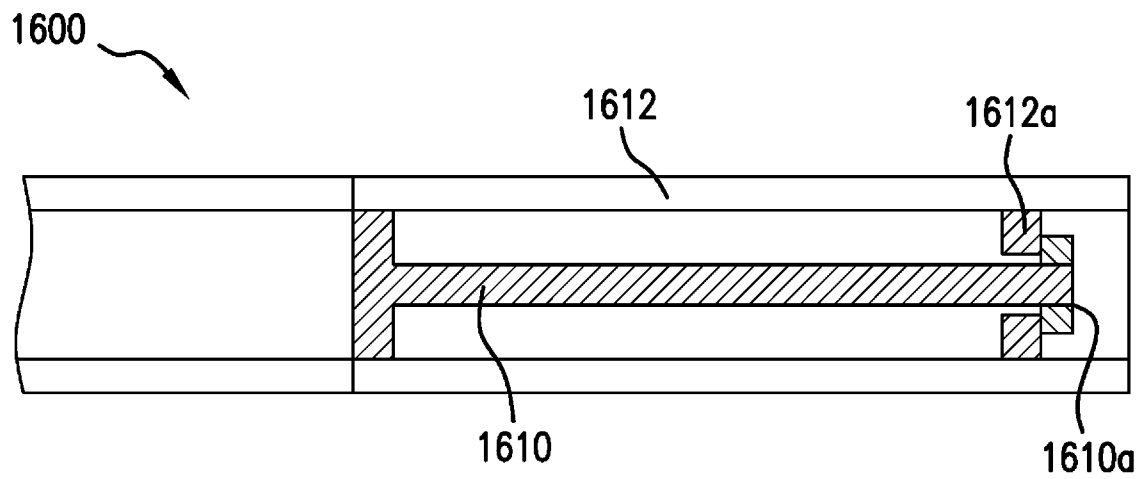
ФИГ. 13



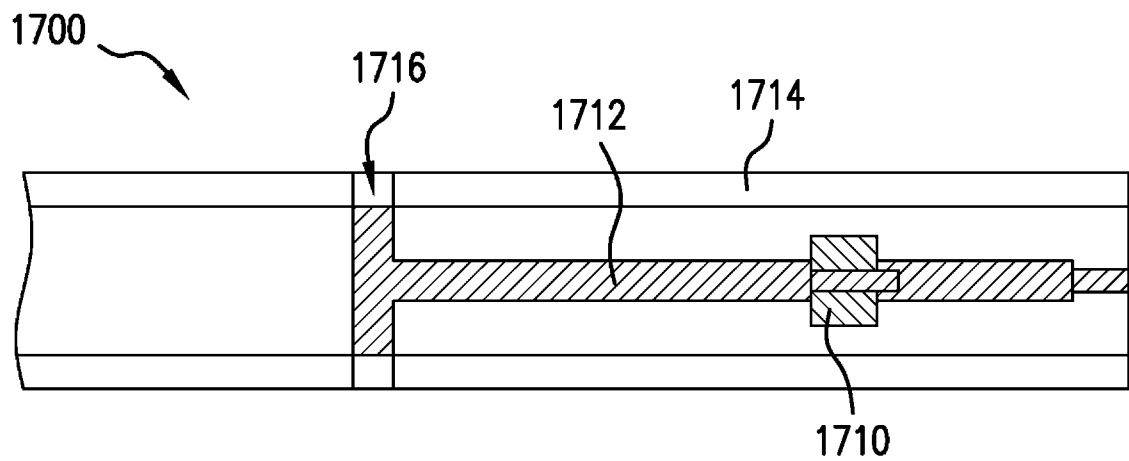
ФИГ. 14



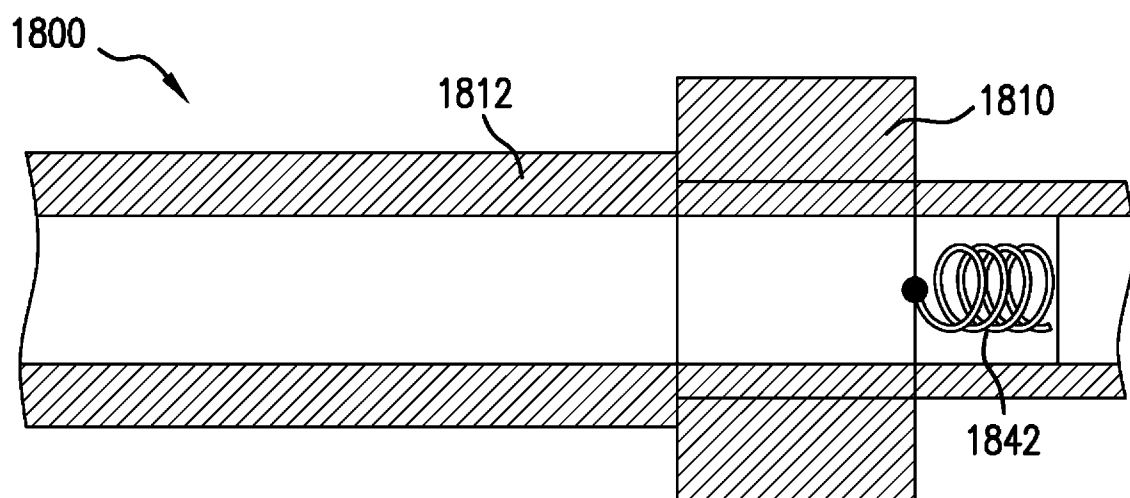
ФИГ. 15



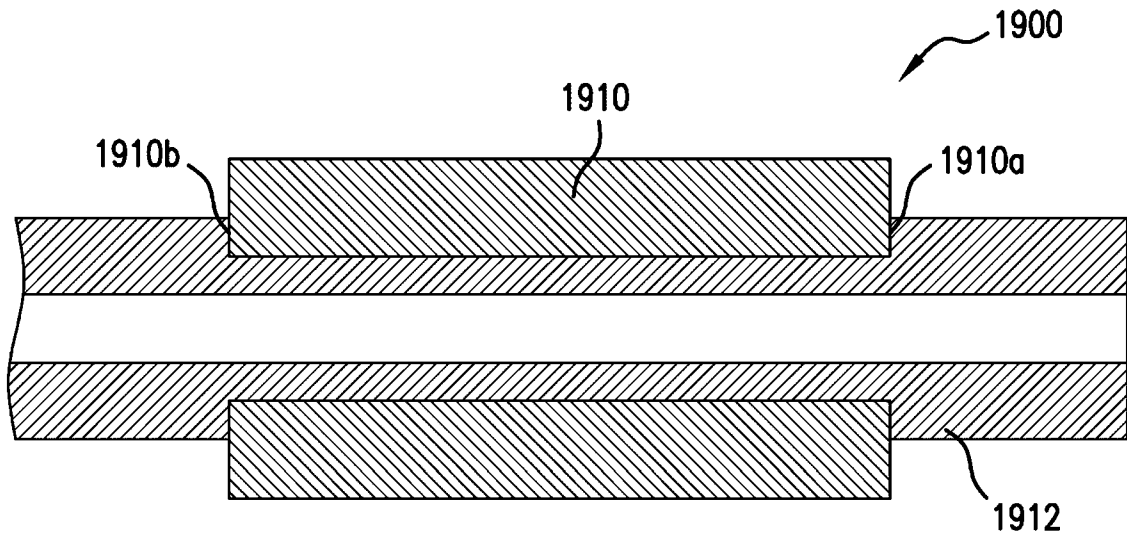
ФИГ. 16



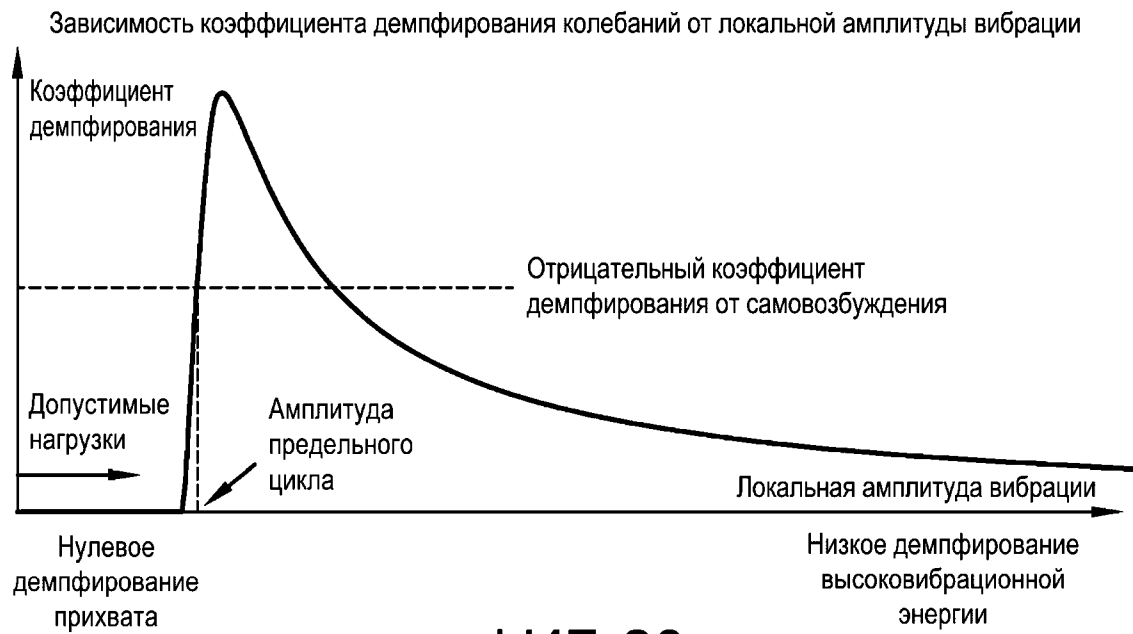
ФИГ. 17



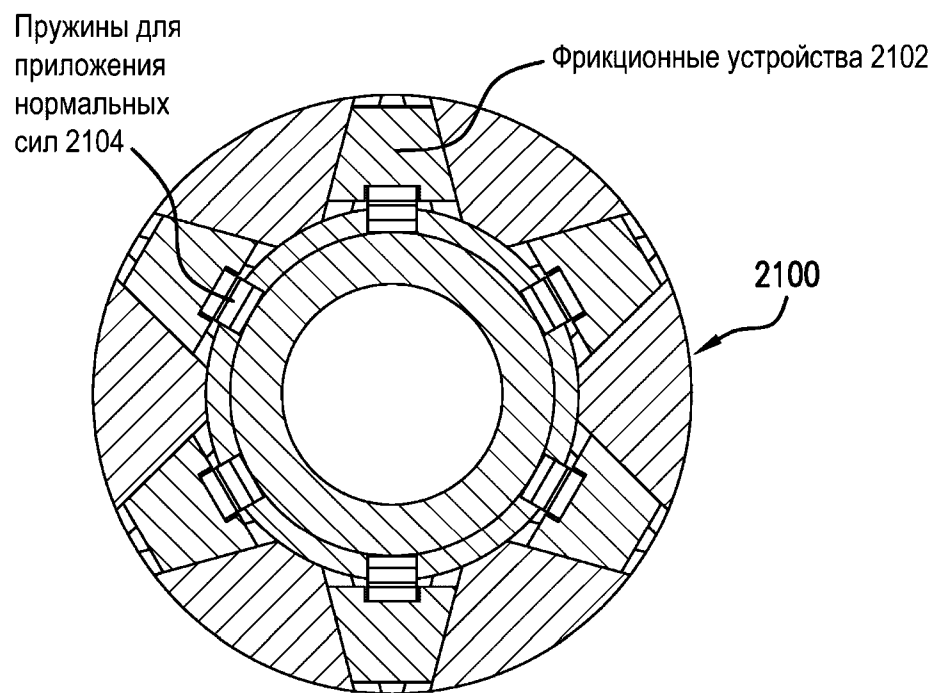
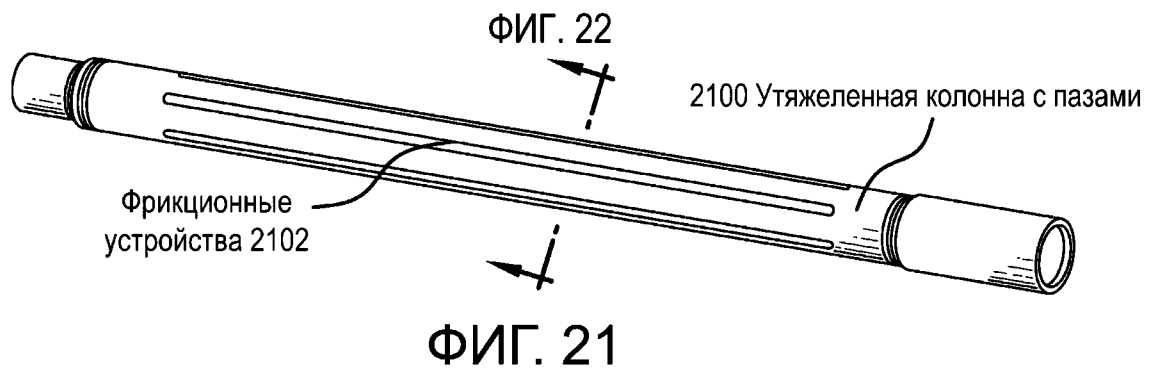
ФИГ. 18

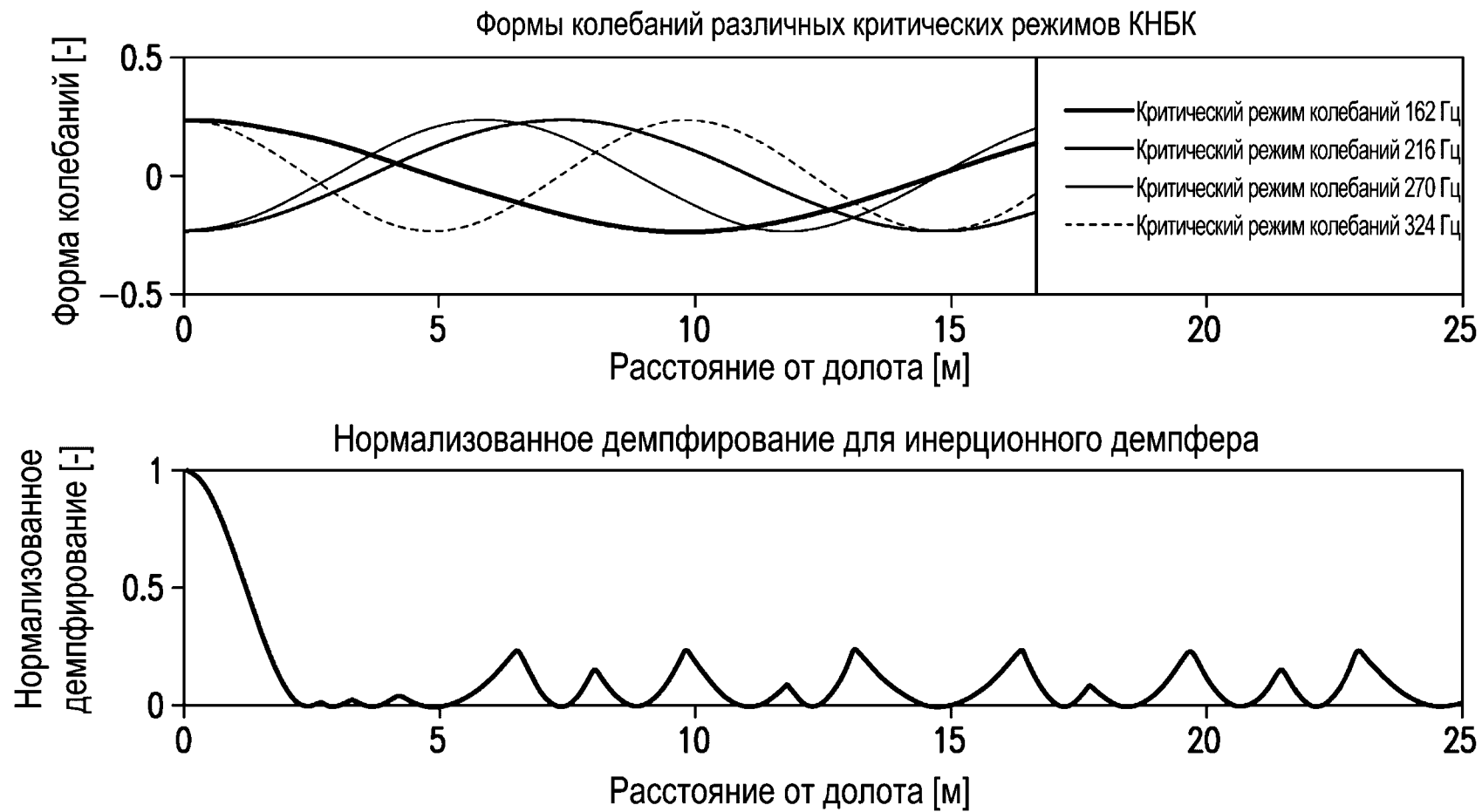


ФИГ. 19

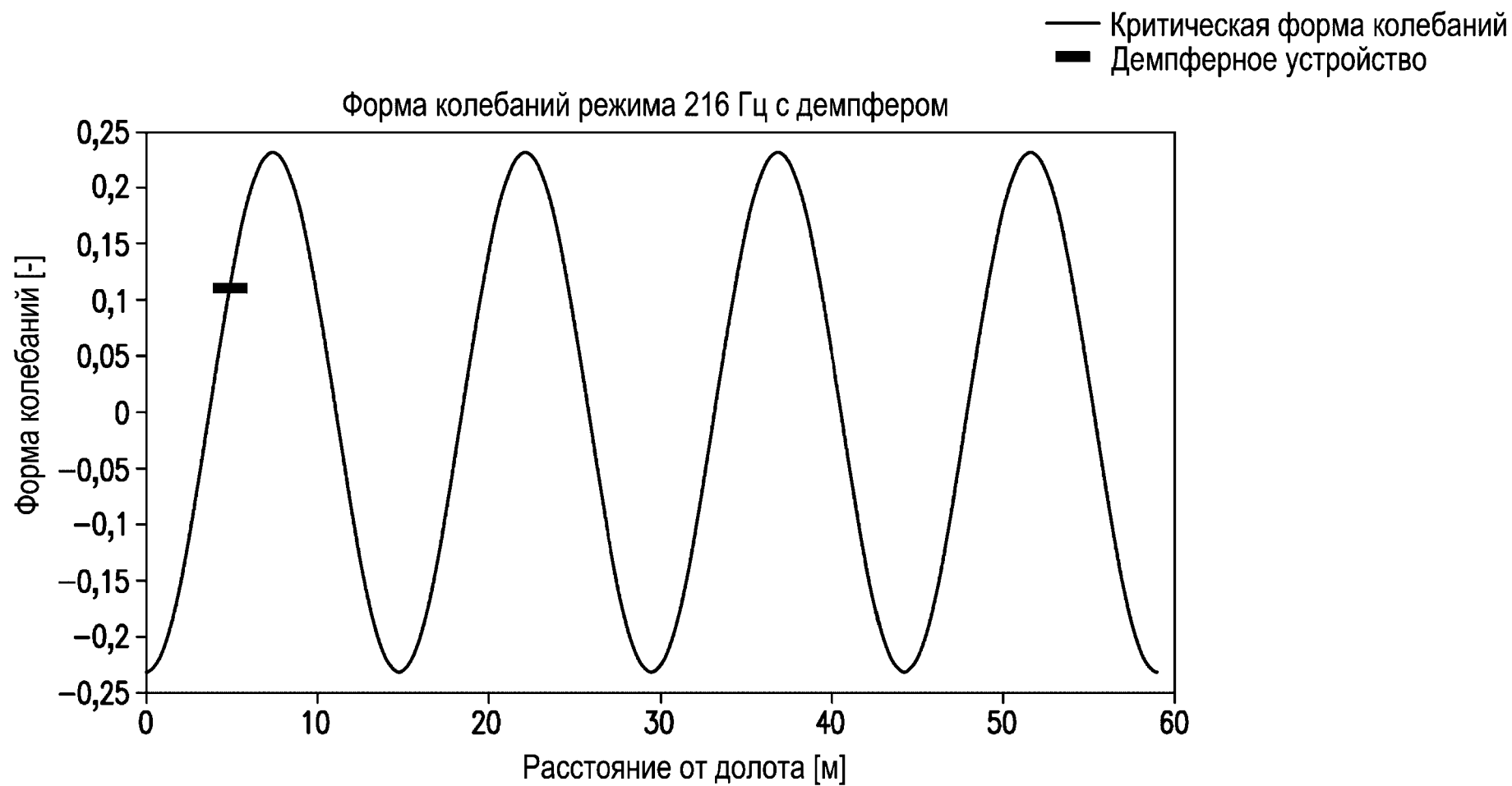


ФИГ. 20

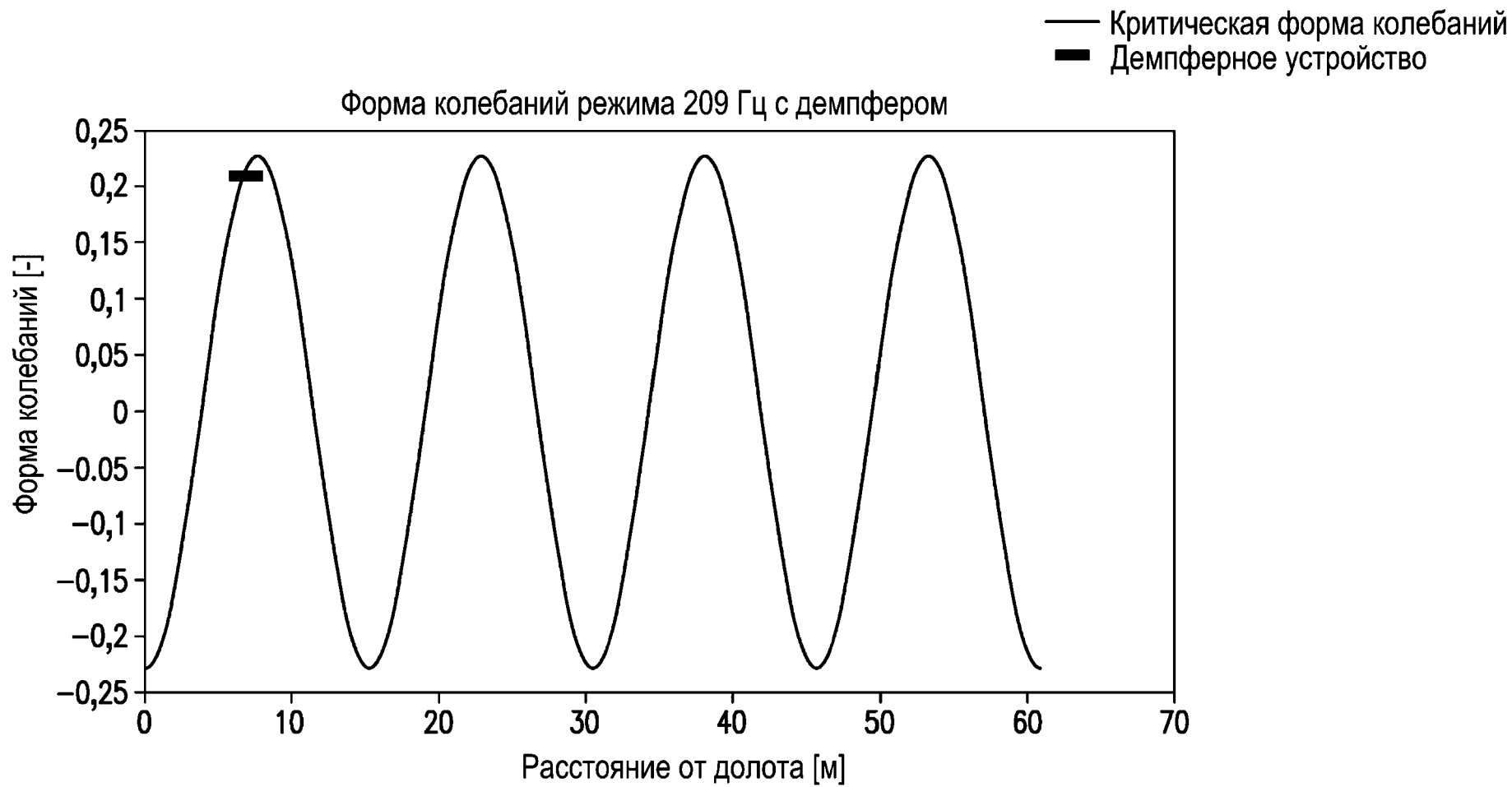




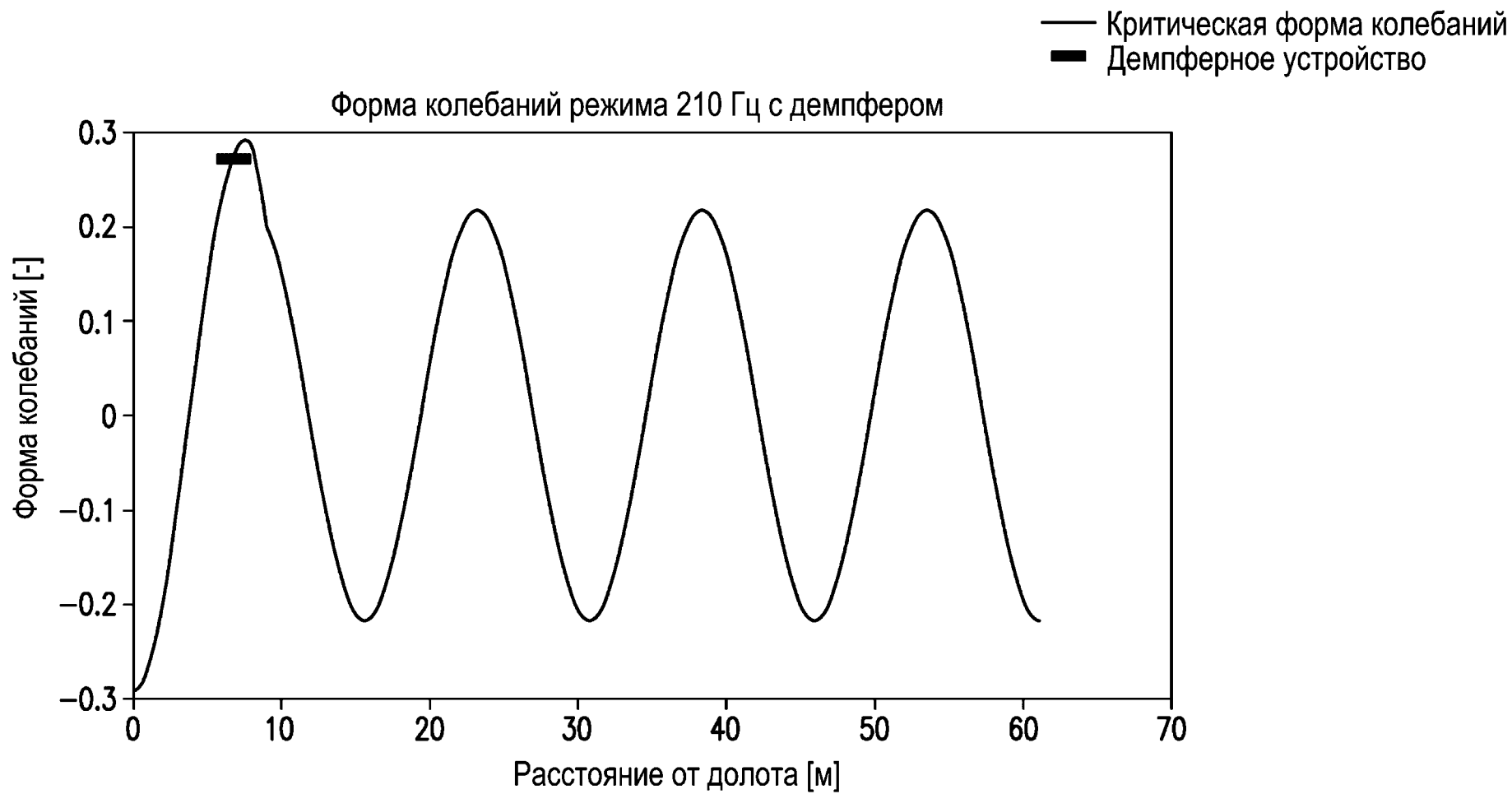
ФИГ. 23



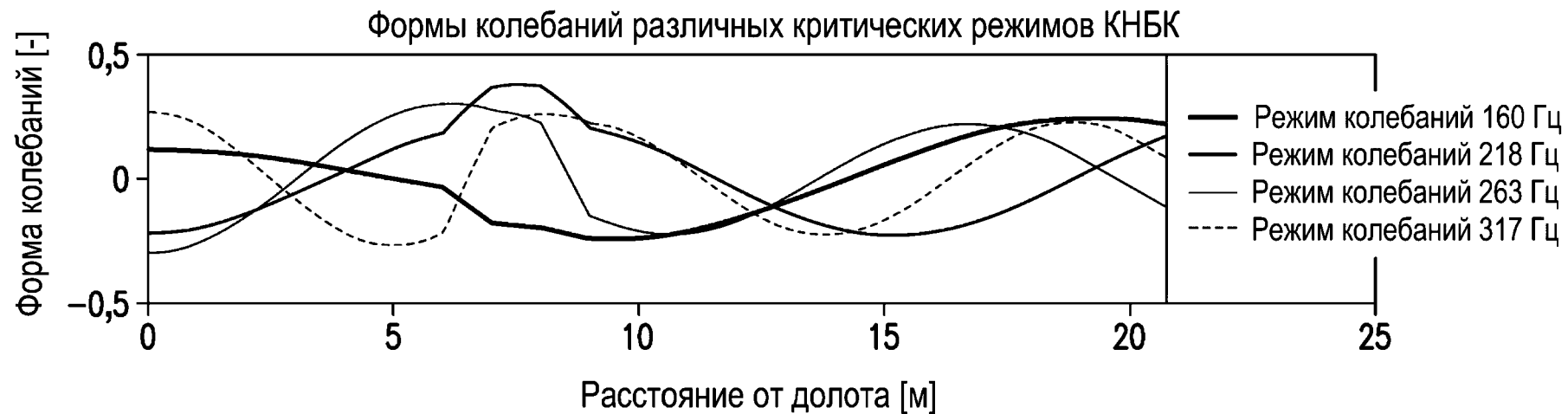
ФИГ. 24А



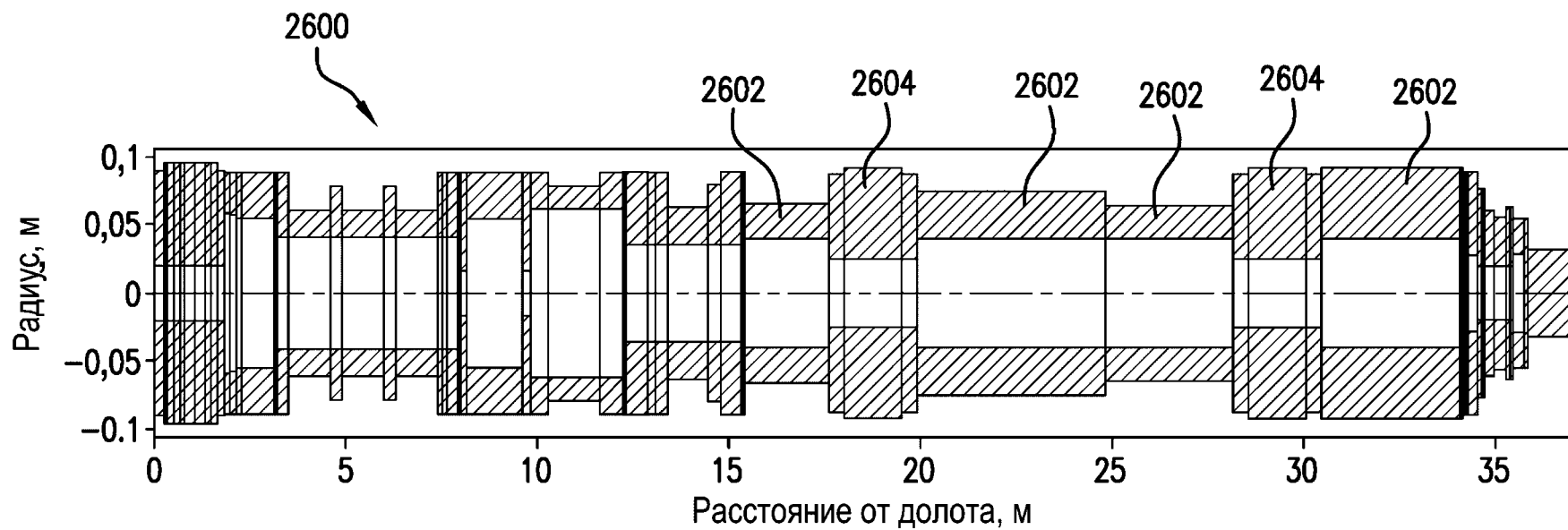
ФИГ. 24В



ФИГ. 24С



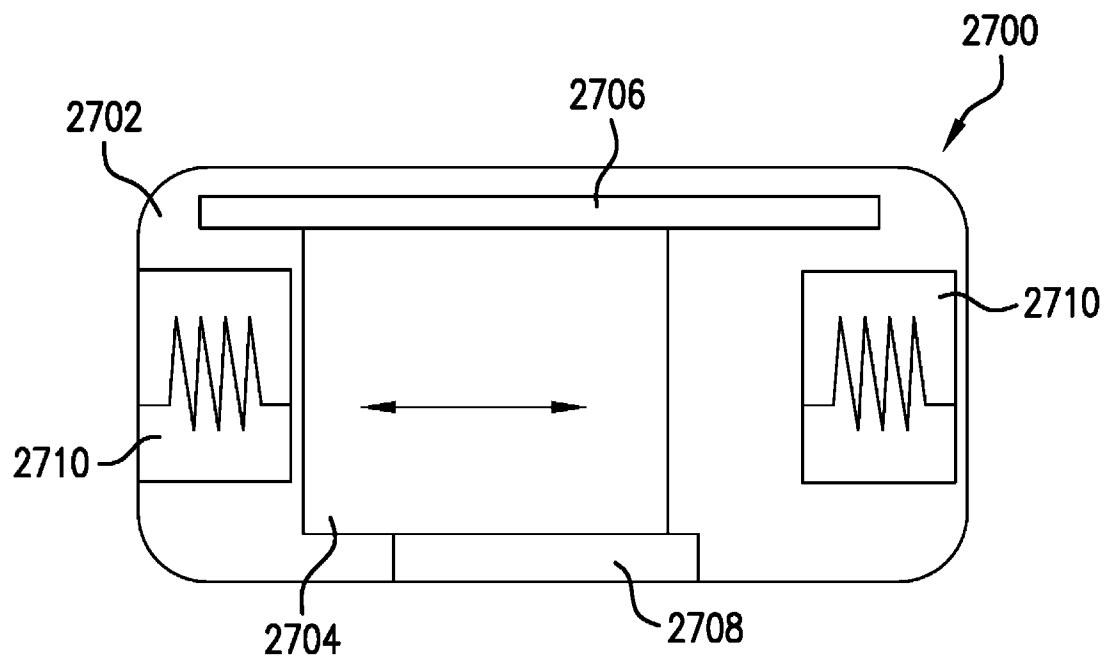
ФИГ. 25



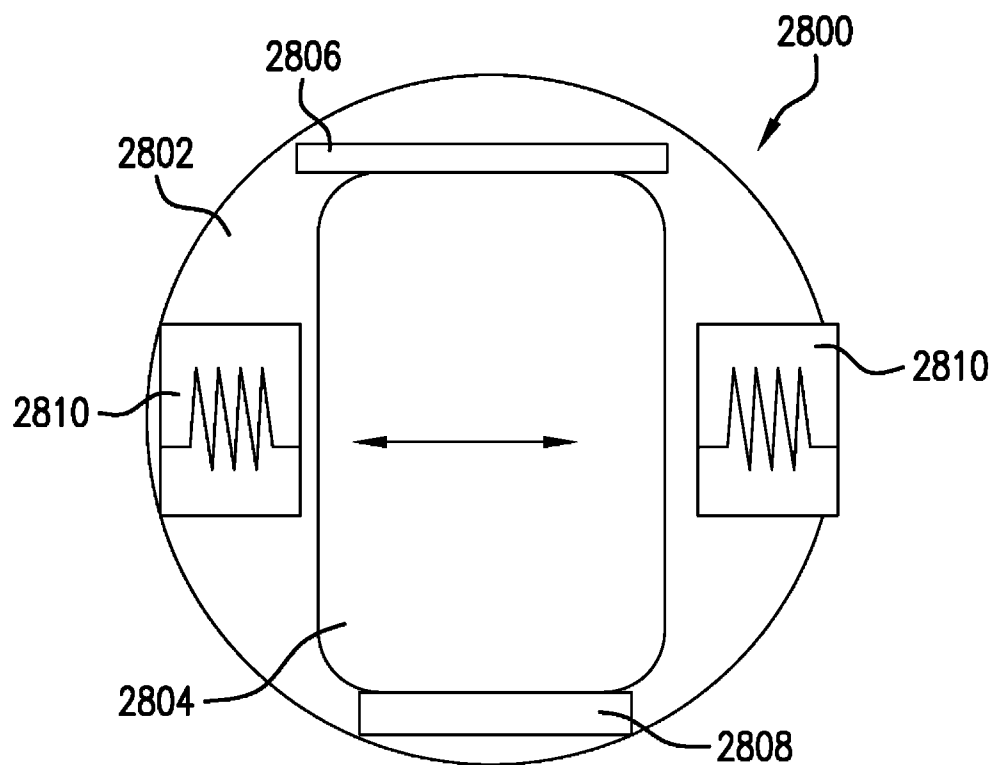
ФИГ. 26А



ФИГ. 26В



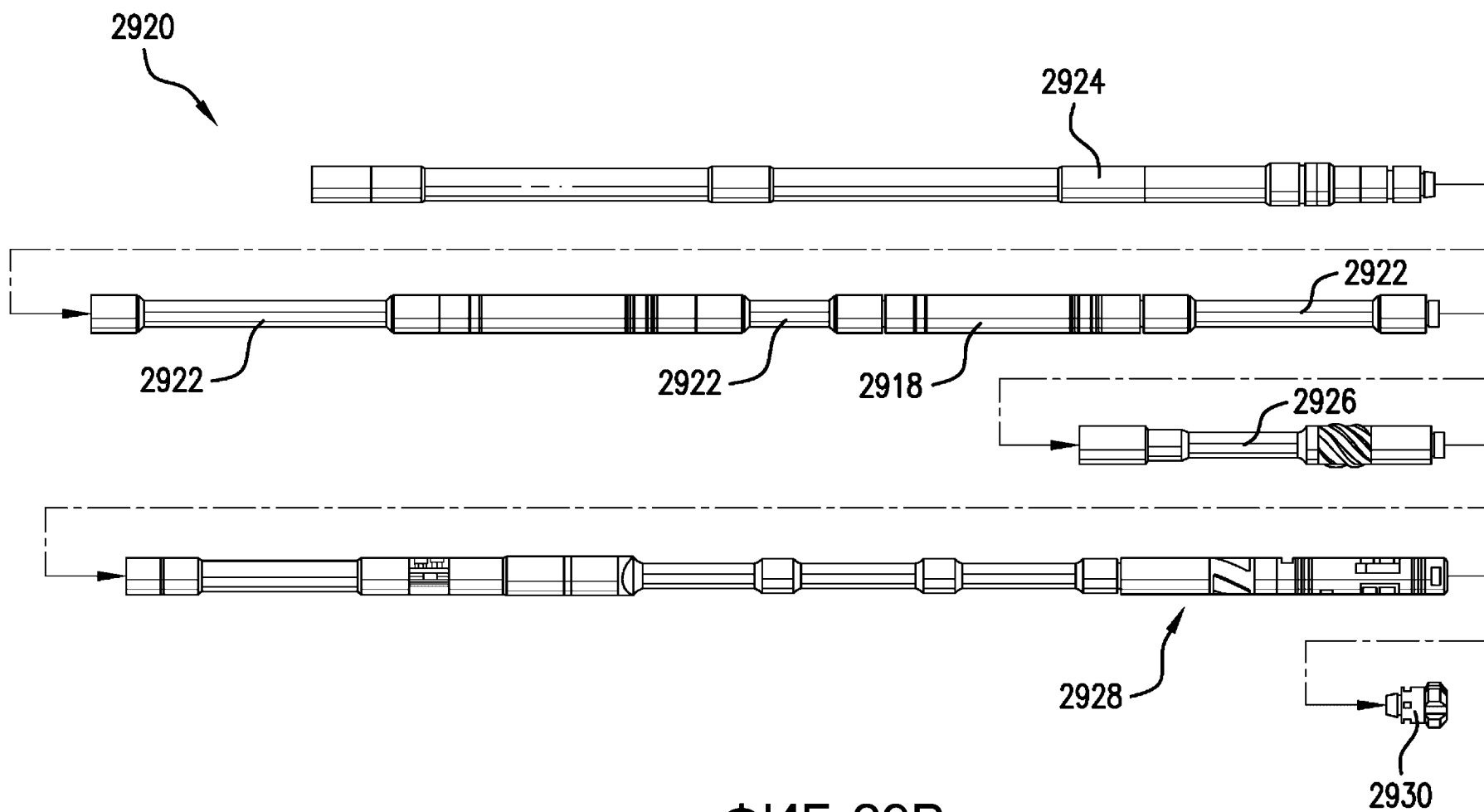
ФИГ. 27



ФИГ. 28



ФИГ. 29А



ФИГ. 29В