

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **033805**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.11.27

(51) Int. Cl. **G01V 1/38** (2006.01)
G01V 1/18 (2006.01)

(21) Номер заявки
201690184

(22) Дата подачи заявки
2014.07.09

(54) **КАЛИБРОВКА АКСЕЛЕРОМЕТРА ПО МЕСТУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

(31) **61/844,650; 14/292,104**

(32) **2013.07.10; 2014.05.30**

(33) **US**

(43) **2016.11.30**

(86) **PCT/EP2014/064770**

(87) **WO 2015/004214 2015.01.15**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ПГС ГЕОФИЗИКАЛ АС (NO)

(72) Изобретатель:
Сюдюв Густав Горан Маттиас (US)

(74) Представитель:
**Хмара М.В., Рыбаков В.М.,
Новоселова С.В., Дощечкина В.В.,
Липатова И.И., Пантелеев А.С.,
Ильмер Е.Г. (RU)**

(56) **US-A1-2009056411
US-A1-2012002504
US-A1-2011211423
US-A1-2005018537**

(57) В изобретении раскрыты способы и системы калибровки акселерометра, используемого в геофизическом датчике, помещенном в воду. Один из вариантов осуществления может содержать буксирование сейсмической косы позади сейсморазведочного судна в водоеме, причем сейсмическая коса содержит акселерометр; обеспечение закручивания, по меньшей мере, участка сейсмической косы; прием данных от многоосевого акселерометра в выбранном множестве моментов времени во время закручивания и определение на основании по меньшей мере части данных по меньшей мере одного параметра калибровки акселерометра.

B1

033805

**033805
B1**

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Настоящая заявка на патент испрашивает приоритет по предварительной заявке на патент США № 61/844650, поданной 10 июля 2013 г., содержание которой полностью включено в настоящую заявку посредством ссылки.

Уровень техники

Варианты осуществления относятся в целом к области морской геофизической разведки и, конкретнее, к калибровке акселерометра, размещенного в воде.

Методы геофизической разведки включают в себя морскую геофизическую разведку, такую как сейсморазведка и электромагнитная разведка, позволяющие осуществлять сбор геофизических данных под поверхностью земли. Геофизическая разведка находит применение при поиске и добыче полезных ископаемых и источников энергии, помогая определять участки нефтегазоносных пластов. Некоторые типы морской геофизической разведки, такие как сейсмическая и электромагнитная разведка, могут включать в себя буксирование энергоисточника - как правило, выше морского дна - в водоеме. Одна или более сейсмических кос также могут буксироваться в воде на выбранных глубинах - как правило, выше морского дна - тем же или другим судном. Сейсмические косы, как правило, представляют собой кабели, содержащие множество геофизических датчиков, расположенных на них в пространственно разнесенных местах по длине кабеля. При некоторых видах геофизической съемки датчики размещают на морских донных кабелях или узлах океанических донных станций в дополнение к сейсмическим косам или вместо них. Геофизические датчики могут быть выполнены с возможностью генерирования сигнала, связанного с параметром, измеряемым геофизическим датчиком. В выбранные моменты времени энергоисточник может быть активирован для генерирования, например, сейсмической или электромагнитной волны, распространяющейся в нижнем направлении и проникающей в подповерхностную породу. Энергия, взаимодействующая с границами раздела, главным образом, с границами между пластами породы, может возвращаться к поверхности и регистрироваться геофизическими датчиками на сейсмических косах. Регистрируемую волну можно использовать для выведения заключения об определенных свойствах подповерхностной породы, таких как строение, минералогический состав и содержание текучей среды, таким образом получая информацию, полезную при добыче углеводородов.

Геофизические датчики, применяемые на сейсмических косах, могут представлять собой векторные датчики. Векторные датчики могут также быть размещены на сейсмической косе в качестве датчиков вращения для определения местоположения, скорости или ориентации сейсмической косы. Примеры подходящих векторных датчиков включают в себя датчики, содержащие акселерометры. В некоторых случаях акселерометры могут представлять собой многоосевые акселерометры. В некоторых случаях в акселерометрах может использоваться микроэлектромеханическая (МЭМС) конструкция. Акселерометры могут, как правило, выдавать сигнал со связями по постоянному току, пропорциональный ускорению, действующему на устройство. Однако использование акселерометров может оказаться проблематичным, поскольку акселерометры испытывают смещение по постоянному току и изменение коэффициента усиления, что может отрицательно сказаться на технических характеристиках датчиков. В некоторых акселерометрах проблемой может также являться отклонение осей. Усовершенствованные акселерометры, не имеющие этих недостатков, могут быть непомерно дорогими. Таким образом, существует необходимость в усовершенствованных способах калибровки, способных компенсировать несовершенство акселерометров.

Краткое описание чертежей

Эти чертежи иллюстрируют определенные аспекты некоторых вариантов осуществления настоящего изобретения и не должны использоваться для ограничения или определения объема изобретения.

На фиг. 1 показан пример осуществления системы морской геофизической разведки.

На фиг. 2 показан пример осуществления акселерометра, установленного в сейсмической косе с локальным вращением.

На фиг. 3 показан пример осуществления эллипсов, соответствующих двухмерным проекциям для моделируемых данных акселерометра.

На фиг. 4 показан пример участка сейсмической косы, имеющей геофизические датчики и устройства вращения сейсмической косы.

На фиг. 5 показан пример осуществления эллипсов, построенных по двухмерным проекциям измеренных данных, полученных от пары многоосевых акселерометров.

На фиг. 6 показан пример осуществления эллипсов, построенных по двухмерным проекциям моделируемых данных акселерометра до и после калибровки.

На фиг. 7 показан пример компьютерной системы, которую можно использовать для реализации способов настоящего изобретения.

Подробное раскрытие изобретения

Следует понимать, что настоящее описание изобретения не ограничено конкретными устройствами или способами, которые, разумеется, могут отличаться. Следует также понимать, что термины, используемые в настоящей заявке, служат только для целей описания конкретных вариантов осуществления и не имеют ограничительного характера. Хотя здесь рассматриваются отдельные варианты осуществления,

изобретение охватывает все комбинации всех таких вариантов осуществления. В контексте настоящего документа формы единственного числа включают в себя ссылки на объекты в единственном и множественном числе, если контекстом четко не обусловлено иное. Кроме того, слово "может" используется в тексте настоящей заявки в разрешительном (т.е. "имеющий потенциал", "способный к чему-либо"), а не в обязывающем смысле (т.е. "должен"). Термин "содержит" и производные от него означают "содержащий, без ограничений...". Термин "связанный" означает соединенный непосредственно или опосредованно.

Варианты осуществления относятся к калибровке акселерометра, помещенного в воду. В частности, калибровка акселерометра может выполняться на основании механического закручивания сейсмической косы. Параметры калибровки (например, коэффициент усиления и смещение), выделяемые из данных, собранных при закручивании сейсмических кос, могут использоваться для калибровки акселерометра. Предпочтительно методы калибровки могут применяться при развернутой сейсмической косе и могут выполняться относительно быстро (например, приблизительно за 1 м или меньше). В дополнение к выделению коэффициента усиления и смещения, варианты осуществления позволяют также выделять отклонение осей, обусловленное тем, что одна или более осей акселерометра не являются полностью ортогональными. Принимая во внимание отклонение осей, можно уменьшить отклонение осей, вызванное отсутствием ортогональности. Кроме того, может также быть выделена информация о закручивании сейсмической косы, что может значительно повысить эффективность способа калибровки.

На фиг. 1 изображена система 2 морской геофизической разведки в соответствии с примерами осуществления. Как показано на чертеже, система 2 морской геофизической разведки может включать в себя сейморазведочное судно 4, движущееся по поверхности водоема 6, такого как озеро или океан. Сейморазведочное судно 4 может везти оборудование, обозначенное в целом позицией 8 и для удобства совместно называемое в настоящей заявке "регистрирующей системой". Регистрирующая система 8 может содержать устройства (не показанные отдельно), служащие для ведения сейморазведочного судна 4 (такие как приемники системы глобального позиционирования (GPS)), для активации по меньшей мере одного энергоисточника 10 и/или для регистрации сигналов, генерируемых датчиками 12.

Система 2 морской геофизической разведки может дополнительно содержать по меньшей мере один энергоисточник 10. Как показано на чертеже, сейморазведочное судно 4 или другое судно (не показано) может буксировать в водоеме 6 кабель 13 возбуждения, содержащий энергоисточник 10. В изображенном варианте осуществления энергоисточник 10 буксируют ниже поверхности водоема 6. Как показано на чертеже, энергоисточник 10 может находиться ниже поверхности водоема 6 и выше дна 14 водоема, причем энергоисточник 10 может быть несвязанным с дном 14 водоема. Энергоисточник 10 может представлять собой избирательно активируемый источник, пригодный для морской геофизической разведки, включая, без ограничений, сейсмическую пневмопушку, гидропушку, морской вибратор, передатчик электромагнитного поля или группу таких устройств.

В некоторых вариантах осуществления энергоисточником 10 может испускаться сейсмическая волна и/или электромагнитная волна. Энергоисточник 10 может буксироваться в любой конфигурации, подходящей для геофизической разведки, включая параллельную или ортогональную конфигурацию или, возможно, круговую или спиральную конфигурацию. В выбранные моменты времени может быть инициировано генерирование энергоисточником 10 волны, распространяющейся в нижнем направлении через водоем 6 и пласты 16 породы ниже дна 14 водоема. Следует отметить, что хотя в настоящем примере показан только один энергоисточник 10, изобретение применимо к любому количеству энергоисточников, буксируемых сейморазведочным судном 4 или любым другим судном.

Система 2 морской геофизической разведки может дополнительно включать в себя одну или более сейсмических кос 18, буксируемых сейморазведочным судном (или другим судном), при этом сейсмическая коса 18 содержит множество датчиков 12, пространственно разнесенных по ней в продольном направлении. В изображенном варианте осуществления сейсмическая коса 18 показана буксируемой сейморазведочным судном 4, движущимся по поверхности водоема 6. Сейсмическая коса 18 может быть присоединена передним концом (относительно направления движения сейморазведочного судна 4) к соответствующему буксировочному тросу 20. Хотя это не показано, с сейморазведочного судна 4 может быть спущен буксировочный трос 20 при помощи лебедки или другого аналогичного устройства для намотки канатов, например, которое можно применять для контроля выпущенной части буксировочного троса 20. В альтернативных вариантах осуществления сейсмическая коса 18 может альтернативно быть размещена на дне 14 водоема или рядом с ним, или буксироваться другим судном (не показано). В качестве другого альтернативного варианта, одна или более дополнительных сейсмических кос 18 (не показаны) могут буксироваться позади сейморазведочного судна 4, буксироваться позади другого судна (не показано) или размещаться на дне 14 водоема или рядом с ним. Следует отметить, что хотя в настоящем примере показана только одна сейсмическая коса 18, изобретение применимо к любому количеству сейсмических кос 18, буксируемых сейморазведочным судном 4 или любым другим судном. Например, в некоторых вариантах осуществления, восемь или более сейсмических кос 18 могут буксироваться сейморазведочным судном 4, тогда как в других вариантах осуществления до двадцати шести или более сейсмических кос 18 могут буксироваться сейморазведочным судном 4. В случае размещения нескольких сейсмических кос 18 сейсмические косы могут быть пространственно разнесены в поперечном, вер-

тикальном или и в поперечном, и в вертикальном направлениях. "Поперечный" или "поперечно" в настоящем контексте означает расположенный поперечно направлению движения сейсморазведочного судна 4.

Датчики 12 могут представлять собой любой тип датчиков, известный из уровня техники. В некоторых вариантах осуществления по меньшей мере часть датчиков 12 могут быть геофизическими датчиками. Неограничивающими примерами таких геофизических датчиков могут служить сейсмические датчики, такие как геофоны, гидрофоны или акселерометры, или датчики электромагнитного поля, такие как электроды или магнетометры. В некоторых вариантах осуществления геофизические датчики могут представлять собой векторные датчики, такие как акселерометры и/или магнетометры. Например, по меньшей мере часть датчиков 12 может генерировать ответные сигналы, такие как электрические или оптические сигналы, в ответ на регистрацию сейсмической волны, излучаемой энергоисточником 10, после взаимодействия волны с формациями 16, расположенными ниже подошвы 14 водного слоя. Сигналы, генерируемые сейсмическими датчиками 12, могут передаваться регистрирующей системе 8. В дополнение к геофизическим датчикам по меньшей мере часть датчиков 12 может также быть векторными датчиками, способными обеспечивать выходной сигнал, который может отображать местоположение, скорость или ориентацию сейсмической косы или может обрабатываться для их определения. Примеры подходящих векторных датчиков могут включать в себя 2- или 3-осные векторные датчики, такие как многоосные акселерометры и многоосные магнетометры. Тип (типы) и конфигурация (конфигурации) датчиков 12 не ограничивают объем настоящего изобретения.

В соответствии с вариантом осуществления изобретения может быть получен результат обработки геофизических данных. Результат обработки геофизических данных может включать в себя геофизические данные, полученные от одного или более датчиков 12, и храниться на материальном машиночитаемом носителе информации. Результат обработки геофизических данных может быть получен в море (например, при помощи оборудования, расположенного на судне) или на суше (например, при помощи наземного пункта) в США или другой стране. Если результат обработки геофизических данных получен в море или в другой стране, то он может быть передан в расположенный на суше пункт, находящийся в США. После того как результат обработки геофизических данных окажется на суше в США, он может подвергаться геофизическому анализу, включающему в себя дальнейшую обработку данных.

Сейсмическая коса 18 может дополнительно содержать устройства 22 вращения сейсмической косы. Как показано на чертеже, устройства 22 вращения сейсмической косы могут располагаться на сейсмической косе 18 в пространственно разнесенных местах. В некоторых вариантах осуществления между устройствами 22 вращения сейсмической косы может быть интервал от приблизительно 200 метров до приблизительно 400 метров. Каждое устройство 22 вращения сейсмической косы может создавать крутящий момент, вызывающий ее вращение, и точно так же вращение участка сейсмической косы 18, расположенного рядом с устройством 22 вращения сейсмической косы. Устройства 22 вращения сейсмической косы могут также использоваться, например, при регулировании глубины и поперечного позиционирования сейсмической косы. В некоторых вариантах осуществления в качестве устройства 22 вращения сейсмической косы могут использоваться существующие устройства управления боковым усилием и глубиной (БУГ). Устройства управления БУГ могут представлять собой любые из множества различных устройств, пригодных для изменения местоположения, скорости или ориентации и/или позиции сейсмической косы, включая в себя "птички" (регуляторы глубины погружения) с поворотными крыльями. В одном примере устройства 22 вращения сейсмической косы могут содержать поворотные крылья, закрепленные на корпусе, расположенном на одной линии с сейсмической косой 18.

На фиг. 2 показан акселерометр 24, установленный в сейсмической косе 18 в соответствии с примером осуществления. Как указано выше, акселерометр 24 может быть встроен в датчик 12 (см фиг. 1). В изображенном варианте осуществления акселерометр 24 представлен своей локальной системой координат (x , y , z). Как показано на чертеже, на акселерометр 24 может действовать внешняя сила, приводя к вращению акселерометра 24. В конкретном варианте осуществления внешняя сила может вызывать механическое закручивание сейсмической косы 18. Хотя это не показано на фиг. 2, устройства 22 вращения сейсмической косы могут применяться для обеспечения крутящего момента и вызывать закручивание сейсмической косы. Как показано на чертеже, θ представляет собой угол поворота акселерометра 24 между локальной осью z и глобальной осью Z , а ϕ представляет собой угол рыскания акселерометра 24 между локальной осью x и глобальной осью X .

Акселерометр 24 может представлять собой многоосевой акселерометр. Акселерометр 24 может применяться для определения ускорения по одной, двум или трем ортогональным осям. В некоторых вариантах осуществления акселерометр 24 может быть образован несколькими одноосными датчиками. Например, акселерометр 24 может быть выполнен с возможностью определения ускорения вдоль локальных осей y и z . Подходящий акселерометр 24 может иметь аналоговый или цифровой выходной сигнал. В некоторых вариантах осуществления выходной сигнал акселерометра 24 может быть впоследствии оцифрован. В конкретных вариантах осуществления акселерометр 24 может представлять собой акселерометр с откликом по постоянному току, который выдает сигнал со связью по постоянному току.

В соответствии с настоящими вариантами осуществления калибровка акселерометра 24 может вы-

полняться на основании механического закручивания сейсмической косы 18. Иными словами, сейсмическую косу 18 можно преднамеренно закручивать вдоль по выбранной длине с целью калибровки. При закручивании сейсмической косы 18 сигналы могут измеряться акселерометром 24. После этого на основании измеренных сигналов могут быть выделены параметры калибровки. Параметры калибровки могут включать в себя коэффициент усиления, смещение и отклонение осей. Коэффициент усиления может также называться "коэффициентом масштабирования". Смещение может также называться "сдвигом". Затем параметры калибровки могут использоваться для компенсации погрешностей изготовления или других погрешностей акселерометра 24, чтобы обеспечить более точный выходной сигнал акселерометра.

В примере акселерометра 24, регистрирующего ускорение вдоль осей y_2 и z_2 , выходной сигнал акселерометра 24 в его локальной системе координат может быть следующим:

$$Z = b_z + Fa_z \cos(\theta + \varepsilon_\theta) \cos\phi \quad (\text{Ур. 1})$$

$$Y = b_y + Fa_y \cos(\theta - \varepsilon_\theta) \cos\phi \quad (\text{Ур. 2})$$

где Z - это z-составляющая выходного сигнала акселерометра в определенный момент времени; Y - это y-составляющая выходного сигнала акселерометра; b_z - это канальный сдвиг для z-оставляющей; b_y - канальный сдвиг для y-составляющей, a_z - канальный масштабирующий коэффициент для z-составляющей; a_y - канальный масштабирующий коэффициент для y-составляющей, ε_θ - погрешность выравнивания векторов двух каналов, не лежащих на оси сейсмической косы; θ - угол поворота акселерометра между локальной осью z и глобальной осью Z и ϕ - угол рыскания акселерометра 24 между локальной осью z и глобальной осью Z .

Угол поворота θ может быть определен путем переупорядочивания приведенных выше уравнений и формирования их соотношения в соответствии со следующим:

$$\frac{z - b_z}{Fa_z} = \cos(\theta + \varepsilon_\theta) \cos\phi \quad (\text{Ур. 3})$$

$$\frac{y - b_y}{Fa_y} = \sin(\theta - \varepsilon_\theta) \cos\phi \quad (\text{Ур. 4})$$

$$\frac{y - b_y}{Fa_y} \frac{z - b_z}{Fa_z} = \frac{y - b_y}{a_y} \frac{z - b_z}{a_z} = \frac{\sin(\theta - \varepsilon_\theta) \cos\phi}{\cos(\theta + \varepsilon_\theta) \cos\phi} = \frac{\sin\theta \cos\varepsilon_\theta - \cos\theta \sin\varepsilon_\theta}{\cos\theta \cos\varepsilon_\theta - \sin\theta \sin\varepsilon_\theta} \quad (\text{Ур. 5})$$

$$\Rightarrow X = \frac{\tan\theta - \tan\varepsilon_\theta}{1 - \tan\theta \tan\varepsilon_\theta} \quad (\text{Ур. 6})$$

$$\Rightarrow \theta = \arctan \frac{X + \tan\varepsilon_\theta}{1 + X \tan\varepsilon_\theta} \quad (\text{Ур. 7})$$

Для выделения параметров калибровки может применяться ряд различных методов. В некоторых вариантах осуществления параметры калибровки могут оцениваться с использованием двухмерной проекции измеренных сигналов, по которым может быть построен эллипс. Эллипс может быть скошен и сдвинут. Для трехосного акселерометра может быть выполнена трехмерная проекция, по которой может быть построен эллипсоид. Параметры калибровки могут включать в себя коэффициент усиления, смещение и отклонение осей. Для оценки параметров калибровки можно получить набор данных, чтобы построить эллипс (или эллипсоид) и, таким образом, оценить параметры калибровки. Набор данных может быть получен в течение некоторого времени при изменяющемся угле поворота θ . Чтобы достичь улучшенной калибровки и построения эллипса, данные могут быть получены при различных углах поворота θ . Набор данных может включать в себя x-, y- и/или z-составляющие выходного сигнала датчика. В некоторых вариантах осуществления y- и z-составляющие выходного сигнала акселерометра 24 могут проецироваться на плоскость y-z. В других вариантах осуществления составляющие по осям x, y и z выходного сигнала акселерометра 24 могут проецироваться в трехмерную систему координат. По проецируемым данным посредством подходящих алгоритмов затем может быть подобран эллипс (или эллипсоид). Примеры подходящих методов подбора эллипса (или эллипсоида) могут включать в себя, без ограничения, несвязанный подбор методом наименьших квадратов, полный подбор методом наименьших квадратов и нелинейный оптимизационный подбор. Дополнительная информация о методах калибровки акселерометра может быть найдена в следующем документе: Frederic Camps et al., Numerical Calibration for 3-Axis Accelerometers and Magnetometers, Electro/Information Technology, с. 217-221 (июнь 2009 г.).

На фиг. 3 показан пример осуществления эллипсов, построенных в двухмерных проекциях моделируемых данных для акселерометра с добавленными случайными помехами (нормально распределенная амплитуда и фазовые шумы). В изображенных вариантах осуществления помехи возрастают последовательно слева направо и сверху вниз при минимальных помехах в верхнем левом углу и максимальных помехах в нижнем правом углу. Координатами для двухмерных проекций были y- и z-составляющие моделируемых данных, проецируемых на плоскость y-z. Моделируемые данные были получены при раз-

личных гипотетических углах поворота θ акселерометра 24. Моделируемые данные содержали 1001 измерительную точку, причем точки были распределены в интервале от 0 до 360°. Чтобы построить эллипс, был выполнен несвязанный подбор методом наименьших квадратов. Как показано на чертеже, построенные эллипсы скошены и сдвинуты. После этого такие параметры, как смещение, масштаб и отклонение осей, могут быть определены и использованы при калибровке акселерометра 24.

В конкретных вариантах осуществления погрешности отклонения осей также могут быть определены и использованы в примерах способов калибровки. Погрешности отклонения осей могут отображаться в виде поворота эллипса (или эллипсоида). Использование погрешностей отклонения осей при калибровке может быть эффективным, особенно в случаях, когда неортогональность осей акселерометра 24 может являться источником значительной погрешности. Более того, идеальная ортогональность осей акселерометра 24 может не потребоваться при условии, что погрешности отклонения осей учтены при калибровке. Например, оси акселерометра 24 могут иметь отклонение осей $\pm 10^\circ$ или меньше в некоторых вариантах осуществления.

На фиг. 4 показан пример участка сейсмической косы 18, имеющей датчики 12 и устройства 22 вращения сейсмической косы. Один или более датчиков 12 могут содержать акселерометр 24 (см., например, фиг. 2), который может быть откалиброван на основании механического закручивания сейсмической косы 18. Как показано на чертеже, соседние устройства 22 вращения сейсмической косы могут быть расположены на расстоянии D_1 друг от друга. В изображенном варианте осуществления устройства 22 вращения сейсмической косы 18 могут быть расположены на сейсмической косе на расстоянии D_1 , составляющем от приблизительно 100 до приблизительно 500 м и, альтернативно, от приблизительно 200 до приблизительно 400 м. В одном конкретном варианте осуществления устройства 22 вращения сейсмической косы могут быть расположены на расстоянии D_1 , составляющем приблизительно 300 м. Как дополнительно показано на чертеже, датчики 12 могут также быть распределены вдоль участка сейсмической косы 18.

Для механического закручивания сейсмической косы 18 одно или более из устройств 22 вращения сейсмической косы могут обеспечивать крутящий момент, вращающий сейсмическую косу 18 вокруг ее продольной оси. Закручивание может рассматриваться в качестве одноосного закручивания, так как, чтобы вызвать закручивание, сейсмическая коса 18 в большинстве случаев вращается вокруг своей продольной оси. Крутящий момент может вызывать вращение устройств 22 вращения сейсмической косы и точно так же вращение соседних участков сейсмической косы 18. Вращение устройств 22 вращения сейсмической косы показано на фиг. 4 стрелками 26. Механическое закручивание сейсмической косы 18 может происходить, например, когда вращаются только участки сейсмической косы 18, при этом участки сейсмической косы 18 вращаются с разными скоростями и/или при этом участки сейсмической косы 18 вращаются в противоположных направлениях. Например, участок (такой как участок, показанный на фиг. 4) может закручиваться, если вращается только одно из устройств 22 вращения сейсмической косы, устройства 22 вращения сейсмической косы вращаются с разными скоростями или участки сейсмической косы 18 вращаются в противоположных направлениях. После завершения калибровки сейсмическая коса 18 (или ее сегмент) может быть раскручена. В некоторых вариантах осуществления сейсмическая коса 18 может закручиваться по всей длине сейсмической косы 18, участок за участком. В альтернативных вариантах осуществления сейсмическая коса 18 может закручиваться только в местах расположения заданных устройств 22 вращения сейсмической косы, например, каждого второго, каждого третьего, каждого четвертого и так далее, пока вся сейсмическая коса 18 не будет закручена и раскручена. Данные могут быть собраны от одного или более датчиков 12 в закрученной части сейсмической косы 18. В некоторых вариантах осуществления данные могут быть собраны при различных степенях закручивания (например, в процессе закручивания сейсмической косы 18) или после того, как сейсмическая коса 18 была закручена. Закручивание в сейсмической косе 18 может характеризоваться числом градусов угла вращения (поворота) на 1 м. Например, сейсмическая коса 18 или ее секция (например, отрезок от приблизительно 50 до приблизительно 200 м) может механически закручиваться в диапазоне от приблизительно 1 до приблизительно 15° на 1 м и, альтернативно, от приблизительно 3 до приблизительно 8° на 1 м. Соответственно данные, полученные для каждого датчика (и, таким образом, каждого соответствующего акселерометра 24) по закрученной сейсмической косе 18, могут иметь широкий диапазон разных углов поворота θ и, вследствие этого, входные сигналы, охватывающие широкий диапазон ускорений ($\pm 1 g_n$).

Механическое закручивание по меньшей мере части сейсмической косы 18 (и, как следствие, сбор данных от датчиков 12 по закрученному участку) вместо простого поворота сейсмической косы 18 позволяет определить соотношение между датчиками 12. Например, можно определить относительное вращение датчиков 12. При вращении всей сейсмической косы любое закручивание сейсмической косы 18, превышающее границы, устанавливаемые теоремой о выборке (например, закручивание более чем на 360° на 2 датчика 12), нельзя будет определить. Благодаря механическому закручиванию сейсмической косы 18 может быть определена любая степень закручивания, превышающая границы, устанавливаемые теоремой о выборке (например, до одного закручивания на датчик 12), так как соотношение между соседними датчиками 12 может представляться изменяющимся в противоположных направлениях прило-

женного закручивания.

В соответствии с некоторыми вариантами осуществления контролируемое закручивание сейсмической косы 18 может выполняться с учетом как скорости вращения, так и частоты выборки акселерометра 24, чтобы можно было получить требуемый набор измерительных точек. В одном варианте осуществления можно использовать три полных поворота при скорости вращения $20^\circ/\text{с}$. В этом варианте осуществления акселерометр может иметь частоту выборки, например, приблизительно 500 отсчетов в 1 с. Вращение может выполняться для одного участка сейсмической косы 18, а затем передаваться вдоль последующих участков сейсмической косы 18. Вращение может передаваться по сейсмической косе 18 для получения величины закручивания путем закручивания в месте расположения одного устройства 22 вращения сейсмической косы при одновременном использовании соседних устройств 22 вращения сейсмической косы для удержания сейсмической косы 18 в нужном положении. В альтернативных вариантах осуществления скорость вращения может изменяться в диапазоне от приблизительно 10 до приблизительно $90^\circ/\text{с}$.

На фиг. 5 изображены траектории y - z для пары акселерометров 24 на участке сейсмической косы, построенные вместе с соответствующими подобранными эллипсами 32, 34. Данные были получены по трем полным оборотам сейсмической косы 18 при скорости вращения $20^\circ/\text{с}$ и частоте выборки акселерометра 24, составляющей 500 отсчетов в 1 с. Координатами для двухмерных проекций были y - и z -составляющие данных, проецируемых на плоскость y - z . Двухмерные проекции для необработанных данных двух акселерометров 24 представлены позициями 28 и 30 соответственно. Чтобы построить эллипс для моделируемых данных, был выполнен несвязанный подбор методом наименьших квадратов. Построенные эллипсы для каждого из акселерометров 24 представлены позициями 28 и 30 соответственно. Параметры калибровки (или параметры описания эллипса) могут затем быть выделены из построенных эллипсов 32, 34.

На фиг. 6 изображены траектории y - z для акселерометра 24 на участке сейсмической косы до и после калибровки. Моделируемые данные были получены по трем полным оборотам сейсмической косы 18 при скорости вращения $20^\circ/\text{с}$ и частоте выборки акселерометра 24, составляющей 500 отсчетов в 1 с. Координатами для двухмерных проекций были y - и z -составляющие измеренных данных, проецируемых на плоскость y - z . Двухмерные проекции для необработанных данных акселерометра 24 до калибровки представлены позицией 36, а после калибровки - позицией 38. Чтобы построить эллипсы для моделируемых данных, был выполнен несвязанный подбор методом наименьших квадратов. Построенные эллипсы для акселерометра 24 до и после калибровки представлены проецируемым эллипсом 40 и калиброванным эллипсом 42 соответственно. Параметры калибровки могут быть выделены из построенного эллипса 40 необработанных данных перед калибровкой и использованы при калибровке акселерометра 24 путем перемещения данных из проецируемого эллипса 40 в калиброванный эллипс 42, центрированный в проецируемом эллипсе 40.

На фиг. 7 показан один вариант осуществления компьютера 44, который может применяться в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. В некоторых вариантах осуществления компьютерная система 44 может представлять собой компонент регистрирующей системы (например, регистрирующей системы 8 на фиг. 1). Компьютерная система 44 может использоваться для реализации вариантов осуществления методов калибровки акселерометров, раскрытых в настоящей заявке. Например, компьютерная система 44 может принимать в качестве входных данных, без ограничений, измеренные данные от акселерометров 24, данные вращения и т.п. и выдавать калибровочную информацию на акселерометры 24. В некоторых вариантах осуществления компьютерная система 44 может принимать и отображать измеренные сигналы, например, от акселерометров 24. Специальное или уникальное программное обеспечение для приема входных данных, обработки данных и передачи выходных сигналов может храниться в компьютерной системе 44 и/или на внешних машиночитаемых носителях. Специалистам в данной области понятно, что компьютерная система 44 может содержать элементы аппаратного обеспечения, включая электронные схемы, при этом элементы аппаратного обеспечения содержат машинный код, сохраняемый на машиночитаемом носителе, или комбинацию аппаратных и программных элементов. Помимо этого, блоки, показанные на фиг. 7, представляют собой лишь один пример блоков, которые могут быть реализованы. Процессор 46, такой как центральное процессорное устройство или ЦПУ, может управлять всей работой компьютерной системы 44. Процессор 46 может быть подключен к контроллеру 48 памяти, который может считывать данные и записывать данные в системную память 50. Контроллер 48 памяти может иметь память, содержащую область энергонезависимой памяти и область энергозависимой памяти. Системная память 50 может состоять из совокупности модулей памяти, как понятно специалисту в данной области. В дополнение к этому, системная память 50 может содержать энергонезависимую и энергозависимую части. Системная базовая система ввода-вывода (BIOS) может храниться в энергонезависимой части системной памяти 50. Системная BIOS выполнена с возможностью управления процессом запуска или начальной загрузки и управления низкоуровневыми операциями компьютерной системы 44.

Процессор 46 может быть подключен по меньшей мере к одной системной шине 52, чтобы обеспе-

чить возможность обмена данными между процессором 46 и другими системными устройствами. Системная шина 52 может работать по стандартному протоколу, такому как вариант шины соединения периферийных компонентов (PCI) и т.п. В примере осуществления, показанном на фиг. 7, системная шина 52 может соединять процессор 46 с накопителем 54 на жестком диске, графическим контроллером 56 и по меньшей мере одним входным устройством 58. Накопитель 54 на жестком диске может обеспечивать энергонезависимое запоминающее устройство для данных, которые могут использоваться компьютером 44. Графический контроллер 56 может, в свою очередь, быть подключен к устройству отображения 60, которое может обеспечивать для пользователя изображение на основании действий, выполняемых компьютерной системой 44. Запоминающие устройства компьютерной системы 44, включая системную память 50 и накопитель 54 на жестком диске, могут представлять собой материальные машиночитаемые носители, на которых хранятся машиночитаемые команды, инициирующие выполнение процессором 46 способа в соответствии с вариантом осуществления настоящих методов.

В случае расхождения при употреблении слова или термина в данном описании и одном или более патентных или других документах, содержание которых может быть включено в настоящую заявку посредством ссылки, определяющие, соответствующие данному описанию, следует принять для целей понимания настоящего изобретения.

Хотя выше раскрыты конкретные варианты осуществления, эти варианты осуществления не ограничивают объем раскрытия настоящего изобретения, даже если в связи с каким-либо конкретным признаком описан только один вариант осуществления. Примеры признаков, представленные в настоящем раскрытии изобретения, предназначены для целей иллюстрации, а не ограничения, если не оговорено противное. Приведенное выше описание охватывает такие альтернативные варианты, модификации и эквиваленты, которые будут понятны специалисту, воспользовавшемуся раскрытым здесь изобретением.

В объем настоящего раскрытия изобретения входит любой признак или комбинация признаков, раскрытых в документе (явно или неявно), или любое их обобщение, независимо от того, смягчают ли они все или любые из рассматриваемых здесь проблем. В заявке описаны различные преимущества настоящего изобретения, однако варианты его осуществления могут обеспечивать некоторые, все или ни одно из таких преимуществ, или могут обеспечивать другие преимущества.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ калибровки акселерометра, размещенного в водоеме, содержащий следующее:
 буксируют сейсмическую косу позади сейморазведочного судна в водоеме, причем сейсмическая коса содержит акселерометр;
 подвергают закручиванию, по меньшей мере, участок сейсмической косы с приданием ему степени закручивания от приблизительно 1 до приблизительно 15° на 1 м;
 принимают данные от акселерометра в выбранном множестве моментов времени во время закручивания и
 определяют по меньшей мере один параметр калибровки акселерометра на основании по меньшей мере части указанных данных.
2. Способ по п.1, в котором акселерометр включает в себя многоосевой акселерометр.
3. Способ по п.1, в котором участок сейсмической косы, подвергаемый закручиванию, имеет длину приблизительно 100 м или больше.
4. Способ по п.1, в котором закрутка участка сейсмической косы составляет от приблизительно 3 до приблизительно 8° на 1 м.
5. Способ по п.1, дополнительно содержащий определение относительного вращения первого датчика на сейсмической косе по отношению к другому датчику на сейсмической косе.
6. Способ по п.5, дополнительно содержащий
 получение геофизических данных от первого датчика и
 формирование результата обработки геофизических данных исходя из геофизических данных.
7. Способ по п.6, дополнительно содержащий импортирование результата обработки геофизических данных на берег.
8. Способ по п.1, дополнительно содержащий
 проецирование по меньшей мере части данных, полученных от акселерометра, на двух- или трехмерную систему координат; и
 подбор геометрической формы по проекции данных.
9. Способ по п.1, в котором параметр калибровки содержит по меньшей мере один параметр, выбранный из группы, состоящей из коэффициента усиления, смещения и отклонения осей.
10. Способ по п.1, дополнительно содержащий калибровку акселерометра для учета отклонения осей акселерометра.
11. Способ по п.1, дополнительно содержащий калибровку акселерометра с использованием, по меньшей мере, параметра калибровки.
12. Способ по п.1, в котором у акселерометра отсутствует ортогональность по меньшей мере одной

из его осей.

13. Способ калибровки многоосевого акселерометра, размещенного в водоеме, содержащий следующее:

буксируют сейсмическую косу позади сейморазведочного судна в водоеме, причем сейсмическая коса содержит многоосевой акселерометр;

вращают устройство вращения сейсмической косы на сейсмической косе без вращения соседнего устройства вращения сейсмической косы, чтобы подвергнуть закручиванию участок сейсмической косы между устройством вращения сейсмической косы и соседним устройством вращения сейсмической косы, причем данному участку придают степень закручивания от приблизительно 1 до приблизительно 15° на 1 м;

принимают данные от многоосевого акселерометра в выбранном множестве моментов времени во время закручивания;

определяют по меньшей мере один параметр калибровки многоосевого акселерометра на основании по меньшей мере части указанных данных.

14. Способ по п.13, дополнительно содержащий раскручивание участка сейсмической косы и подвергание закручиванию другого участка сейсмической косы.

15. Способ по п.13, в котором участок сейсмической косы, подвергаемый закручиванию, имеет длину приблизительно 100 м или больше.

16. Способ по п.13, дополнительно содержащий определение относительного вращения первого датчика на сейсмической косе по отношению к другому датчику на сейсмической косе.

17. Способ по п.16, дополнительно содержащий следующее:

получают геофизические данные от первого датчика;

формируют результат обработки геофизических данных исходя из геофизических данных.

18. Способ по п.17, дополнительно содержащий импортирование результата обработки геофизических данных на берег.

19. Способ по п.13, дополнительно содержащий

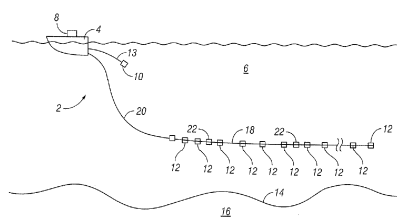
проецирование по меньшей мере части данных, полученных от акселерометра, на двух- или трехмерную систему координат; и

подбор геометрической формы по проекции данных.

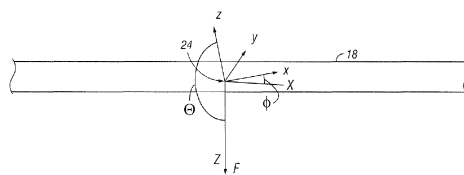
20. Способ по п.13, в котором параметр калибровки содержит по меньшей мере один параметр, выбранный из группы, состоящей из коэффициента усиления, смещения и отклонения осей.

21. Способ по п.13, дополнительно содержащий калибровку акселерометра для учета отклонения осей акселерометра.

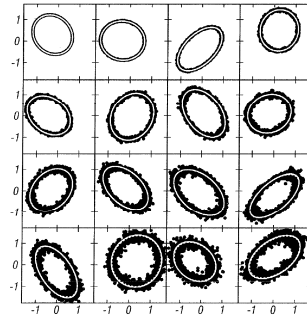
22. Способ по п.13, дополнительно содержащий калибровку акселерометра с использованием, по меньшей мере, параметра калибровки.



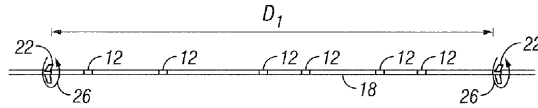
Фиг. 1



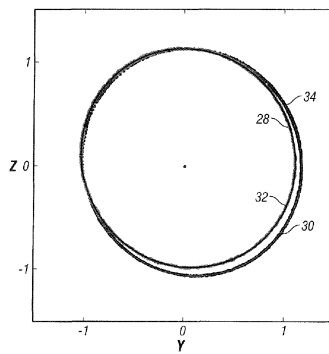
Фиг. 2



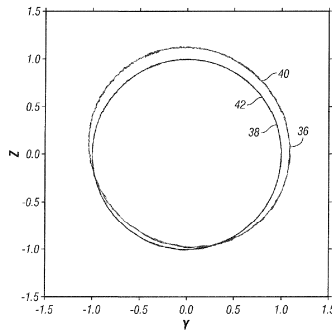
Фиг. 3



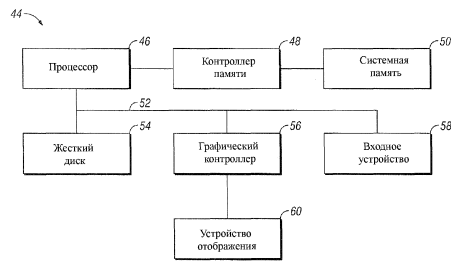
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7