

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 201992033 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2020.02.10

(51) Int. Cl. G01S 15/02 (2006.01)  
G01S 15/89 (2006.01)  
G01S 5/18 (2006.01)  
B23K 37/04 (2006.01)

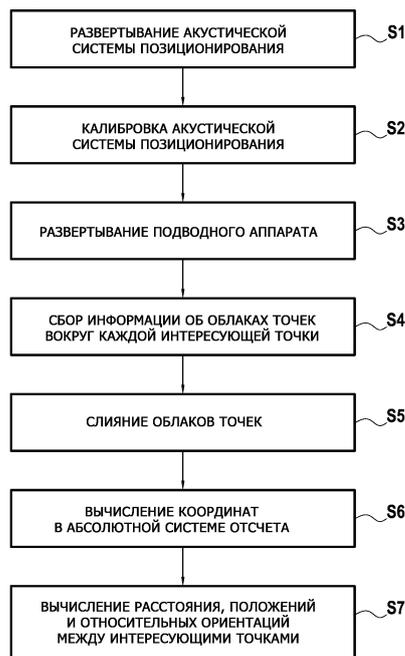
(22) Дата подачи заявки  
2018.02.22

(54) СПОСОБ КОМБИНИРОВАННОЙ МЕТРОЛОГИИ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ, ПОЛОЖЕНИЙ ПО КРЕНУ И ТАНГАЖУ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ МЕЖДУ ДВУМЯ ИНТЕРЕСУЮЩИМИ ПОДВОДНЫМИ ТОЧКАМИ

(31) 17 51744  
(32) 2017.03.03  
(33) FR  
(86) PCT/FR2018/050428  
(87) WO 2018/158526 2018.09.07  
(71) Заявитель:  
САЙПЕМ С.А. (FR)

(72) Изобретатель:  
Гийу Эрик (FR)  
(74) Представитель:  
Фелицына С.Б. (RU)

(57) Изобретение относится к способу комбинированной метрологии для вычисления расстояния, положений по крену и тангажу и относительных ориентаций между двумя интересующими подводными точками. Способ включает в себя размещение (S1) на морском дне акустической системы позиционирования дальнего действия с акустическими маяками, калибровку (S2) системы для определения положений между маяками, развертывание (S3) на морском дне аппарата, оснащенного средствами сбора информации об облаках точек, реализацию (S4) нескольких сцен вокруг каждой интересующей точки для сбора информации об облаках точек, каждое из которых содержит точки, отображающие интересующую точку, и точки, отображающие по меньшей мере два акустических маяка, развернутых вокруг указанной интересующей точки, обработку (S5) облаков точек для вычисления (S6) координат точек в одной системе отсчета, образованной сетью маяков и имеющей в качестве центра положение одного из акустических маяков, и вычисление (S7) расстояния, положений по крену и тангажу и относительных ориентаций между двумя интересующими точками на основании координат точек всех изображений в системе отсчета, образованной сетью акустических маяков.



A1

201992033

201992033

A1

## СПОСОБ КОМБИНИРОВАННОЙ МЕТРОЛОГИИ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ, ПОЛОЖЕНИЙ ПО КРЕНУ И ТАНГАЖУ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ МЕЖДУ ДВУМЯ ИНТЕРЕСУЮЩИМИ ПОДВОДНЫМИ ТОЧКАМИ

Уровень техники

Настоящее изобретение относится к общей области подводной метрологии. В частности, оно относится к способу метрологии, позволяющему вычислять расстояние, положения по крену и тангажу и относительные ориентации между двумя интересующими подводными точками.

Не ограничительной областью применения является вычисление расстояния, положений по крену и тангажу и относительных ориентаций между соответствующими фланцами двух труб, опирающихся на морское дно и используемых для транспортировки углеводородов, например, нефти и газа, добываемых из морских производственных скважин.

В области подводной транспортировки углеводородов, как известно, применяют соединители для соединения между собой труб, расположенных на морском дне. Эти соединители представляют собой находящиеся под водой конструкции, выполненные в виде труб, которые могут быть расположены горизонтально, опираясь на морское дно (случай так называемых “spools”), или могут быть расположены вертикально над морским дном (случай так называемых “jumpers”).

Для определения формы и точных размеров этих соединителей необходимо предварительно точно узнать расстояние, положение по крену и тангажу и относительные ориентации между соответствующими фланцами двух труб, которые опираются на морское дно и которые должны быть соединены соединителями. Для выполнения этих измерений обычно применяют технологию подводной метрологии.

Существуют разные типы способов подводной метрологии, применяемые для вычисления расстояния, положений по крену и тангажу и относительных ориентаций между соответствующими фланцами двух соединяемых труб. Наиболее распространенным способом метрологии является способ, основанный на сети акустических буев, развертываемых на морском дне (называемой LBL от “Long Baseline” – большая база). Эта акустическая система LBL определяет положение интересующей подводной точки, производя акустическое измерение расстояния между интересующей точкой и тремя (или более) акустическими буями, развернутыми на морском дне. Поскольку буи позволяют получать расстояния, необходимо дополнить их измерениями положений и ориентации при помощи гироскопов и измерителей углов наклона,

развернутых на морских конструкциях в заранее определенных точках.

Обычно результаты, получаемые при помощи этого способа, основанного на сети LBL, являются точными. Вместе с тем, используемые акустические буи являются чувствительными к подводному шуму, и осуществление этого способа требует много времени. Кроме того, этот способ требует подготовки на суше, чтобы определить отклонения между точками измерений и реальными интересующими точками (то есть центрами фланцев соединяемых труб).

В рамках другого известного способа подводной метрологии применяют инерциальные навигационные системы с использованием акселерометров и гироскопов для определения расстояний и положений соответствующих фланцев двух труб.

Главным преимуществом такого способа является то, что на него не влияют ни возможные плохие условия видимости под водой, ни окружающий подводный шум. Вместе с тем, инерциальные навигационные системы, используемые в рамках этого способа, имеют проблемы отклонения показаний их датчиков, и эти отклонения необходимо затем корректировать при помощи акустической системы позиционирования. Кроме того, измерения положений можно получить только при контакте с конструкциями.

#### Задача и раскрытие изобретения

Настоящее изобретение призвано предложить способ метрологии, не имеющий вышеупомянутых недостатков.

Согласно изобретению, эту задачу решают, применяя способ комбинированной метрологии для вычисления расстояния, положений по крену и тангажу и относительных ориентаций между двумя интересующими подводными точками, который последовательно содержит:

размещение на морском дне сети акустических буюв акустической системы позиционирования дальнего действия с развертыванием по меньшей мере трех буюв вокруг каждой интересующей точки и с развертыванием двух дополнительных акустических буюв;

калибровку акустической системы позиционирования дальнего действия для определения относительных или абсолютных положений между акустическими буювами;

развертывание на морском дне подводного аппарата, оснащенного средствами сбора информации об облаках точек;

реализацию подводным аппаратом нескольких сцен вокруг каждой интересующей точки для сбора информации о нескольких облаках точек, каждое из которых содержит точки, отображающие интересующую точку, и точки, отображающие по меньшей мере два акустических буюв, развернутые вокруг указанной интересующей точки;

обработку облаков точек для вычисления координат точек в одной системе отсчета, образованной сетью акустических буев и имеющей центром положение одного из акустических буев; и

вычисление расстояния, положений крена и тангажа и относительных ориентаций между двумя интересующими точками на основании координат точек всех сцен в системе отсчета, образованной сетью акустических буев.

Заявленный способ метрологии имеет ряд преимуществ перед известными способами. В частности, этот способ примечателен тем, что объединяет средства сбора информации дальнего действия (то есть акустическую систему позиционирования, образованную сетью акустических буев) со средствами сбора информации ближнего действия (то есть со средствами сбора информации, которыми оснащен подводный аппарат). Таким образом, этот способ позволяет сократить время получения измерений, не требует предварительной установки опор на интересующих точках для крепления на них измерительных приборов и не требует никакого контакта с конструкциями во время осуществления измерений.

Кроме того, учитывая, что измерение касается не единственной точки, как в случае способов с акустическими буями или с инерциальными навигационными системами, а облака точек, избыточность получаемых измерений позволяет достигать лучшего контроля качества. Наконец, этот способ позволяет избегать использования путей доставки (как в рамках известных способов фотограмметрии и лазерного сканирования), что позволяет добиваться более высокой точности измерений.

Предпочтительно обработка облаков точек включает в себя применение матрицы преобразования 3D для получения координат указанных точек в системе отсчета, образованной сетью акустических буев. В этом случае применение матрицы преобразования 3D может включать в себя применение матрицы преобразования поступательного движения и матрицы преобразования вращения.

Предпочтительно до обработки облаков точек способ дополнительно содержит слияние облаков точек, связанных с каждой интересующей точкой.

Предпочтительно акустические буи акустической системы позиционирования содержат, каждый, средства передачи и приема акустических сигналов.

Координаты точек облаков точек и координаты точек, отображающих акустические буи, связанные с каждой интересующей точкой, предпочтительно определяют в абсолютной или относительной системе отсчета, связанной с акустическими буями, развернутыми вокруг указанной интересующей точки.

Подводный аппарат может содержать акустический сканер, лазерный сканер или

фотограмметрический прибор для сбора информации об облаках точек.

Объектом изобретения является также применение описанного выше способа для вычисления расстояния, положений крена и тангажа и относительных ориентаций между двумя фланцами подводных труб транспортировки текучей среды. В этом случае один из трех акустических буев, развернутых для каждого фланца трубы, может быть расположен на указанном фланце трубы с целью контроля качества.

Краткое описание чертежей

Другие отличительные признаки и преимущества настоящего изобретения будут более очевидны из нижеследующего описания, представленного в качестве не ограничительного примера, со ссылками на прилагаемые чертежи. На фигурах чертежей:

Фиг. 1 - блок-схема основных этапов заявленного способа подводной метрологии.

Фиг. 2 - пример применения заявленного способа подводной метрологии для вычисления расстояния, положений по крену и тангажу и относительных ориентаций между двумя фланцами подводных труб транспортировки текучих сред.

Фиг. 3 - развертывание подводного аппарата, оснащенного датчиком облаков точек для осуществления способа, показанного на фиг. 2.

Подробное описание изобретения

Изобретение относится к способу метрологии, позволяющему вычислять расстояние, положения по крену и тангажу и относительные ориентации между двумя интересующими подводными точками.

Не ограничительный пример применения относится к вычислению расстояния и относительных ориентаций между соответствующими фланцами (то есть соответствующими концами) двух подводных труб транспортировки текучей среды, расположенных на морском дне, которые необходимо соединить друг с другом при помощи соединителей “spool” или “jumper”.

Со ссылками на фиг. 1 и 2 будут описаны основные этапы осуществления заявленного способа метрологии, применяемого для вычисления расстояния  $d$ , положений по тангажу  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  и крену  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и относительных ориентаций  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  между соответствующими фланцами 1a, 2a двух подводных труб 1, 2 транспортировки текучей среды.

В данном случае под ориентацией следует понимать угол  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , образованный между соответствующей продольной осью 1b, 2b подводной трубы и прямой  $d$ , соединяющей соответствующие центры фланцев двух подводных труб (см. фиг. 2).

Под положением по крену следует понимать угол поворота  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  относительно соответствующей продольной оси 1b, 2b, отображающий боковое движение справа налево

фланцев труб. Под положением по тангажу следует понимать угол поворота  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  относительно поперечной оси 1с, 2с, перпендикулярной к соответствующей продольной оси 1b, 2b труб, отображающий движение спереди назад фланцев труб. Эти углы поворота показаны на фиг. 3.

На первом этапе S1 способа на морском дне располагают сеть акустических маяков акустической системы позиционирования дальнего действия (называемой LBL от “Long Baseline”). Эта известная акустическая система позиционирования LBL является геодезической сетью ограниченного радиуса действия и временного действия, в которой каждый акустический маяк позиционируют посредством измерения расстояния до других маяков, и он имеет известные координаты в этой же геодезической системе отсчета.

Для этого на морском дне разворачивают по меньшей мере три акустических маяка 11, 12, 13 вокруг фланца 1а трубы 1, по меньшей мере три других акустических маяка 21, 22, 23 вокруг фланца 2а трубы 2 и два дополнительных акустических маяка 31, 32.

Предпочтительно, в примере применения изобретения, один из трех акустических маяков, развернутых для каждого фланца, будет располагаться в непосредственной близости от этого фланца (например, на фиг. 2 речь идет об акустических маяках 11 и 21), чтобы обеспечивать контроль качества измерений.

Как известно, в акустической системе позиционирования LBL каждый из акустических маяков 11, 12, 13, 21, 22, 23 и 31, 32 содержит средства передачи и приема акустических сигналов, и эти маяки расположены относительно друг друга таким образом, чтобы их места расположения пересекались под углом, превышающим  $30^\circ$ . Кроме того, некоторые маяки оснащены датчиком давления, позволяющим определять общую контрольную плоскость на оси Z.

Как известно также, акустическая система позиционирования LBL позволяет определить общую систему отсчета в трех измерениях, которая является относительной или абсолютной и которая охватывает всю зону и, в частности, оба фланца 2а, 2b и все акустические маяки 11, 12, 13, 21, 22, 23, 31 и 32.

Общую систему отсчета называют «относительной», когда она получена на основании измерения расстояния между двумя маяками, причем один из этих двух маяков образует центр системы отсчета, и ось, соединяющая эти два маяка, образует одну из осей.

На фиг. 2 представлен пример такой относительной общей системы отсчета А (32, X, Y, Z). Эта система отсчета А образована при помощи двух дополнительных маяков 31, 32, при этом маяк 32 образует центр системы отсчета, и ось, соединяющая маяки 31, 32, образует ось X.

Альтернативно, систему отсчета называют «абсолютной», когда она получена на

основании абсолютной системы координат, связанной с наземной системой координат (например, со спутниковой системой геолокализации GPS (от “Global Positioning System”).

На втором этапе S2 способа производят калибровку развернутой акустической системы позиционирования.

Как известно, калибровка сети состоит в осуществлении измерений расстояний между акустическими маяками, в вычислении положения каждого маяка в предварительно определенной абсолютной или относительной системе отсчета и в корректировке сети. Корректировку сети производят при помощи соответствующего программного обеспечения с применением метода наименьших квадратов, чтобы точно определить положение каждого маяка.

После калибровки акустической системы позиционирования на следующем этапе S3 способа на морском дне разворачивают подводный аппарат, оснащенный средствами сбора информации об облаках точек.

Как правило, эти средства сбора информации об облаках точек представляют собой приборы любого типа, обеспечивающие получение в реальном времени или в записи данных облака точек, в частности, лазерные сканеры, акустические сканеры или фотограмметрические приборы.

Подводный аппарат дополнительно содержит средства измерения звука под водой. Эти средства измерения звука под водой используют для получения точной скорости распространения звука, что позволяет применять этот параметр для используемых средств измерения, таких как акустические сканеры или приборы измерения расстояний между маяками.

На следующем этапе S4 при помощи подводного аппарата реализуют несколько сцен (или постов) вокруг каждого фланца 1а, 2а труб 1, 2, чтобы собрать информацию о нескольких облаках точек вокруг этих фланцев. На фиг. 3 представлен пример получения сцены I вокруг фланца 2а трубы 2.

Подводный аппарат реализует эти посты сбора информации, будучи стабилизированным на морском дне вокруг каждого фланца трубы. Различные места расположения этих постов сбора информации определяют предварительно и программируют таким образом, чтобы каждое облако точек обязательно содержало точки, отображающие рассматриваемый фланец и по меньшей мере два акустических маяка, развернутых вокруг этого фланца. В примере, показанном на фиг. 3, изображение I содержит точки, отображающие фланец 2а и акустические маяки 21 и 23.

Таким образом, получают координаты точек облаков точек, и в общей абсолютной или относительной системе отсчета A (32, X, Y, Z), образованной акустической системой

позиционирования LBL, определяют координаты точек, отображающих акустические маяки, развернутые вокруг фланца.

Точно так же, для каждой сцены координаты точек облаков точек, и координаты точек, отображающих акустические маяки, развернутые вокруг соответствующего фланца, определяют в конкретной системе отсчета с центром на положении датчика облаков точек, которым оснащен подводный аппарат, во время указанной сцены.

Все координаты точек облаков точек, полученные во время различных сцен подводного аппарата, сохраняют в памяти.

На этапе S5 различные облака точек, полученные для каждого фланца трубы, вносят в программу обработки облаков точек для их слияния в одно единое облако точек, связанное с каждым фланцем трубы.

После слияния различных облаков точек вокруг зоны, включающей в себя каждый фланец трубы, получают совокупность точек, координаты которых известны в глобальной относительной системе отсчета  $R1 (O1, X, Y, Z)$ ,  $R2 (O2, X, Y, Z)$ , связанной с каждым фланцем трубы и обычно имеющей центр на положении датчика облаков точек, которым оснащен подводный аппарат, во время первой сцены.

Для каждого фланца трубы на следующем этапе S6 вычисляют координаты точек всех слитых таким образом облаков точек в общей системе отсчета  $A (32, X, Y, Z)$  с центром на положении одного из двух дополнительных акустических маяков (то есть в данном случае акустического маяка 32).

Это вычисление включает в себя применение известной матрицы преобразования 3D для точек всех облаков точек, чтобы получить координаты указанных точек в общей системе отсчета  $A (32, X, Y, Z)$ .

В частности, матрица преобразования обычно включает в себя матрицу преобразования поступательного движения и матрицу преобразования вращения. Опорными точками этой матрицы преобразования вращения являются акустические маяки, которые находятся вокруг каждого фланца и координаты которых известны одновременно в общей системе отсчета  $A (32, X, Y, Z)$  и в глобальной системе отсчета  $R1 (O1, X, Y, Z)$ ,  $R2 (O2, X, Y, Z)$ , связанной с каждым фланцем.

Как известно, на основании известных координат точек всех облаков точек такая матрица преобразования позволяет получить координаты одной и той же точки во второй системе отсчета, отличной от первой.

После этого этапа вычисления получают координаты точек всех облаков точек, полученных вокруг зон, включающих в себя каждый фланец трубы, в общей системе отсчета  $A (32, X, Y, Z)$  с центром на положении одного из двух дополнительных

акустических маяков.

После определения координат всех точек в общей системе отсчета  $A (32, X, Y, Z)$  в рамках способа на этапе  $S7$  при помощи соответствующего программного обеспечения вычисляют расстояние  $d$ , положения по тангажу  $\gamma_1, \gamma_2$  и крену  $\beta_1, \beta_2$  и относительные ориентации  $\alpha_1, \alpha_2$  между соответствующими фланцами  $1a, 2a$  двух подводных труб  $1, 2$ .

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ комбинированной метрологии для вычисления расстояния, положений по крену и тангажу и относительных ориентаций между двумя интересующими подводными точками, характеризующийся тем, что:

размещают (S1) на морском дне сеть акустических маяков акустической системы позиционирования дальнего действия с развертыванием по меньшей мере трех маяков (11, 12, 13, 21, 22, 23) вокруг каждой интересующей точки (1а, 2а) и развертывают два дополнительных акустических маяка (31, 32);

калибруют (S2) акустическую систему позиционирования дальнего действия для определения относительных или абсолютных положений между акустическими маяками;

развертывают (S3) на морском дне подводный аппарат (40), оснащенный средствами сбора информации об облаках точек;

реализуют (S4) подводным аппаратом несколько сцен вокруг каждой интересующей точки для сбора информации о нескольких облаках точек (I), каждое из которых содержит точки, отображающие интересующую точку, и точки, отображающие по меньшей мере два акустических маяка, развернутых вокруг указанной интересующей точки;

выполняют обработку (S5) облаков точек для вычисления (S6) координат точек в одной системе отсчета A (32, X, Y, Z), образованной сетью акустических маяков и имеющей в качестве центра положение одного из акустических маяков; и

вычисляют (S7) расстояние (d), положений по крену ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ) и тангажу ( $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ) и относительные ориентации ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) между двумя интересующими точками на основании координат точек всех сцен в системе отсчета, образованной сетью акустических маяков.

2. Способ по п. 1, в котором обработка облаков точек включает в себя применение матрицы преобразования 3D для получения координат указанных точек в системе отсчета, образованной сетью акустических маяков.

3. Способ по п. 2, в котором применение матрицы преобразования 3D включает в себя применение матрицы преобразования поступательного движения и применение матрицы преобразования вращения.

4. Способ по любому из пп. 1-3, в котором до обработки облаков точек выполняют слияние облаков точек, связанных с каждой интересующей точкой.

5. Способ по любому из пп. 1-4, в котором акустические маяки акустической системы позиционирования содержат, каждый, средства передачи и приема акустических сигналов.

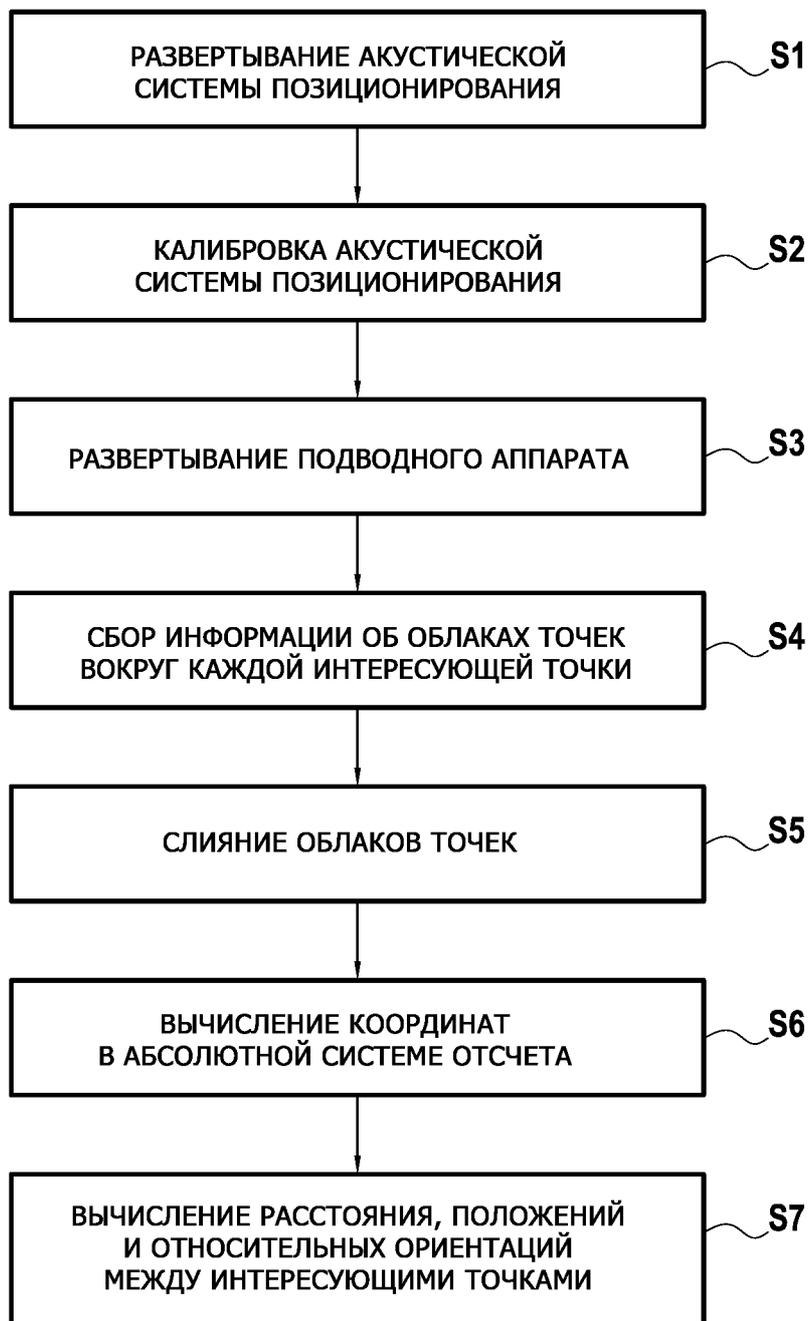
6. Способ по любому из пп. 1-5, в котором координаты точек облаков точек и

координаты точек, отображающих акустические маяки, связанные с каждой интересующей точкой, определяют в абсолютной или относительной системе отсчета, связанной с акустическими маяками, развернутыми вокруг указанной интересующей точки.

7. Способ по любому из пп. 1-6, в котором подводный аппарат содержит акустический сканер, лазерный сканер или фотограмметрический прибор для сбора информации об облаках точек.

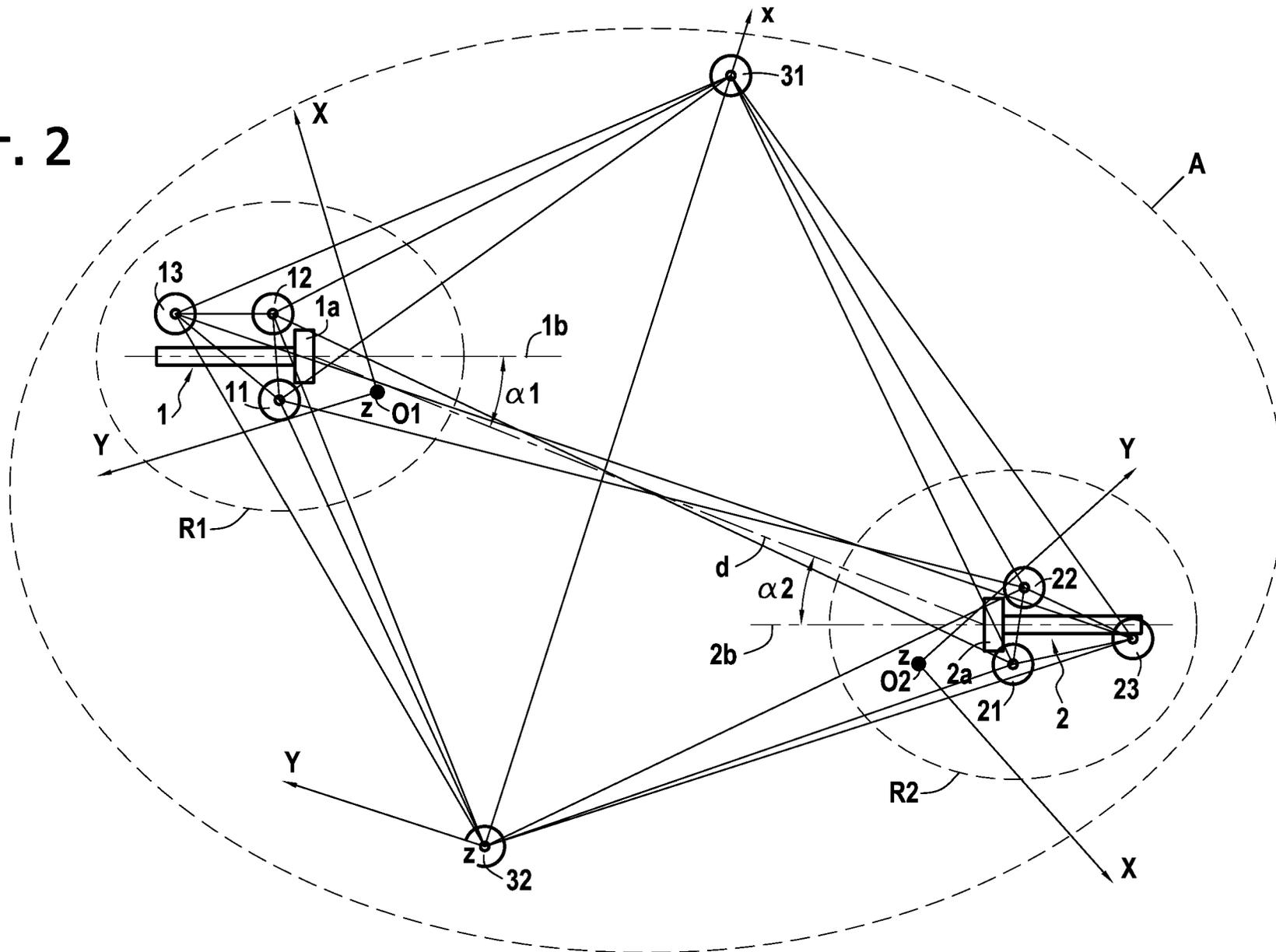
8. Применение способа по любому из пп. 1-7 для вычисления расстояния, положений по крену и тангажу и относительных ориентаций между двумя фланцами (1а, 2а) подводных труб (1, 2) транспортировки текучей среды.

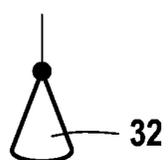
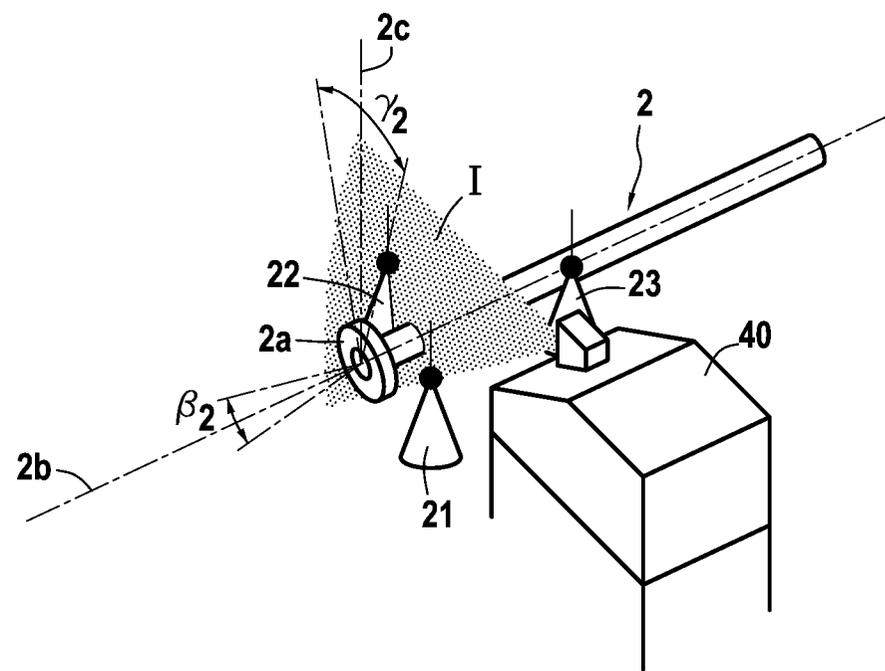
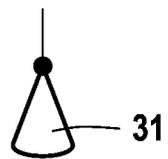
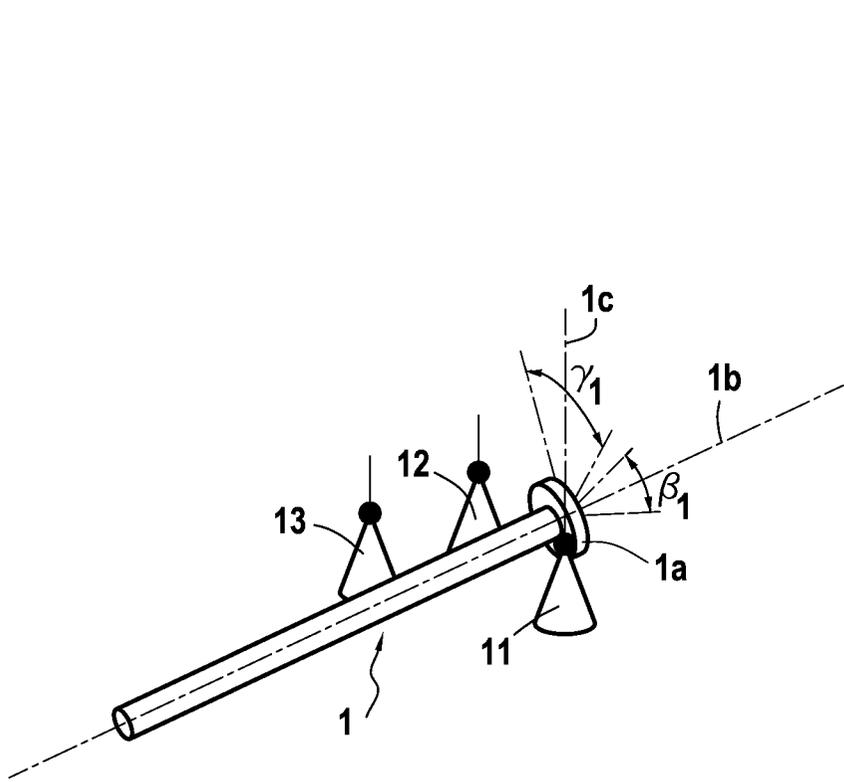
9. Применение по п. 8, в котором один из трех акустических маяков, развернутых для каждого фланца трубы, расположен на указанном фланце трубы с целью контроля качества.



Фиг. 1

Фиг. 2





ФИГ. 3