



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010122735/28, 04.06.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.06.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
06.06.2009 US 61/184,800;
17.12.2009 US 12/640,037

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2011 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: 27.01.2015 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU1392414 A1 (Институт сверхтвердых материалов АН УССР), 30.04.1988. SU996884 A (Вильнюсский филиал Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков), 15.02.1983. SU1755081 A1 (Харьковский филиал Центрального конструкторского бюро Союзэнергоремонта), 15.08.1992. RU2045005 C1 (Скворцов О.Б., Майорова Г.М.), 27.09.1995. (см. прод.)

Адрес для переписки:

191036, Санкт-Петербург, а/я 24, "НЕВИНПАТ",
А.В. Поликарпову

(72) Автор(ы):

**РОССИ Валерио (ИТ),
ДЕПАУ Валерио (ИТ)**

(73) Патентообладатель(и):

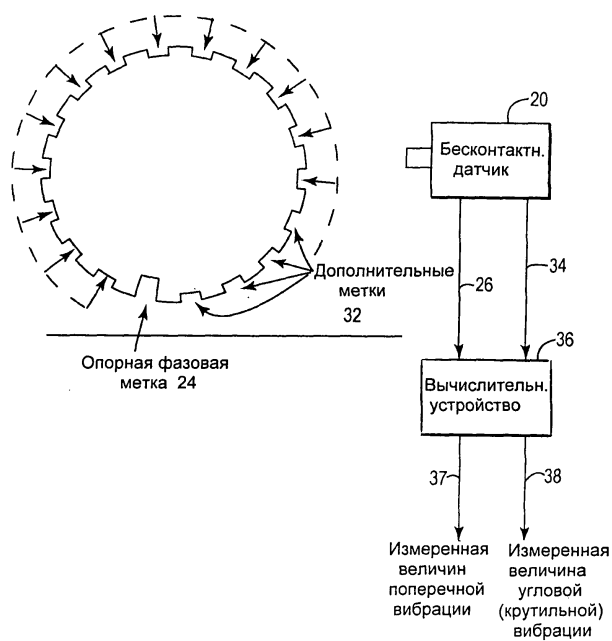
Нуово Пиньоне С.п.А. (ИТ)

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ ВИБРАЦИИ И УГЛОВОЙ ВИБРАЦИИ, СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТИЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ И РОТОДИНАМИЧЕСКАЯ МАШИНА

(57) Реферат:

В примерных вариантах выполнения поверхность вращающегося элемента снабжена опорной фазовой меткой и несколькими дополнительными метками. Бесконтактный датчик приближения обнаруживает прохождение как опорной фазовой метки, так и дополнительных меток по мере их прохождения

через зону обнаружения. Генерируется как опорный фазовый сигнал, так и опорный сигнал вибрации, и эти сигналы используются для расчета поперечной и угловой (и при необходимости крутильной) вибрации вращающихся элементов. 3 н. и 16 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг.3

(56) (продолжение):

SU348947 А (Виброакустическая научно-исследовательская лаборатория), 23.08.1972. Руководство по эксплуатации ИЛФМ.402213.005 РЭ, г.Пермь, 2008 год



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2010122735/28, 04.06.2010**(24) Effective date for property rights:
04.06.2010

Priority:

(30) Convention priority:
06.06.2009 US 61/184,800;
17.12.2009 US 12/640,037(43) Application published: **10.12.2011 Bull. № 34**(45) Date of publication: **27.01.2015 Bull. № 3**

Mail address:

191036, Sankt-Peterburg, a/ja 24, "NEVINPAT",
A.V. Polikarpovu

(72) Inventor(s):

ROSSI Valerio (IT),
DEPAU Valerio (IT)

(73) Proprietor(s):

Nuovo Pin'one S.p.A. (IT)(54) **METHOD TO MEASURE TRANSVERSE VIBRATION AND ANGULAR VIBRATION, METHOD TO MEASURE TORSIONAL VIBRATION AND ROTORDYNAMIC MACHINE**

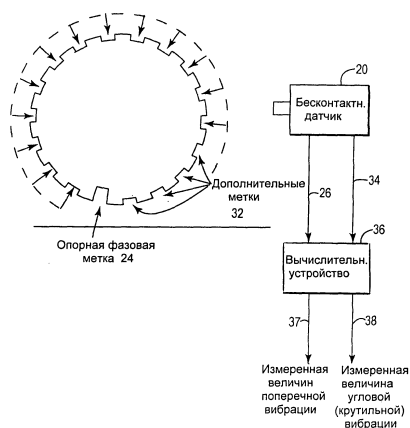
(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: in approximate versions of realisation the surface of a rotary element is equipped with a reference phase mark and several additional marks. A contactless approach sensor detects passage of both the reference phase mark and additional marks as they pass via the detection zone. Both the reference phase signal and the reference vibration signal are generated, and these signals are used to calculate transverse and angular (and torsional, if necessary) vibration of rotary elements.

EFFECT: improved measurement.

19 cl, 7 dwg



Фиг.3

РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Приоритет настоящей заявки испрашивается по предварительной патентной заявке США №61/184, 800, поданной 6 июня 2009 г., «Контроль угловой и крутильной вибрации ротородинамических систем», содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее изобретение относится в целом к ротородинамическим системам и, более конкретно, к измерению, контролю и/или анализу вибрации в одной или более осевых плоскостях вращающихся машин, например вала турбомашин.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ В ОБЛАСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0003] Ротородинамические системы, такие как турбомашин (например, газовые и паровые турбины), генераторы и другие вращающиеся машин (например, системы с электрическим приводом), обычно подвергаются непрерывному или периодическому контролю, например для управления работой, защиты от отказов (которые могут быть внезапными и/или опасными), оценки усталости материалов, диагностирования проблем и/или определения необходимости технического обслуживания. Как правило, турбомашин включают оборудование для контроля радиальной (поперечной) вибрации и осевого (продольного) смещения, которое выполнено с возможностью для долгосрочного непрерывного и/или периодического контроля без останова турбины.

[0004] Однако турбомашин обычно не оснащены оборудованием для контроля угловых или крутильных колебаний. Кроме того, большинство известных подходов для контроля крутильной вибрации ротородинамических систем не подходят для непрерывного (или периодического) контроля, и обычно требуют останова системы для установки оборудования для контроля крутильной вибрации (и удаления оборудования после проверки). Кроме того, такие системы требуют вмешательства в установку и не сертифицированы для работы в потенциально взрывоопасных зонах, которые могут включать, например, продувочную систему и в некоторых случаях охлаждающую систему, если измерение должно выполняться в зоне повышенной температуры (например, вблизи отходящего канала газовой турбины). В нефтегазовой промышленности останов системы часто связан с большими финансовыми потерями, например из-за потерь в добыче нефти и газа и/или потерь в производстве энергии.

[0005] Кроме того, в нефтегазовой промышленности все более сложные задачи и специальные конструкции, изготовленные по заказу, создают новые и более сложные ротородинамические проблемы. Как следствие, дополнительно к контролю поперечной вибрации и/или осевого смещения необходимо осуществлять контроль и исследование крутильных вибраций в процессе тестирования (например, для утверждения конструкции), а также в процессе работы на месте эксплуатации в течение длительного срока (например, непрерывно или периодически, например, через определенные интервалы времени, или по требованию, или по необходимости при возникновении неожиданных событий). Другими словами при дальнейшем развитии ротородинамических систем существует необходимость в обеспечении встроенных или расположенных на месте эксплуатации средств контроля, которые могут работать непрерывно, или периодически, или при любой необходимости, а также при работе турбомашин без необходимости останова системы. Соответственно, необходимо разработать способы и системы для измерения угловой и крутильной вибрации для турбомашин.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0006] В примерных вариантах выполнения поверхность вращающегося элемента снабжена опорной фазовой меткой и несколькими дополнительными метками.

Бесконтактный датчик приближения обнаруживает прохождение как опорной фазовой метки, так и дополнительных меток по мере их прохождения через зону обнаружения. Генерируется как опорный фазовый сигнал, так и опорный сигнал вибрации, используемые для расчета поперечной и угловой вибрации вращающихся элементов.

5 [0007] Таким образом, согласно одному примерному варианту выполнения способ измерения опорной фазы, используемой для определения поперечных вибраций и угловой вибрации, связанной с ротодинамической системой, имеющей вращающийся элемент, включает определение прохождения опорной фазовой метки, расположенной на вращающемся элементе, по мере прохождения указанной метки через зону
10 обнаружения устройства обнаружения, определение прохождения дополнительных меток, расположенных на вращающемся элементе и отличающихся от опорной фазовой метки, по мере прохождения дополнительных меток через зону обнаружения, генерирование опорного фазового сигнала на основании обнаружения опорной фазовой метки и генерирование сигнала на основе обнаружения дополнительных меток с
15 использованием такого сигнала для расчета угловой вибрации.

[0008] Согласно другому примерному варианту выполнения ротодинамическая машина содержит вращающийся элемент, имеющий опорную фазовую метку и несколько дополнительных меток, расположенных по окружности поверхности указанного вращающегося элемента, причем опорная фазовая метка и дополнительные метки
20 выполнены как выемки на поверхности, а опорная фазовая метка имеет глубину, отличную от глубины дополнительных меток.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0009] Сопроводительные чертежи иллюстрируют примерные варианты выполнения, на которых:

25 [0010] фиг.1 иллюстрирует пример кинематической цепи турбины, в которой могут использоваться примерные варианты выполнения изобретения;

[0011] фиг.2 иллюстрирует измерение поперечной вибрации из уровня техники;

[0012] фиг.3 иллюстрирует комбинированную систему измерения поперечной и угловой вибрации согласно примерному варианту выполнения изобретения;

30 [0013] фиг.4 иллюстрирует сигнал, связанный с комбинированной системой измерения опорной фазовой величины и угловой вибрации согласно примерному варианту выполнения изобретения;

[0014] фиг.5 иллюстрирует расположение опорной фазовой метки и нескольких дополнительных меток согласно примерному варианту выполнения изобретения;

35 [0015] фиг.6 иллюстрирует блок-схему обработки данных, полученных при определении опорной фазовой метки и нескольких дополнительных меток согласно примерному варианту выполнения изобретения; и

[0016] фиг.7 иллюстрирует блок-схему способа измерения поперечной вибрации, и по меньшей мере угловой или крутильной вибрации согласно примерному варианту
40 выполнения изобретения.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0017] Специалистам в данной области техники понятно, что следующее описание служит для иллюстрации и объяснения некоторых вариантов выполнения настоящего изобретения, но не ограничивает изобретение или преимущества, которые могут быть
45 достигнуты с помощью этого изобретения. Кроме того, понятно, что несмотря на то, что в последующем описании представлены некоторые варианты выполнения изобретения, настоящее описание может включать не все объекты и варианты выполнения в пределах объема настоящего изобретения.

[0018] Кроме того, специалистам в данной области техники понятно, что несмотря на то, что последующее описание представлено для вариантов выполнения изобретения с турбомашинами, варианты настоящего изобретения включают системы и способы анализа, измерения, контроля, диагностики, оценки и/или определения как опорной фазы поперечной вибрации, так и угловой вибрации в самых разных ротодинамических системах. Вначале имеет смысл привести некоторую информацию непосредственно о вибрации. Вибрация является динамическим явлением, которое может быть описано как колебательное перемещение около положения равновесия. Вибрация вызывается передачей или накоплением энергии в объектах, что является результатом действия одной или более сил. Вибрацию можно разделить на поступательную (т.е. действующую по одной или нескольким линейным степеням свободы) и угловую (т.е. действующую по одной или нескольким угловым степеням свободы). Для угловых вибраций вынуждающая сила включает один или более моментов вместо линейной силы, действующей на объект. Наконец, крутильная вибрация может быть определена как разность угловой вибрации, измеренной в двух различных сечениях, умноженная на жесткость вала между данными сечениями.

[0019] Фаза сигнала поперечной или радиальной вибрации представляет соотношение времени между событием в сигнале вибрации (обычно максимальным значением за период) и импульсом опорной фазовой величины.

Знание информации о фазе поперечной вибрации очень помогает при проведении диагностики, а также когда машину необходимо уравновесить на вращающихся элементах турбомашин, включая, например, паровые/газовые турбины, компрессоры, электрические двигатели, генераторы и выходные зубчатые передачи. В кинематических цепях, связанных с таким оборудованием, вибрация может быть основной причиной отказов, так как она создает непредусмотренные напряжения в элементах оборудования. Только в качестве примера на фиг.1 показана типовая кинематическая цепь турбины, в которой имеет смысл измерять поперечную и угловую (и/или крутильную) вибрацию для компенсации вибрационных напряжений или принятия других мер. В данном примере газовая турбина 10 соединена с осевым компрессором 12, который, в свою очередь, соединен с центробежным компрессором 14, который, в свою очередь, соединен со вспомогательным двигателем 16. Для передачи энергии вращения между блоками, соединенными кинематической цепью, используется несколько соединенных между собой вращающихся валов 18 и зубчатые передачи (не показаны), а также другие соединения, известные специалистам в данной области техники.

[0020] Один из способов, с помощью которых в таких кинематических цепях измеряют опорную фазовую величину поперечной вибрации, схематично показан на фиг.2. В этом способе бесконтактный датчик 20 приближения, например датчик, использующий вихревые токи, или оптический детектор, расположен вблизи поверхности вращающегося элемента 22, например окружности одного из валов 18, описанных выше, в которой выполнена метка или выемка 24. Каждый раз, когда часть поверхности вращающегося элемента 22, содержащая метку или выемку 24, проходит мимо бесконтактного датчика 20, датчик распознает изменение поверхности, например из-за разницы глубины, вызванной меткой 24, относительно остальной поверхности, и генерирует один сигнал 26 на каждый оборот. Этот сигнал иногда называется «опорным фазовым сигналом», так как этот сигнал, возникающий один раз за каждый оборот, может использоваться для обеспечения опорной величины фазового угла для вращающегося элемента 22, причем эта фаза также используется для описания этого конкретного сигнала. Таким образом, метка или выемка 24 может называться опорной фазовой меткой 24, но также

иногда называется меткой «KEYPHASOR» («KEYPHASOR» является товарным знаком компании Bentley Nevada Company). Опорный фазовый сигнал может подаваться в анализатор данных или другое вычислительное устройство 28, где он может использоваться для вычисления фазы отфильтрованного измерения 30 поперечной (радиальной) вибрации. Таким образом, комбинация бесконтактного датчика 20 и опорной фазовой метки 24 может использоваться системой обнаружения для обеспечения информации либо о частоте вращения, либо о фазовом угле вращающегося элемента 22, либо о том и другом.

[0021] Крутильная вибрация возникает, когда вал скручивается сначала в одном направлении вокруг оси вала, а затем в другом направлении вокруг оси вала. Соответственно крутильные вибрации могут быть определены путем измерения угловой вибрации в двух разных положениях на валу и взятия их разности. Крутильные вибрации возникают в кинематических цепях турбин и, если не принимать мер, могут привести к отказам системы. Согласно примерным вариантам настоящего изобретения в ротодинамической системе по меньшей мере каждый из вращающихся компонентов, который передает вращающий момент (например, муфта или вал) или который может не передавать вращающий момент, но механически соединен и вращается с передающим вращающий момент компонентом (например, гайка, болт или колесо, прикрепленные к валу непосредственно или прикрепленные косвенно через один или более других компонентов), также выполнен с опорной фазовой меткой.

[0022] На фиг.3 показан примерный вариант выполнения, иллюстрирующий комбинацию одной опорной фазовой метки 24 и множества дополнительных меток 32. При этом дополнительные метки 32 отличаются от опорной фазовой метки 24 тем, что при обнаружении опорной фазовой метки 24 измерительный преобразователь 20 генерирует опорный фазовый сигнал 26, который отличается от сигналов 34, генерируемых измерительным преобразователем 20 при обнаружении дополнительных меток 32. Специалистам в данной области техники понятно, что несмотря на то, что для того, чтобы показать отличие информации, получаемой путем обнаружения соответственно различных типов меток 24 и 32, на фиг.3 показаны две стрелки 26 и 34, физически эта информация может передаваться от бесконтактного датчика 20 в вычислительное устройство 36 как один сигнал или как один поток данных. Например, как показано на фиг.4, датчик 20 может генерировать непрерывный сигнал данных, который после дискретизации может отображаться как сигнал 40, например на соответствующем дисплее (не показан) с использованием вычислительного устройства 36. На фиг.4 видно, что сигнал 40 имеет относительно большое количество пульсаций, например пульсаций 42, которые связаны с прохождением мимо датчика 20 дополнительных меток. На фигуре также показаны пульсации 44 с меньшей частотой, которые связаны с прохождением опорной фазовой метки 24. Пороговые величины 46 и 48 могут быть установлены по необходимости для обеспечения различия соответственно пульсаций 42 и 44 вычислительным устройством 36, т.е. для обеспечения правильного определения пульсаций как связанных с опорной фазовой меткой 24.

[0023] Так, информация, полученная бесконтактным измерительным преобразователем 20 в заданном осевом положении вдоль вала ротодинамической системы согласно этим примерным вариантам выполнения хорошо подходит (например, благодаря дополнительным меткам) для получения данных с целью генерирования измеренной величины 37 опорной фазовой поперечной вибрации и измеренной величины 38 угловой (и/или крутильной) вибрации. Несмотря на то, что данный датчик 20 определяет как опорную фазовую метку 24 фазы, так и дополнительные метки 32 на

данном вращающемся компоненте, следует понимать, что может быть установлено несколько бесконтактных датчиков для определения метки на данном вращающемся компоненте с целью компенсации боковой вибрации компонентов. Более конкретно, каждый из датчиков может быть выполнен с возможностью определения как опорной

5 фазовой метки, так и дополнительной метки вращающегося компонента.
 [0024] Как понятно специалистам в данной области техники, так как дополнительные метки обеспечивают дополнительные измерения за оборот, они обеспечивают и/или улучшают измерение угловой вибрации, основанное на временном анализе перемещения наконечников. Например, увеличение количества измерений за оборот в целом

10 увеличивает ширину спектра угловой вибрации, а также увеличивает диапазон частоты вращения, в котором может быть определен спектр угловой вибрации (что обеспечивает возможность анализа при пониженной частоте вращения, например при разгоне или торможении). Выполнение дополнительных меток на вращающемся компоненте, на котором имеется опорная фазовая метка, обеспечивает, например, более простую и

15 более экономически эффективную конструкцию и/или обеспечивает возможность переоборудования ротодинамической системы с созданием возможности длительного контроля (например, с помощью встроенных или расположенных на месте эксплуатации средств) угловой и крутильной вибрации. Например, любой вращающийся компонент, который обычно включает опорную фазовую метку, может быть снабжен

20 дополнительными отличающимися метками, с обеспечением таким образом контроля угловой (крутильной) вибрации без существенного изменения существующей конструкции системы (например, не нужны дополнительные бесконтактные датчики; не нужно добавлять дополнительные вращающиеся компоненты с метками и т.д.). В соответствии с различными вариантами выполнения каждая ступень

25 турбокомпрессорной системы (например, кинематическая цепь), которая обычно включает опорную фазовую метку, может быть модифицирована так, чтобы включать одну или больше дополнительных меток, которые отличаются от опорной фазовой метки 24.

[0025] На фиг.5 показан другой пример выполнения дополнительных меток 32 на

30 поверхности 50 вращающегося элемента 52, который также содержит опорную фазовую метку 24 согласно примерным вариантам выполнения. В этом примере видно, что опорная фазовая метка 24 выше, чем дополнительные метки 32, которые имеют одинаковую или сходную высоту. Этот способ различения меток может быть эффективен, когда, например, бесконтактный датчик 20 выполнен как датчик,

35 использующий вихревые токи, который определяет расстояние от датчика 20 до поверхности 50 вращающегося элемента 52 на основе изменения магнитного поля, создаваемого датчиком 20. Различная высота опорной фазовой метки 24 и дополнительных меток 32 приводит к определению разного расстояния по мере вращения элемента 52 у зоны обнаружения датчика 20. Согласно одному исключительно

40 иллюстративному примеру высота 54 опорной фазовой метки 24 может быть в 1,5-2 раза больше, чем высота 56 дополнительных меток 32, однако специалистам в данной области техники понятно, что относительная разница высот может изменяться в зависимости от деталей реализации. В этом примерном варианте выполнения ширина всех меток может быть одинакова или по существу одинакова. Согласно некоторым

45 примерным вариантам выполнения количество N дополнительных меток 32, выполненных или расположенных на поверхности, может быть определено по следующей формуле:

$$N = T_{td} / 2x,$$

где d - диаметр поверхности, на которой расположены опорная фазовая метка и несколько дополнительных меток; x - ширина существующей опорной фазовой метки. Если по данной формуле получается дробное число N меток, данное число может, например, быть округлено в меньшую сторону до ближайшего целого.

5 [0026] Независимо от конкретной реализации, в которой для обнаружения на поверхности вращающегося элемента выполнены опорная фазовая метка 24 и несколько дополнительных меток 32, датчик 20 обнаруживает каждую из меток, когда она проходит через зону обнаружения, и генерирует данные, связанные с этим событием. Вычислительное устройство 36 получает эти данные и обрабатывает их для
10 формирования измеренной величины 37 опорной фазы поперечной вибрации и измеренной величины 38 угловой вибрации. Согласно одному примерному варианту выполнения для этого может использоваться способ обработки, показанный на блок-схеме на фиг.6. В данном способе на этапе 60 вычислительное устройство 36 принимает и обрабатывает исходные данные от датчика 20 (измерительного преобразователя).
15 Например, сигнал с выхода измерительного преобразователя могут анализировать для определения времени прохождения каждой метки мимо измерительного преобразователя. Момент времени каждого такого события прохождения мимо измерительного преобразователя (или, что эквивалентно относительно измерительного преобразователя, каждое появление метки) могут определять как момент времени,
20 когда сигнал равен установленной пользователем пороговой величине. Для повышения точности определения каждого из прохождений измерительного преобразователя или появлений меток могут использовать различные методы обработки сигналов (например, интерполяция и/или аппроксимация по возрастающему фронту исходного сигнала). Затем на этапе 62 рассчитывают зависимость частоты вращения вращающегося элемента
25 52 от времени по формуле dq/dt , где dq [°] - угол между зубцами, а dt - временная задержка [с] между зубцами.

[0027] Затем на этапе 64 зависимость частоты вращения от времени интегрируют для получения сигнала зависимости угла от времени. Этот сигнал на этапе 66 может быть дополнительно подвергнут фильтрации для получения зависимости угловой
30 вибрации от равномерного распределения времени, чтобы получить спектр угловой вибрации и/или осуществить повторную дискретизацию на основе требуемой ширины спектра. При необходимости расчета крутильной вибрации этот параметр могут рассчитать как разность угловых вибраций, определенных в двух разных сечениях вращающегося элемента 52. Кроме того, при заданной жесткости вращающегося
35 элемента 52 также может быть рассчитан переменный вращающийся момент. Измеренная величина 38 угловой вибрации может быть выражена через частоту и амплитуду. Однако установлено, что при использовании описанных выше конструкций и способов измеренная амплитуда угловой вибрации может быть занижена.

[0028] Более конкретно, определено, что измеренная амплитуда угловой вибрации
40 зависит от фактической амплитуды угловой вибрации, количества событий (меток) и частоты угловой вибрации. Если используется только опорная фазовая метка, для получения правильного значения амплитуды согласно примерным вариантам выполнения как часть процесса формирования измеренной величины угловой вибрации либо после этапа 64, либо после этапа 66, описанных выше, к измеренным результатам
45 должен быть применен поправочный коэффициент. Поправочный коэффициент C может быть определен путем имитационного моделирования с использованием известной входной угловой вибрации (т.е. имея известную частоту и известную амплитуду A_1) и определения измеренной амплитуды A_{measured} угловой вибрации описанным выше

способом. Поправочный коэффициент C может затем быть определен по формуле $C=A_{\text{measured}}/A_1$. При работе системы поправочный коэффициент C может использоваться для компенсации измеренной угловой вибрации так, что амплитуда A измеренного сигнала 38 угловой вибрации рассчитывается по формуле $A=A_{\text{measured}} \times C$. Такой

5 поправочный коэффициент повышает точность измерения, а также позволяет точно измерять угловые вибрации в условиях маленького количества событий в секунду (например, при малой частоте вращения и/или когда вращающийся компонент имеет малое количество меток/оборотов).

10 [0029] Таким образом, согласно примерным вариантам выполнения способ измерения опорной фазы поперечной вибрации и по меньшей мере одной из угловых вибраций, связанных с ротодинамической системой, имеющей вращающийся элемент, может включать этапы, показанные на блок-схеме на фиг.7. В данном способе на этапе 70 обнаруживают опорную фазовую метку по мере ее прохождения через зону обнаружения устройства обнаружения. Таким же образом на этапе 72 обнаруживают дополнительные

15 метки, которые отличаются от опорной фазовой метки, по мере их прохождения через зону обнаружения. Затем на основе обнаружения опорной фазовой метки на этапе 74 генерируют опорный фазовый сигнал. На основе обнаружения дополнительных меток на этапе 76 генерируют опорный сигнал вибрации и используют его для измерения угловой или крутильной вибрации.

20 [0030] Также предполагается множество изменений и перестановок в вышеизложенном. Например, следует понимать, что, например, при переоборудовании, когда уже установлена аппаратура для измерения поперечной вибрации, может быть добавлена аппаратура для измерения угловой (и при необходимости крутильной)

25 согласно примерным вариантам выполнения для измерения угловой вибрации с использованием только опорного фазового сигнала, генерируемого с помощью опорной фазовой метки, чтобы определить угловую вибрацию и затем скорректировать амплитуду измеренной результирующей угловой вибрации, как описано выше. Таким образом, оборудование, находящееся в эксплуатации, может подвергаться контролю угловой/крутильной вибрации без останова. В альтернативном варианте, когда

30 вышеописанные дополнительные метки присутствуют на эксплуатируемом оборудовании, измерение поперечной вибрации и угловой вибрации может осуществляться отдельно и/или параллельно. Для таких вариантов выполнения блок-схема на фиг.7 может быть модифицирована так, чтобы включать две параллельные ветви, например одну для измерения поперечной вибрации (опорной фазы), включающую

35 этапы 70 и 74, и одну для измерения угловой (или крутильной) вибрации, включающую этапы 72 и 76.

[0031] Указанный в настоящем документе вращающийся компонент включает любую механическую конструкцию или элемент, закрепленный с возможностью снятия

40 (например, с использованием болтов), закрепленный без возможности снятия (например, с помощью сварки) или выполненный как одно целое (например, фланцевая часть), и который вращается с ротором или валом ротодинамической системы (например, турбомашины). Например, вращающийся компонент может в том числе включать ступицу, фланец, гайку (например, стопорную гайку подшипника), шестерню,

45 мембранную или дисковую муфту, зубчатое колесо, неподвижно прикрепленное (с помощью болтового или сварного соединения) к такой муфте. Например, такой вращающийся компонент может содержать соединительный компонент или другой компонент, прикрепленный (например, с помощью болтового или сварного соединения) к валу в заданном осевом положении. Согласно некоторым вариантам выполнения

настоящего изобретения любой такой вращающийся компонент может снабжен расположенными по окружности метками (зубцами, канавками, щелями, болтами и т.д.), которые может обнаруживать измерительный преобразователь (например, бесконтактный датчик, такой как датчик, использующий вихревые токи) по мере вращения вращающегося компонента при эксплуатации ротородинамической системы. В некоторых вариантах выполнения вращающийся компонент содержит часть самого вала, которая может быть снабжена (например, путем фрезеровки) опорной фазовой меткой фазы и дополнительными метками.

[0032] Указанная в настоящем документе метка на вращающемся компоненте включает любую деталь или конструкцию, которая может быть образована, например, путем удаления материала или добавления материала, или добавлением или прикреплением другого компонента, и которая может быть обнаружена датчиком (например, бесконтактным датчиком и/или оптическим датчиком), установленным так, чтобы наблюдать (обнаруживать) метку (цель) по мере вращения вращающегося компонента. Например, метка может быть выполнена (например, путем фрезеровки) как выемка, канавка, зубец, шпоночная канавка во внешней или внутренней поверхности колеса, гайки или ступицы. Также метка представлять собой, например, болт или выступ (например, наваренный элемент) или другую выступающую деталь на колесе, гайке, ступице, валу, фланце или другом вращающемся компоненте.

[0033] Такой способ и/или система для обеспечения опорной фазы поперечной вибрации, угловой вибрации и, возможно, крутильной вибрации (если доступно более чем одно сечение для измерения) могут быть реализованы с использованием аппаратного обеспечения и/или программного обеспечения. Например, система CompactRIO (CRIO), в которой используются матрицы логических элементов с плавающей запятой (FPGA), может быть запрограммирована для получения данных от нескольких измерительного каналов преобразователя, определения угловой вибрации, соответствующей каждому каналу, и определения крутильных вибрации на основании разности угловой вибрации между каналами. Такой способ обработки и система для определения угловой вибрации не ограничивается обработкой сигналов, полученных с помощью бесконтактных датчиков, и также могут использовать с сигналами, полученными с помощью других типов датчиков, таких как оптические (например, лазерные) датчики, которые отслеживают метки или другие знаки на вращающемся компоненте. Преимущества использования аппаратного обеспечения системы CRIO включают, например: i) высокую степень подвижности; ii) робастность и надежность материальной аппаратного обеспечения (может непрерывно эксплуатироваться годами); iii) использование программного обеспечения с поправочным коэффициентом и возможностью вычисления угловой вибрации только с использованием опорного фазового сигнала (только одна метка). Следовательно, с использованием описанного выше подхода в случае необходимости устройство можно транспортировать на место эксплуатации и установить на работающую турбинную установку без какой-либо модификации. Напротив, способы измерения крутильной вибрации из уровня техники требуют внутреннего вмешательства и всегда требуют останова установки.

[0034] Таким образом, понятно, что примерные варианты выполнения позволяют измерять вибрацию с использованием, например, сигналов, в целом распространенных в промышленных установках. Сигналы, присутствующие в большинстве машин, которые могут быть использованы для решения указанных проблем измерения вибрации, в том числе включают сигналы скорости от электромагнитного датчика на зубчатом колесе (например, колесе с 60 зубцами) и сигнал опорной фазы, используемый в системах

измерения или контроля поперечной вибрации, генерируемый датчиком, использующим вихревые токи, с единственной меткой на валу.

[0035] Описанные выше примерные варианты выполнения предназначены для иллюстрации, а не ограничения настоящего изобретения. Таким образом, данное изобретение может включать множество вариантов выполнения в конкретной реализации, которые могут быть получены специалистом в данной области техники из приведенного в настоящем документе описания. Все такие варианты и модификации находятся в пределах объема и идеи настоящего изобретения, определенных формулой изобретения. Ни один из элементов, действий или предписаний, использованных в описании настоящей заявки, не должен рассматриваться как критически важный или существенный для изобретения, если четко не указано иное. Также существительные в единственном числе в настоящем документе предполагают включение одного или более объектов.

Формула изобретения

1. Способ измерения поперечной вибрации и угловой вибрации, связанной с ротодинамической системой, имеющей вращающийся элемент, включающий:
 - обнаружение прохождения опорной фазовой метки, расположенной на указанном вращающемся элементе, по мере прохождения указанной метки через зону обнаружения устройства обнаружения,
 - обнаружение прохождения дополнительных меток, расположенных на указанном вращающемся элементе и отличающихся от указанной опорной фазовой метки, по мере прохождения указанных дополнительных меток через указанную зону обнаружения,
 - генерирование опорного фазового сигнала для поперечной вибрации на основе указанного обнаружения опорной фазовой метки и использования указанного сигнала для получения информации с целью генерирования величины поперечной вибрации, и
 - генерирование опорного сигнала вибрации на основе указанного обнаружения дополнительных меток и использования указанного опорного сигнала вибрации для измерения угловой вибрации,
- причем опорная фазовая метка на вращающемся элементе имеет глубину, отличную от глубины дополнительных меток.
2. Способ по п.1, в котором при генерировании опорного сигнала вибрации и использовании этого сигнала для измерения вибрации дополнительно выполняют расчет угловой вибрации, связанной с указанным вращающимся элементом, с использованием указанного опорного сигнала вибрации.
3. Способ по п.2, в котором корректируют амплитуду рассчитанной угловой вибрации.
4. Способ по п.3, в котором при указанной корректировке дополнительно выполняют умножение измеренной амплитуды, связанной с указанной рассчитанной угловой вибрацией, на поправочный коэффициент, который определяют на основании результатов моделирования.
5. Способ по п.2, в котором количество указанных дополнительных меток, выполненных на вращающемся элементе, равно $\pi d/2x$, где d - диаметр поверхности, на которой расположены опорная фазовая метка и дополнительные метки, и x - ширина опорной фазовой метки.
6. Способ по п.1, в котором при обнаружениях прохождения меток используют датчик, использующий вихревые токи.
7. Способ по п.1, в котором при обнаружениях прохождения меток используют оптическое устройство обнаружения.

8. Ротодинамическая машина, содержащая вращающийся элемент, имеющий опорную фазовую метку и несколько дополнительных меток, расположенных по окружности поверхности указанного вращающегося элемента, причем опорная фазовая метка и дополнительные метки выполнены в виде углублений на указанной поверхности, и

5 глубина опорной фазовой метки отличается от глубины дополнительных меток.

9. Ротодинамическая машина по п.8, которая представляет собой компрессор, а указанный вращающийся элемент является валом указанного компрессора.

10. Ротодинамическая машина по п.8, в которой указанный вращающийся элемент является расположенным на ней болтом.

10 11. Ротодинамическая машина по п.8, в которой количество дополнительных меток, выполненных на вращающемся элементе, равно $\pi d/2x$, где d - диаметр поверхности, на которой расположены опорная фазовая метка и дополнительные метки, и x - ширина опорной фазовой метки.

12. Ротодинамическая машина по п.8, дополнительно содержащая устройство обнаружения, которое имеет зону обнаружения, расположено вблизи указанного вращающегося элемента и выполнено с возможностью обнаружения прохождения

15 указанной опорной фазовой метки и указанных дополнительных меток по мере их прохождения через указанную зону обнаружения.

13. Ротодинамическая машина по п.12, в которой указанное устройство обнаружения является датчиком, использующим вихревые токи.

14. Ротодинамическая машина по п.12, в которой указанное устройство обнаружения является оптическим датчиком.

15. Ротодинамическая машина по п.12, дополнительно содержащая вычислительное устройство, выполненное с возможностью приема данных, связанных с обнаружением

25 опорной фазовой метки и дополнительных меток, от указанного устройства обнаружения и обработки указанных данных для генерирования измеренных величин поперечной вибрации и по меньшей мере одной из вибраций, угловой и крутильной, указанного вращающегося элемента.

16. Ротодинамическая машина по п.15, в которой указанное вычислительное

30 устройство дополнительно выполнено с возможностью корректировки амплитуды измеренной по меньшей мере одной из вибраций, угловой и крутильной.

17. Ротодинамическая машина по п.16, в которой указанное вычислительное устройство корректирует указанную амплитуду путем умножения измеренной амплитуды, связанной с по меньшей мере одной из вибраций, угловой и крутильной,

35 на поправочный коэффициент, который определяется на основании результатов моделирования.

18. Способ измерения крутильной вибрации, включающий:

обнаружение прохождения опорной фазовой метки через зону обнаружения переносного датчика для генерирования опорного фазового сигнала,

40 определение угловой вибрации с помощью переносной аппаратуры на основании указанного опорного фазового сигнала,

корректировку амплитуды определенной угловой вибрации и

определение крутильной вибрации с использованием откорректированной амплитуды угловой вибрации,

45 генерирование опорного фазового сигнала для поперечной вибрации на основе указанного обнаружения опорной фазовой метки и использование указанного сигнала для получения информации с целью генерирования величины поперечной вибрации, и генерирование опорного сигнала вибрации на основе указанного обнаружения

дополнительных меток и использования указанного опорного сигнала вибрации для измерения угловой вибрации,

причем опорная фазовая метка на вращающемся элементе имеет глубину, отличную от глубины дополнительных меток.

- 5 19. Способ по п.18, в котором при указанном определении дополнительно определяют указанную угловую вибрацию с использованием только указанного опорного сигнала фазы в качестве входа.

10

15

20

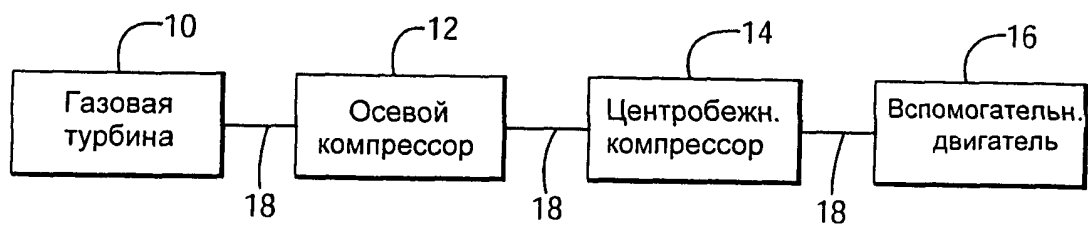
25

30

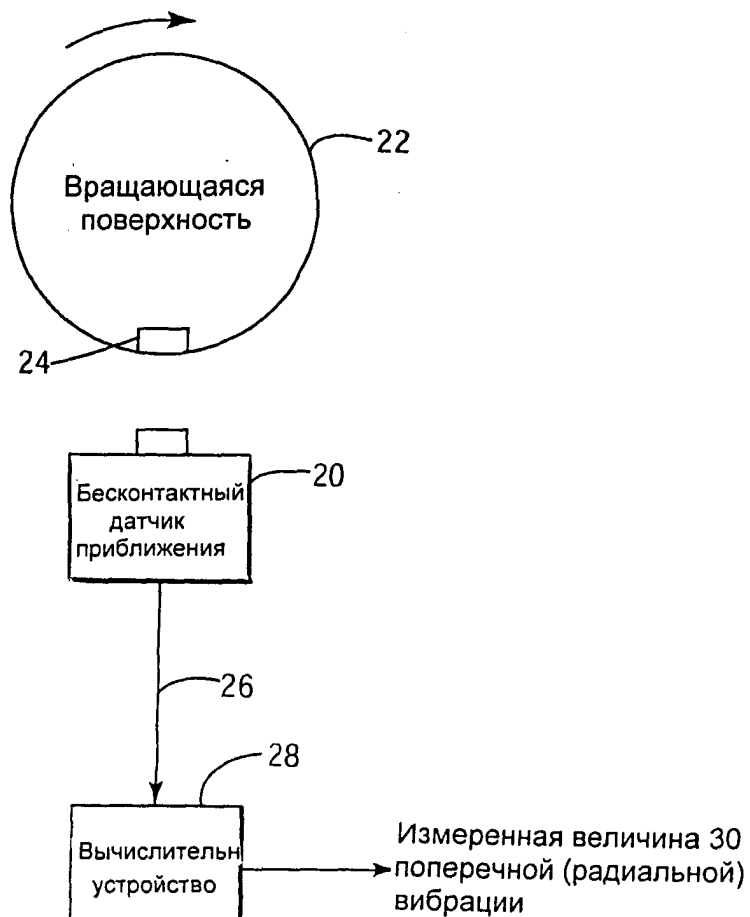
35

40

45

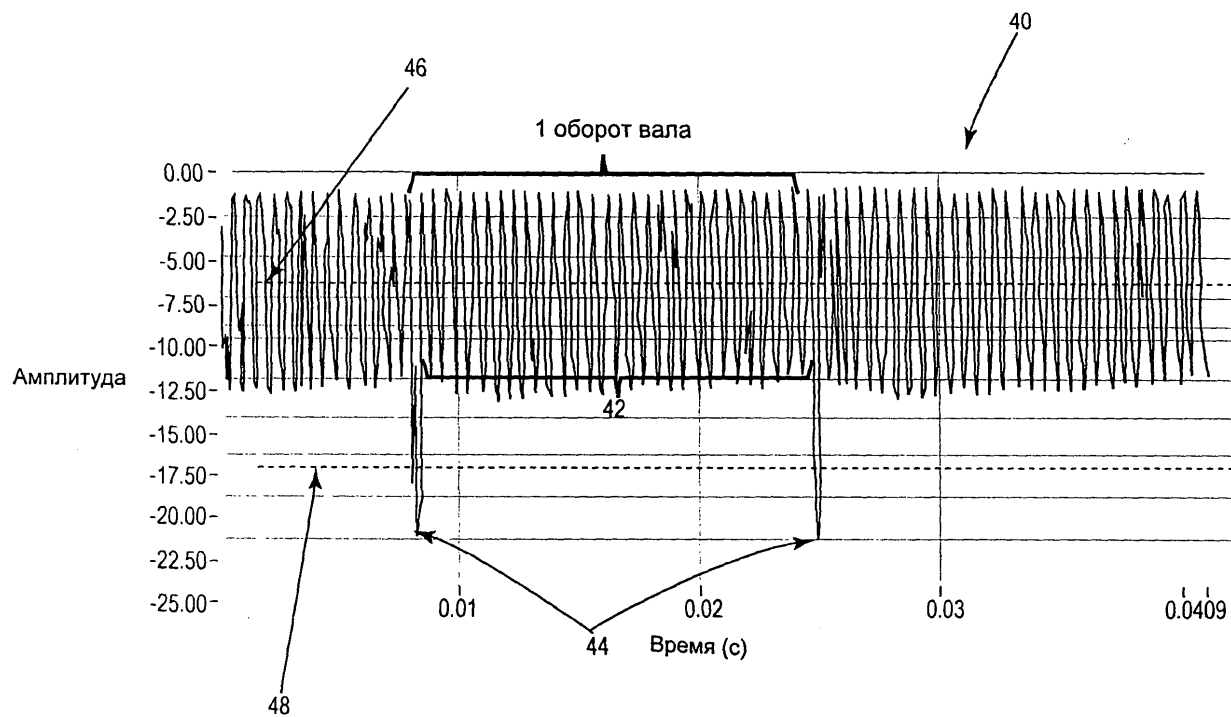


Фиг.1

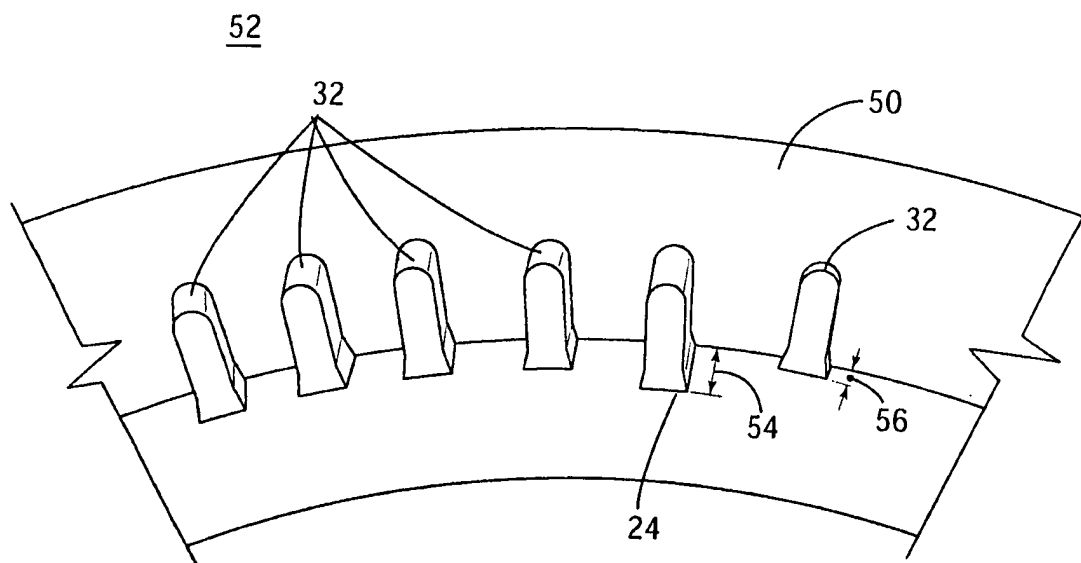


УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

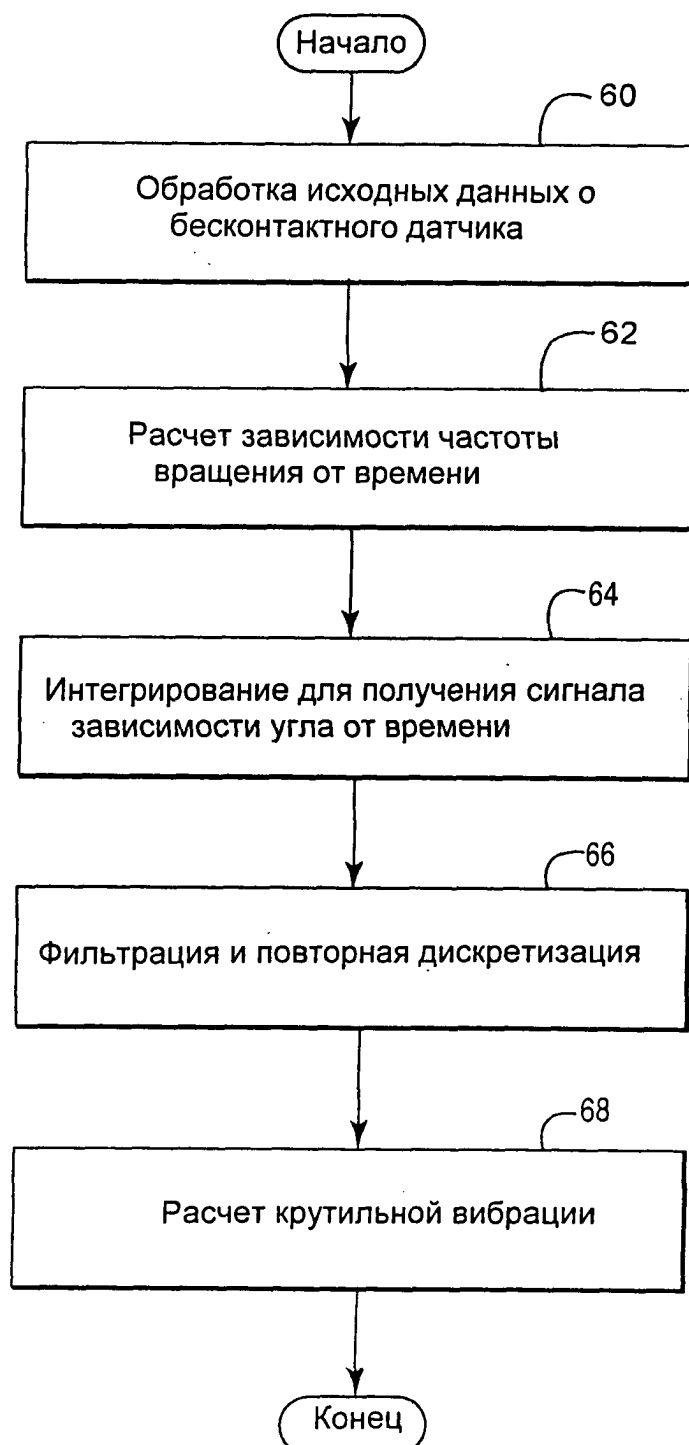
Фиг.2



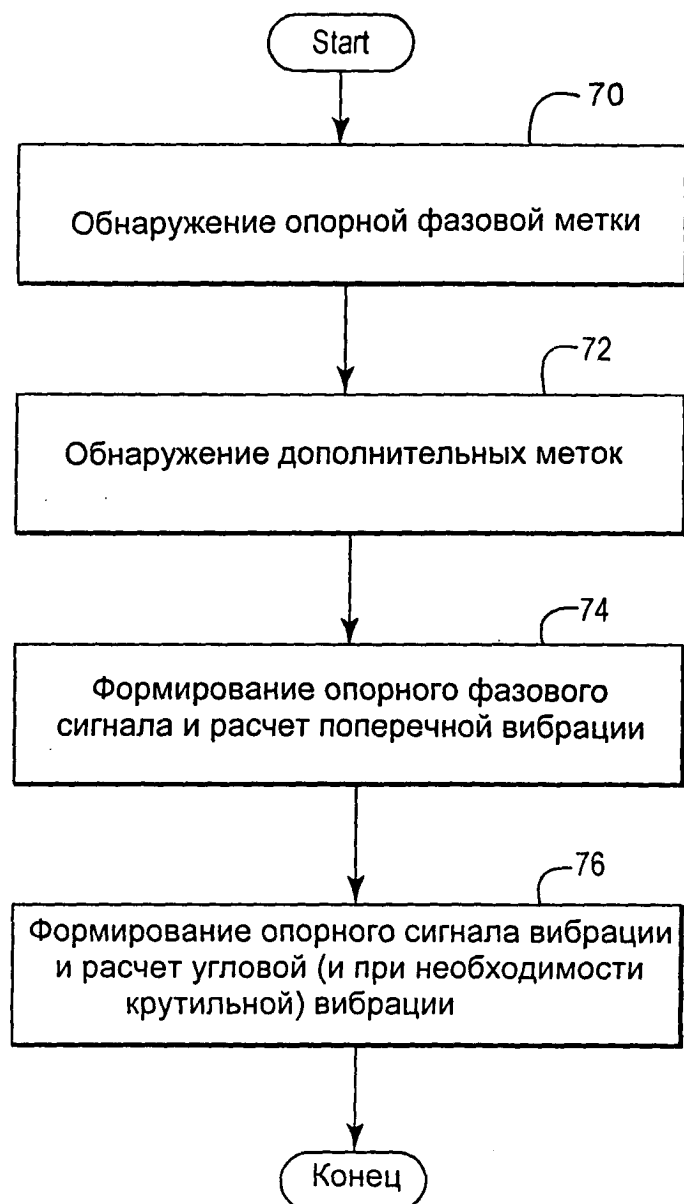
Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7