

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035467**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.06.22

(51) Int. Cl. **G01V 1/38** (2006.01)
G01V 1/02 (2006.01)

(21) Номер заявки
201690954

(22) Дата подачи заявки
2010.03.30

**(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ МОРСКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ
ДЛЯ УСИЛЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ВЫХОДНОГО СИГНАЛА**

(31) 12/384,186

(56) US-A-4918668
US-A1-20090073807
US-B1-7257049
US-A1-20040136266
US-A-5535176

(32) 2009.04.01

(33) US

(43) 2017.02.28

(62) 201000411; 2010.03.30

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

(72) Изобретатель:
Камбуа Гийом (SG)

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

(57) Способ управления сейсмическими вибраторами включает в себя управление параметрической группой, содержащей по меньшей мере два сейсмических вибратора, расположенных в водоеме ниже границы сталь-вода, а также управление по меньшей мере третьим сейсмическим вибратором, расположенным в водоеме в положении, отличном от положения ниже границы сталь-вода. Указанные по меньшей мере два вибратора в параметрической группе изменяют частоту свип-сигнала в соответствующих первом и втором частотных диапазонах, причем каждый из первого и второго частотных диапазонов имеет самую низкую частоту и самую высокую частоту соответственно. Частота первого и второго частотных диапазонов синхронизирована для генерирования субгармонического свип-сигнала, а третий сейсмический вибратор изменяет частоту свип-сигнала в третьем частотном диапазоне, имеющем самую низкую частоту, по меньшей мере равную указанной самой высокой частоте любого из первого и второго частотных диапазонов. Данный третий частотный диапазон имеет самую высокую частоту в интересующем диапазоне сейсмических частот.

035467 B1

035467 B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение в целом относится к области морских сейсмических вибраторов. Конкретнее, изобретение относится к способу управления группами таких морских вибраторов для усиления низкочастотного содержания выходного сигнала группы.

Предшествующий уровень техники

Источники сейсмических колебаний вибрационного типа, известные специалистам, возбуждают сейсмические волны в геологической среде с помощью перемещения излучающей поверхности особым образом, например патент США № 3,863,202, выданный Landrum. В одном типе осуществления настоящего изобретения излучающая поверхность соединяется с системой управления, включающей гидравлический домкрат и регулирующий клапан, который выборочно подает гидравлическое давление с каждой стороны гидравлического домкрата. Как правило, регулирующий клапан обладает электрическим приводом. Электрические сигналы, подаваемые на регулирующий клапан, в общем случае соответствуют форме волны вибрационного сигнала, который формируется за счет движения излучающей поверхности. Для того, чтобы движение излучающей поверхности эффективно взаимодействовало с землей, необходимо обеспечить наличие большой инертной массы, соединенной с гидравлическим домкратом напротив излучающей поверхности. В другом варианте осуществления диафрагма, помещенная в водоеме, перемещается таким же образом с помощью электрических или электромеханических средств.

Типовой морской вибратор проиллюстрирован и описан в патенте США № 3,349,367, выданном Wisotsky. В состав таких вибраторов входит акустический излучатель, управляемый гидравлическим домкратом. Гидравлические давления получают от поверхностного источника и подают с помощью шлангов высокого давления на гидравлический домкрат, регулируемый сервоклапаном, вызывая движение акустического излучателя в заданном диапазоне частот. Вибратор программируется управляющими сигналами для генерирования энергии в сейсмической полосе частот от 10 до 190 Гц. В ходе выполнения операций происходит качание выходного сигнала вибратора (изменение частоты свип-сигнала) через указанный выше диапазон частот с разверткой вверх или вниз.

Инертная масса для вибратора обеспечивается корпусной конструкцией, вмещающей гидравлический домкрат и акустический излучатель. В соответствии с этим, корпус, такой как показан на фиг. 5 в патенте '367, выданный Wisotsky, будет создавать вибрации на той же частоте, что и акустический излучатель, и эти вибрации будут передаваться на любую конструкцию, смонтированную на корпусе, например на конструкцию, используемую для соединения морского вибратора с опорными и буксировочными устройствами, а также с любым оборудованием, смонтированным вблизи от вибратора. Еще один морской вибратор описан в патенте США № 4,635,747, выданном Bird, Sr. и др.

Конкретное ограничение на вибрационные сейсмические источники, известные специалистам, связано с генерацией низкочастотных сейсмических волн, как правило, с частотой меньшей 8 Гц. Для таких низких частот инертная масса или диафрагма должны быть относительно большими, при этом количество движения, которое необходимо передать излучающей поверхности, также относительно велико. Управлять таким движением, чтобы оно точно соответствовало электрическому управляющему сигналу, также оказалось сложно.

Соответственно сохраняется потребность в системах морских сейсмических вибраторов, обеспечивающих достаточную энергию волн в низкочастотном диапазоне для сейсморазведки.

Сущность изобретения

Способ управления морскими сейсмическими вибраторами в соответствии с одним аспектом настоящего изобретения включает буксирование, по меньшей мере, первого и второго морских сейсмических вибраторов в водоеме под корпусом судна. По меньшей мере, третий морской сейсмический вибратор буксируют в воде на выбранной глубине, отличной от глубины под корпусом судна. При работе, по меньшей мере, первого, второго и третьего вибраторов выполняют изменение частоты свип-сигнала в соответствующих частотных диапазонах. Первый и второй частотные диапазоны имеют самые низкие частоты и самые высокие частоты, соответственно отличающиеся на выбранный диапазон частот субгармоник. Третий частотный диапазон имеет самую низкую частоту, по меньшей мере, равную самой высокой частоте первого или второго частотного диапазона, и изменяется в интересующем диапазоне сейсмических частот.

Способ сейсморазведки в соответствии с другим аспектом настоящего изобретения включает буксирование, по меньшей мере, первого и второго морских сейсмических вибраторов в водоеме под корпусом судна. По меньшей мере третий морской сейсмический вибратор буксируют в воде на выбранной глубине, отличной от глубины под корпусом судна. По меньшей мере, одна сейсмоприемная коса буксируется в воде. При работе, по меньшей мере, каждого из первого, второго и третьего вибраторов выполняют изменение частоты свип-сигнала в соответствующих частотных диапазонах. Первый и второй частотные диапазоны имеют самые низкие частоты и самые высокие частоты, соответственно отличающиеся на величину выбранного диапазона частот субгармоник. Третий частотный диапазон имеет самую низкую частоту, по меньшей мере, равную самой высокой частоте первого или второго частотного диапазона, и изменяется в интересующем диапазоне сейсмических частот. Регистрируют сигналы, формируемые датчиками, по меньшей мере, в одной сейсмоприемной косе в ответ на управление вибраторами.

Прочие особенности и преимущества настоящего изобретения будут ясны из нижеследующего описания и прилагаемой формулы изобретения.

Краткое описание чертежей

На чертеже показан пример расположения сейсмических вибраторов согласно настоящему изобретению и сопутствующая система сбора сейсмических данных.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Акустический источник, излучающий волны на частоте f_1 , излучает также гармонические частоты $2f_1, 3f_1 \dots$ в связи с нелинейным поведением компонентов акустического источника. Два акустических источника, пространственно близких друг к другу и излучающих волны на частотах f_1 и f_2 соответственно, будут в результате формировать также частоты f_1+f_2 и $|f_1-f_2|$. Для настоящего изобретения представляет интерес именно последняя частота, именуемая "субгармоникой". Если предположить, например, что два упомянутых выше источника генерируют волны с частотой 10 и 12 Гц, комбинация двух этих источников приведет к образованию субгармонической волны частотой 2 Гц, распространяющейся в среде, с которой взаимодействуют источники. Такое расположение называется параметрической группой.

В теории параметрических групп формулируются два существенных положения. Согласно первому из них, амплитуда субгармоники $|f_1-f_2|$ затухает со скоростью 12 дБ/октава по сравнению с амплитудой основных частот. Согласно второму, рабочая зона (зона Френеля) субгармоники по существу та же, что у основных частот. В описанном выше примере амплитуда субгармоники с частотой 2 Гц была бы приблизительно на 30 дБ ниже, чем амплитуда волн, излучаемых с частотой 10 и 12 Гц в любой точке пространства. Однако зона Френеля составляла бы порядка 125-150 м вместо 750 м, ожидаемых при распространении волны с частотой 2 Гц в воде.

Морские вибраторы, излучающие волны в диапазоне от 10 до 12 Гц, как в данном примере, должны идеально буксироваться в воде на глубине 30 м, используя увеличение амплитуды отраженной от поверхности волны-спутника (волна, отраженная от поверхности воды на границе вода-воздух, после ее излучения источником). Однако на такой глубине субгармоника с частотой 2 Гц будет сильно ослаблена волной-спутником, что приведет к ее затуханию еще на 12 дБ сверх 30 дБ, указанных выше со ссылкой на теорию параметрических групп.

Чтобы преодолеть указанную выше трудность, можно расположить вибраторы под корпусом судна, используемого для буксирования вибраторов в водоеме. Причина состоит в том, что для типового судна со стальным корпусом граница сталь-вода обладает положительным коэффициентом отражения, тогда как граница вода-воздух имеет отрицательный коэффициент отражения. Следовательно, волна-спутник, являющаяся результатом отражения акустической волны от стального корпуса, усиливает низкочастотную акустическую волну, а не ослабляет ее. У обычных вибраторов при очень низких частотах такой метод позиционирования вибраторов под корпусом судна не был успешным, поскольку зона Френеля низкочастотной волны, как правило, больше, чем судно. Вследствие этого излучаемая волна формирует волну-спутник, имеющую большую площадь ниже границы вода-воздух по сравнению с площадью границы сталь-вода. Таким образом, волна-спутник будет в большей степени обусловлена границей вода-воздух, чем границей сталь-вода, тем самым ослабляя низкие частоты, а не усиливая их.

Однако в случае параметрической группы зона Френеля субгармонической волны по существу такая же, как у волны основной частоты. Это означает, что описанная выше субгармоника с частотой 2 Гц, имеет зону Френеля размером приблизительно 125-150 м, которая намного ближе к фактическому размеру судна.

Объяснив базовые принципы параметрических групп, пример группы сейсмических вибраторов и морской системы сбора сейсмических данных можно объяснить со ссылкой на фигуру. Морское сейсмо-разведочное судно 10 движется по поверхности 20А водоема 20, например озера или океана. Судно 18 может везти оборудование (обозначенное в целом позицией 12 и для удобства называемое "записывающей системой"), которое может включать компоненты (не показанные отдельно), такие как навигационные приборы для определения геодезического положения судна 10, устройства для активирования сейсмических вибраторов (объясняемых ниже) в воде 20 в выбранные моменты времени и в выбранных режимах, и устройства для записи сигналов, формируемых датчиками (объясняемыми ниже) в одном или нескольких кабелях датчиков 18, именуемых "сейсмоприемными косами", которые буксирует судно 10 или другое судно (не показано).

В данном примере высокочастотные морские сейсмические вибраторы (например, возбуждающие акустические волны в диапазоне, как правило, от 25 Гц до выбранной частоты в диапазоне сейсмических частот, представляющих интерес, в основном, от 100 до 200 Гц), показанные позициями 14А, 14В, 14С, 14D, могут буксироваться первым кабелем возбуждения 14 за судном 10 на выбранной глубине, например 15 м или меньше, чтобы получить преимущество за счет волны-спутника, возникающей на границе вода-воздух (поверхность 20А). Низкочастотные морские сейсмические вибраторы 16А, 16В могут буксироваться вторым кабелем возбуждения таким образом, чтобы использовать волну-спутник, возникающую на границе сталь-вода. Низкочастотный(е) вибратор(ы) 16А могут включать один вибратор или ряд таких вибраторов, работающих, как правило, в диапазоне 12-25 Гц. Низкочастотные вибраторы могут включать один или несколько вибраторов, показанных позицией 16В, одновременно работающих, как

правило, в диапазоне 10-15 Гц. Как правило, каждый из вибраторов будет применяться для формирования свип-сигнала от одного края частотного диапазона до другого, именуемого "ЛЧМ-сигналом", при каждой активации каждого вибратора. В приведенном выше примере низкочастотные вибраторы 16А, 16В могут формировать свип-сигнал в описанных частотных диапазонах 12-25 Гц и 10-15 Гц соответственно. Если свип-сигналы соответствующих вибраторов синхронизированы надлежащим образом, для каждого из этих свип-сигналов будет генерироваться субгармонический свип-сигнал в диапазоне 2-10 Гц. Размер зоны Френеля такого субгармонического свип-сигнала может изменяться от 60 до 150 м. В одном примере частоты свип-сигнала низкочастотных вибраторов могут быть выбраны таким образом, чтобы зона Френеля субгармонической сейсмической волны имела площадь, наиболее близкую к площади корпуса судна 10. Вибраторы 16А, 16В под корпусом судна показаны буксируемыми кабелем, но они могут быть также надлежащим образом прикреплены в неподвижном положении к корпусу судна 10. Находящиеся ниже корпуса вибраторы предпочтительно расположены на глубине, близкой к корпусу, или прикреплены к корпусу судна 10.

Одновременно с работой подкорпусных вибраторов 16А, 16В, описанных выше, вибраторы 14А, 14В, 14С, 14D, расположенные позади судна, могут использоваться для изменения частоты свип-сигнала в соответствующих частотных диапазонах для каждой активации вибраторов.

Неограничивающие примеры морских сейсмических вибраторов проиллюстрированы и описаны в патенте США №3,349,367, выданном Wisotsky, и патенте США №4,635,747, выданном Bird, Sr. и др. Исполнение морского вибратора не ограничивает объем настоящего изобретения.

Сейсмические волны, излучаемые вибраторами, управляемыми так, как описано выше, распространяются во внешнем направлении от каждого вибратора и проходят через подошву водного слоя 22 в геологические формации, расположенные ниже подошвы. Сейсмические волны отражаются от границ акустических импедансов (не показаны) ниже подошвы водного слоя 22 и распространяются в верхнем направлении до регистрации сейсмическими датчиками 18А-18D на сейсмоприемной косе 18. Записывающая система 12 позволяет выполнять записи сигналов, генерируемых датчиками 18А-18D, как правило, индексированные по времени относительно активации вибраторов. Датчики 18А-18D могут представлять собой любое известное устройство, используемое в сейсмоприемной косе для регистрации сейсмических волн, включая датчики, реагирующие на давление или временной градиент давления, датчики, реагирующие на движение частиц, или их комбинацию. Тип датчика не ограничивает объем настоящего изобретения. Неограничивающий пример сейсмоприемной косы, которая может использоваться с настоящим изобретением, описан в патенте США № 7,239,557, выданном Tenganhnn и переуступленном аффилированному лицу владельца настоящего изобретения.

Воздействие волны-спутника источника на волны давления заключается в умножении некоторых частот в выходном сигнале источника на ноль, тогда как другие частоты умножаются на 2. Частоты, умножаемые на 2, могут рассчитываться с помощью выражения $(V/4d) \cdot (2n+1)$, где V представляет собой акустическую скорость в воде (около 1500 м/с), а d является глубиной источника (например, вибратора) в воде. В приведенном выше выражении n является целым числом. В качестве примера для источника, работающего на глубине 15 м, умножается на 2 амплитуда волн на частотах 25, 75, 125 Гц и так далее. Если один из вибраторов (например, любой с 14А по 14D) формирует свип-сигнал в частотном диапазоне 25-75 Гц, оптимальной будет та глубина, при которой умножается на 2 амплитуда средней частоты диапазона свип-сигнала (качания частоты) (т.е. 50 Гц). Следовательно, в этом случае оптимальная глубина составляет 7,5 м. Рабочие глубины и частотные диапазоны свип-сигналов групп вибраторов (14А, 14В, 14С, 14D) можно оптимизировать с целью максимального увеличения общего выходного сигнала.

Способы управления вибраторами согласно настоящему изобретению могут обеспечить более эффективное использование морских вибраторов за счет увеличения энергии выходного сигнала на низких частотах, чем достигается при использовании методов, известных специалистам до появления настоящего изобретения.

Хотя настоящее изобретение описано с использованием ограниченного числа вариантов осуществления, специалисты, воспользовавшись раскрытым здесь изобретением, смогут вывести из настоящего описания другие варианты осуществления, не отступающие от объема раскрытого здесь изобретения. Соответственно объем настоящего изобретения ограничивается только прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ управления сейсмическими вибраторами, включающий следующие шаги:
управляют параметрической группой, содержащей по меньшей мере два сейсмических вибратора, расположенных в водоеме под корпусом судна; и
управляют по меньшей мере третьим сейсмическим вибратором, расположенным в водоеме в положении, отличном от положения ниже границы сталь-вода;
причем указанное управление заключается в приведении сейсмических вибраторов в действие с тем, чтобы они излучали акустические волны;

при этом путем указанного управления добиваются того, что указанные по меньшей мере два вибратора в параметрической группе изменяют частоту свип-сигнала в соответствующих первом и втором частотных диапазонах, причем каждый из первого и второго частотных диапазонов имеет самую низкую частоту и самую высокую частоту соответственно, при этом свип-сигналы первого и второго сейсмических вибраторов синхронизируют для генерирования разностного свип-сигнала, а третий сейсмический вибратор изменяет частоту свип-сигнала в третьем частотном диапазоне, имеющем самую низкую частоту, по меньшей мере равную указанной самой высокой частоте любого из первого и второго частотных диапазонов.

2. Способ по п.1, в котором первый частотный диапазон составляет от 10 до 15 Гц.

3. Способ по п.1, в котором второй частотный диапазон составляет от 12 до 25 Гц.

4. Способ по п.1, в котором третий частотный диапазон составляет от 25 до 200 Гц.

5. Способ по п.1, в котором первый и второй частотные диапазоны, отличающиеся на выбранный диапазон частот, выбирают таким образом, что зона Френеля сейсмической волны в выбранном диапазоне частот имеет площадь, по большей мере равную площади границы сталь-вода.

6. Способ по п.1, в котором каждый из первого, второго и третьего вибраторов используют в воде на глубине, связанной соответственно с первым, вторым и третьим частотными диапазонами.

7. Способ по п.6, в котором глубину выбирают из условия оптимизации выходного сигнала соответствующего вибратора в средней точке соответствующего частотного диапазона.

8. Способ по п.1, в котором указанная граница сталь-вода представляет собой дно судна.

9. Способ по п.1, дополнительно содержащий шаг регистрации сигналов, формируемых размещенными в водоеме датчиками, в ответ на управление сейсмическими вибраторами.

10. Система сейсморазведки, содержащая сейсмические датчики, размещенные на сейсмоприемной косе, записывающую систему, выполненную с возможностью записи сигналов, генерируемых сейсмическими датчиками, первый кабель возбуждения, на котором размещена параметрическая группа из по меньшей мере двух сейсмических вибраторов, и второй кабель возбуждения, на котором размещен по меньшей мере один третий сейсмический вибратор,

при этом указанные по меньшей мере два вибратора в параметрической группе выполнены с возможностью изменения частоты свип-сигнала в соответствующих первом и втором частотных диапазонах, причем каждый из первого и второго частотных диапазонов имеет самую низкую частоту и самую высокую частоту, соответственно отличающиеся на величину выбранного диапазона частот, а третий сейсмический вибратор выполнен с возможностью изменения частоты свип-сигнала в третьем частотном диапазоне, имеющем самую низкую частоту, по меньшей мере равную указанной самой высокой частоте любого из первого и второго частотных диапазонов;

причем система сейсморазведки выполнена с возможностью выполнения следующих функций:

приведения в действие сейсмических вибраторов указанной параметрической группы с тем, чтобы они излучали акустические волны при расположении в водоеме ниже границы сталь-вода;

приведения в действие третьего сейсмического вибратора с тем, чтобы он излучал акустические волны при расположении в водоеме в положении, отличном от положения ниже границы сталь-вода;

и регистрации сигналов, формируемых размещенными в водоеме датчиками, в ответ на приведение в действие вибраторов.

11. Система по п.10, в которой первый частотный диапазон составляет от 10 до 15 Гц.

12. Система по п.10, в которой второй частотный диапазон составляет от 12 до 25 Гц.

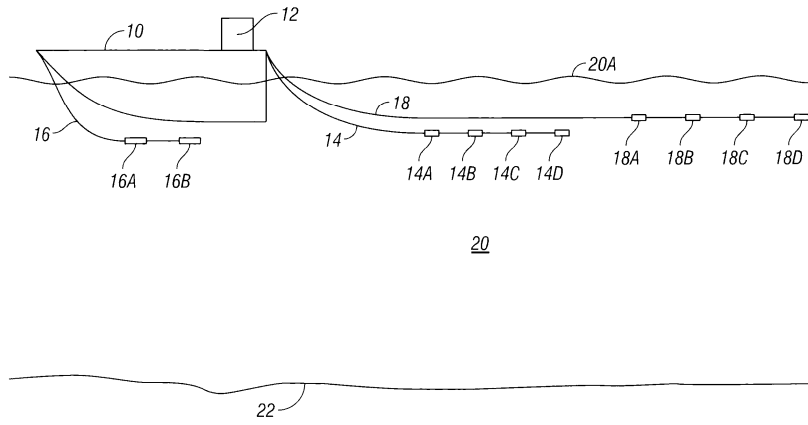
13. Система по п.10, в которой третий частотный диапазон составляет от 25 до 200 Гц.

14. Система по п.10, в которой первый и второй частотные диапазоны выбраны таким образом, что зона Френеля сейсмической волны в выбранном диапазоне частот имеет площадь, по большей мере равную площади границы сталь-вода.

15. Система по п.10, в которой каждый из первого, второго и третьего вибраторов используется в воде на глубине, связанной соответственно с первым, вторым и третьим частотными диапазонами.

16. Система по п.15, в которой глубина выбирается из условия оптимизации выходного сигнала соответствующего вибратора в средней точке соответствующего частотного диапазона.

17. Система по п.10, в которой указанная граница сталь-вода представляет собой дно судна.



20

