

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 814 806** (13) **C1**

(51) МПК

[G01V 1/00 \(2006.01\)](#)[G01V 1/02 \(2006.01\)](#)[G01V 1/16 \(2006.01\)](#)[G01V 1/22 \(2006.01\)](#)[G01V 1/24 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

[G01V 1/003 \(2023.08\)](#)[G01V 1/005 \(2023.08\)](#)[G01V 1/02 \(2023.08\)](#)[G01V 1/16 \(2023.08\)](#)[G01V 1/223 \(2023.08\)](#)[G01V 1/247 \(2023.08\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 04.03.2024)

(21)(22) Заявка: [2023120995](#), 10.08.2023(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.08.2023Дата регистрации:
04.03.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.08.2023

(45) Опубликовано: [04.03.2024](#) Бюл. № 7(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 2745481 C1, 25.03.2021. US**
20090135671 A1, 28.05.2009. US 20130163381
A1, 27.06.2013. WO 2007025933 A1,
08.03.2007. RU 2510049 C2, 20.03.2014. RU
2189615 C1, 20.09.2002.

Адрес для переписки:

625023, Тюменская обл., г. Тюмень, ул.
Республики, 173, АО "ГЕОТЕК"

(72) Автор(ы):

Баландин Павел Владимирович (RU),
Копылов Михаил Александрович (RU),
Бекешко Павел Станиславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

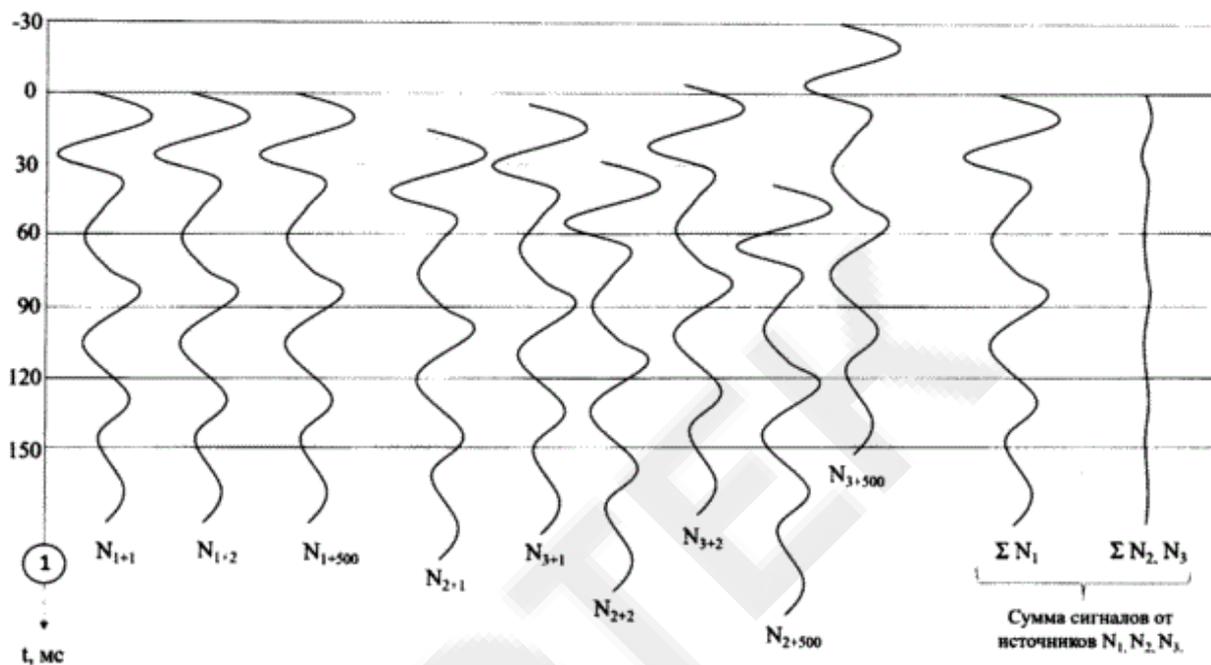
Акционерное общество "ГЕОТЕК" (RU)

(54) Способ и система сбора сейсмических данных

(57) Реферат:

Изобретение относится к сейсмической разведке и может быть применено для поисков и разведки месторождений полезных ископаемых и изучения строения и физико-механических свойств приповерхностных толщ земной коры. Предложен способ сбора сейсмических данных, характеризующийся воздействием на исследуемую поверхность источниками сейсмических сигналов, следующих по заранее определенным траекториям, монтажом источников на платформе, размещенной в контакте с исследуемой поверхностью, непрерывным движением источников, синхронизацией часов источников с часами системы сбора сейсмических данных и непрерывной записью сигналов, выдаваемых приемниками. Причем источники сигналов запускаются одновременно и перемещаются по заранее определенным траекториям с заданной скоростью, интервал времени следования импульсов T источников сигналов задают на каждом источнике сигналов, интервал следования импульсов на каждом источнике выбирают исходя из необходимого времени записи приемниками отклика недр на поданный источником импульс для получения всей информации об изучаемом участке среды, координаты источника x_n ,

u_n , h_n и время подачи импульса t_{sn} записывают в модуль хранения в момент подачи импульса, где n - номер источника, производят подготовку непрерывной записи к дальнейшему применению путем ее разделения на отдельные интервалы. Технический результат - изобретение позволяеткратно увеличить производительность геологоразведочных работ методами сейсморазведки и объемы геофизических данных на единицу площади изучаемого участка земной коры, детальность построения геолого-геофизических моделей, минимизировать ошибки при заложении разведочных и эксплуатационных скважин. 3 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 2

Предлагаемое техническое решение относится к сейсмической разведке и может быть применено для поисков и разведки месторождений полезных ископаемых и изучения строения и физико-механических свойств приповерхностных толщ земной коры.

Начиная с 2000-х годов геофизические компании начали активно применять сейсморазведку высокого разрешения. Работы показали, что увеличение плотности трасс позволяет расширить частотный состав записи, более детально выделять разрывные нарушения и т.д. Кроме того, применение поверхностных источников, по мощности уступающим взрывам в скважинах, не препятствовало выделению на сейсмических разрезах глубокозалегающих объектов. Большой объем сейсмических данных ведет к сохранению полезного сигнала и подавлению различного рода помех, способствует выделению мелких разломов и трещин, к которым приурочены залежи нефти. Применение высокоплотных методик приводит к увеличению единиц геофизической аппаратуры, техники (в том числе и источников сейсмических волн), применяемой на площади работ, и получаемых объемов информации (с плотности трасс 102-256 тысяч/км до, минимум, 1-10 миллионов/км²), что требует применения высокопроизводительных технологий возбуждения.

Известен метод и сейсмические источники высокой производительности (US 20130163381 A1, опубл. 27.06.2013, аналог), включающий в себя следующие шаги: размещение множества вибраторов на заданных точках земной поверхности; генерацию и настройку соответствующего (уникального) свип-сигнала на каждом вибраторе для подготовки их к работе; асинхронное возбуждение сейсмических сигналов вибраторами; непрерывную запись сейсмических сигналов. При этом свип-сигналы от каждого вибратора представляют собой псевдослучайные последовательности слабо коррелируемые между собой.

Недостатком аналога является низкая продуктивность технологических операций, обусловленная необходимостью остановки вибратора на заданной точке,

продолжительным временем подготовки к работе и генерации свип-сигналов, обладающих длительностью, превышающей время записи отклика недр.

Известен способ и система сбора сейсмических данных (RU 2745481 С1, опубл. 25.03.2021, прототип), в котором применяется один или несколько источников сейсмических сигналов,двигающихся по заранее определенным траекториям и заданной скоростью. Скорость движения V источника сигналов рассчитывается по формуле $V=(1/T_{\text{гот}})/n$, где n - требуемая плотность возбуждения (имп/км), $T_{\text{гот}}$ - период готовности источников (сек). Источники посылают импульсы и начинают движение поочередно, один за другим, после получения команды от контроллера станции управления, интервал следования импульсов выбирают исходя из времени прихода отраженной сейсмической волны от предельно глубокого горизонта изучаемой подземной структуры, что ограничивает количество используемых источников сигналов. Максимальное количество источников N_{max} может быть найдено из выражения $N_{\text{max}}=\Delta x/(V \cdot t)$, где Δx - шаг между точками следования импульсов, V - скорость движения источников, t - интервал следования импульсов. Например, требуемая плотность возбуждения 200 имп/км, при этом $\Delta x=5$ м, $T_{\text{гот}}=10$ сек, $V=0.5$ м/с, t - 5 сек, тогда $N_{\text{max}}=5/(0.5 \cdot 5)=2$, в противном случае сигналы источников будут пересекаться во времени и создавать помехи на сейсмической записи.

Управление сбором сейсмических данных осуществляют в ручном режиме посредством передачи команд на подачу импульсов источниками с контроллера станции управления. В процессе подачи импульсов каждый источник сигналов должен двигаться с определенной, жестко регламентированной скоростью, отклонение от которой приведет к пересечению сейсмических сигналов от соседних групп источников и искажению (производственному браку) получаемой геофизической информации и ошибкам в построении моделей геологической среды. Для предотвращения пересечения сигналов источники могут быть разнесены на расстояния, при которых сигналы от соседних источников будут затухать и не создавать помех, но количество источников, надежность приема-передачи команд управления будет зависеть от параметров сети наблюдения (длины, ширины участка съемки) и пределов возможности радиосвязи. Также данный подход потребует кратного увеличения приемников сейсмических сигналов, что негативно скажется на общей производительности и стоимости геологоразведочных работ.

Задачей предлагаемого технического решения является устранение недостатков прототипа, а именно разработка способа сбора сейсмических данных, позволяющего реализовать применение неограниченного количества автономных и независимых от комплексов записи сейсмических данных источников сигнала.

Технический результат изобретения заключается в кратном увеличении производительности геологоразведочных работ методами сейсморазведки и объемов геофизических данных на единицу площади изучаемого участка земной коры, детальности построения геолого-геофизических моделей, минимизации ошибок при заложении разведочных и эксплуатационных скважин.

Указанный технический результат достигается тем, что способ базируется на применении неограниченного количества поверхностных импульсных невзрывных источников сейсмических колебаний за счет того, что комплекс записи сейсмических данных и источники сигналов выполняют свои функции автономно и синхронизированы по часам. Применение неограниченного количества источников обеспечивает получение большого количества данных за меньшее количество времени т.е. увеличивает производительность сейсморазведочных работ и обеспечивает детальность построения геолого-геофизических моделей, а интервал следования импульсов, содержащий случайную величину исключает искажение получаемой геофизической информации при пересечении сигналов от соседних групп, ослабив последние в \sqrt{n} раз, где n - плотность трасс сейсмической записи на единицу площади изучаемого участка среды. Способ обеспечивает непрерывное движение источников сигналов по заранее определенным траекториям с заданной скоростью V , воздействующих на изучаемую среду импульсами, следующими через определенный интервал $T=t_0 \pm x_i$, где t_0 - общий для всех источников интервал, x_i -

случайная величина. Интервал следования импульсов на каждом источнике выбирают исходя из необходимого времени записи приемниками отклика недр t_{asq} на поданный источником сигнал для получения всей информации об изучаемом участке среды, при этом $T \geq t_{asq}$. Время подачи импульса источником t_{sn} и координаты точки земной поверхности x_n, y_n, h_n , поступающие от GNSS-приемника, записываются в модуль хранения. Сейсмические сигналы записываются приемниками в виде непрерывной записи. Разделение непрерывной записи происходит путем определения на непрерывной записи времени t_{sn} и исключением интервалов записи, полученных до момента t_{sn} и после момента $t_{sn} + t_{asq} - \Delta$, где Δ - шаг квантования записи по времени. Траектория движения источника и его скорость контролируется модулем навигации. После подачи очередного импульса устройство управления передает время и координаты точки подачи импульса, данные о техническом состоянии источника в модуль хранения и в центр контроля на устройство дистанционного контроля и хранения, где происходит оценка соответствия данных заданным значениям. В случае отклонения значений от заданных работа источника приостанавливается.

Изобретение иллюстрируется фиг. 1 и фиг. 2.

На фиг. 1 представлена блок-схема способа сбора сейсмических данных содержащая источники сигналов на котором смонтирован GNSS-приемник 1, модуль навигации 2, устройство управления 3, модуль хранения 4, излучатель сигналов 5, устройство связи 6. Центр контроля в котором установлено устройство связи 6, устройство дистанционного контроля и хранения 7, устройство обработки 8. Комплекс записи сейсмических данных состоящий из станции управления записью данных 9 и приемников сигналов 10.

На фиг. 2. схематически изображены процессы накопления и подавления пересекающихся во времени сигналов: шкала времени 1, сигналы от единичных воздействий источников N_1, N_2 и N_3 и суммарные сигналы ΣN_1 и $\Sigma N_2, N_3$ от источников N_1, N_2 и N_3 . Индексы 1, 2 и 500 обозначают номер воздействия каждого источника, а также количество (плотность) трасс на единицу площади изучаемого участка среды.

Осуществление изобретения.

Для осуществления способа применяют следующую аппаратуру и оборудование. Источники сигналов, буксируемые посредством сцепки с транспортным средством. В источнике или транспортном средстве устанавливается GNSS приемник 1, обеспечивающий непрерывное получение координат местоположения источников и время, которые передаются в модуль навигации 2 и устройство управления 3 (фиг. 1). Модуль навигации, получая координаты от GNSS приемника, следит за скоростью и траекторией движения источника и выводит их на экран. Устройство управления 3 через заданный интервал времени подает команду на излучатель источников 5 для инициирования сейсмического сигнала, во время инициирования сейсмического сигнала устройство управления 3 передает текущие координаты источника, время совершения импульса и данные о техническом состоянии источников в модуль хранения 4 и через устройства связи 6 в устройство дистанционного контроля 7. Устройство дистанционного контроля 7 принимает получаемую информацию и при отклонении параметра/параметров от заданных через устройства связи 6 подает команду об остановке источников до момента устранения неисправности. Комплекс записи сейсмических данных состоит из станции управления записью данных 9 и приемников сигналов 10. Станция управления записью данных 9 оснащена часами для синхронизации с источниками и осуществляет три основные функции - подачу в заданный момент времени команды приемникам сигналов 10 на начало записи, контроль технического состояния приемников сигналов 10 и хранение получаемой от приемников непрерывной записи. В частности, станция управления записью данных 9 и приемникам сигналов 10 также могут быть независимы, тогда каждый приемник сигналов 10 берет на себя функции станции управления записью данных. Хранящаяся запись сейсмических сигналов передается на устройство обработки 8 посредством внешних носителей информации. Устройство обработки 8 обеспечивает разделение непрерывной записи на отдельные интервалы.

Способ сбора сейсмических данных осуществляют следующим образом.

Исходя из строения и площади изучаемого участка среды, глубины и детальности изучения геологического строения, а также времени, необходимого на проведение исследований, выбирают количество источников сигналов, траектории их движения, шаг между точками следования импульсов и точки установки приемников сигналов 10. Интервал записи выбирают исходя из требуемой глубины изучения участка земной коры. Шаг между точками следования импульсов и интервал между точками установки приемников выбирают исходя из требуемой плотности трасс сейсмической записи на единицу площади изучаемого участка среды. Источники сигналов и комплекс записи сейсмических данных синхронизированы по часам и выполняют свои функции автономно. После готовности источников сигналов приемники сигналов начинают запись. Источники сигналов запускаются одновременно и начинают движение с заданной скоростью, воздействуя на поверхность изучаемого участка среды импульсами, следующими через определенные интервалы. Скорость движения источников сигналов может быть найдена из выражения $V = \Delta x / T$, где Δx - шаг между точками следования импульсов, T - интервал времени следования импульсов. Интервал времени следования импульсов T источников сигналов задается на каждом источнике сигналов, интервал следования импульсов на каждом источнике выбирается исходя из необходимого времени записи приемниками отклика недр на поданный источником сигнал для получения всей информации об изучаемом участке среды. Интервал времени следования импульсов представляет собой случайную величину $T = t_0 \pm X_i$, где t_0 - общий для всех источников интервал, при этом $T \geq t_{асг}$, X_i - случайная величина. Поскольку интервал следования импульсов случайная величина, то на записи, полученной от источника N_i , пересекающиеся во времени сейсмические записи, полученные от источников N_{i+b} , N_{i+2} ... N_{i+n} , будут представлены как случайные помехи, и при дальнейшей обработке интенсивность помех будет уменьшена в \sqrt{n} раз, где n - плотность трасс сейсмической записи на единицу площади изучаемого участка среды.

В частности, количество источников может быть неограниченным.

В процессе движения источник через излучатель сигналов посылает импульсы в изучаемую среду через интервал T .

В частности, источник движется непрерывно и имеет постоянный контакт с изучаемой поверхностью.

В частности, излучатель сигналов выполнен в виде импульсного невзрывного источника сейсмических сигналов.

В частности, способ может быть применен на различных поверхностях, таких, как грунт, снег, лед, вода.

Пример.

Пусть требуется провести геологоразведочные работы методами сейсморазведки в объеме 1500 пог. км в срок, не превышающий 30 дней. При этом, работы ограничены $t_{смены} = 10$ часами в сутки. Плотность трасс n сейсмической записи на единицу площади изучаемого участка среды равно 500. Шаг следования импульсов сигналов Δx не должен превышать 5 м, время записи приемниками отклика недр равно 7 секундам, t_0 равен 8 секундам, шаг квантования записи по времени Δ равен 1 миллисекунде. Интервал времени следования импульсов T равен 8 секундам, скорость источников будет составлять $V = \Delta x / T = 5 / 8 = 0,625$ м/с (2,3 км/ч). В сутки одна группа источников за 10 часовую смену может отработать $L = V \cdot t_{смены} = 2,3 \cdot 10 = 23$ км, а за 30 дней - 690 пог. км. Таким образом, для отработки объема в 1500 пог. км. потребуется $N_{ист} = 1500 / 690 \approx 2,7 = 3$ группы источников. В случае с прототипом, пользуясь формулой $N_{max} = \Delta x / (V \cdot t)$, максимальное количество источников будет равным $N_{max} = \Delta x / (V \cdot t) = 5 / (0,625 \cdot 8) = 1$, что не позволит выполнить работы в указанные сроки.

Перед началом работ приемники сигналов 10 устанавливаются на заранее определенные точки земной поверхности, льда, дна водоемов; для источников сигналов определяют маршруты их движения.

Работы выполняют следующим образом.

Источники сигналов выходят на заданные позиции. В назначенный момент времени приемники сигналов 10 начинают запись, а источники, также получив сигнал в назначенный момент времени, от устройства управления 3 начинают движение по заранее определенному маршруту и с определенной скоростью. Модуль навигации 3 получает координаты источника от GNSS-приемника 1 и контролирует траекторию движения источника сигналов и его скорость. Команду на подачу импульсов подает устройство управления 3 и, одновременно, передает координаты точки подачи импульса x_n, y_n, h_n , полученные от GNSS-приемника 1, время подачи импульса t_{sn} , данные о техническом состоянии излучателя, скорости движения V источника сигналов в модуль хранения 4 и устройства связи 6 в момент подачи импульса. Данные с устройства связи 6 в центре контроля передаются на устройство дистанционного контроля 7 где происходит оценка соответствия данных заданным значениям. В случае отклонения значений от заданных устройство дистанционного контроля и хранения через устройства связи передает команду на устройство управления о приостановке работы источника. Приемники сигналов 10 записывают сейсмические сигналы (отклик недр на поданный источником сигнал), которые передаются и хранятся в станции управления записью данных 9. Непрерывная запись, хранящаяся на станции управления записью данных 9, передается на устройство обработки 8 где происходит ее разделение на отдельные интервалы. Разделение непрерывной записи происходит путем определения на непрерывной записи времени подачи импульса t_{sn} и исключением интервалов записи, полученных до момента t_{sn} и после момента $t_{sn} + t_{asq} - \Delta$, где Δ - шаг квантования записи по времени. Поскольку, три источника N_1, N_2 и N_3 совершают воздействия через интервал $T = t_0 \pm X_i$, где t_0 - общий для всех источников интервал, x_i - случайная величина, то после разделения непрерывной записи время подачи импульса t_{sn} для источника n_i будет равняться нулю, а t_{sn} для источников n_2 и n_3 будут принимать значения $t_{sn} \pm x_i$. Например, величина x_i принимает значения ± 50 миллисекунд и распределена по нормальному (Гауссовому) закону, тогда начало записи отклика недр после ее разделения от источника N_1 будет брать свое начало с времени 0 миллисекунд и отклик недр будет представлять постоянный сигнал, а записи отклика недр источников N_2 и N_3 берут свое начало с времени 0 ± 50 миллисекунд, представляют собой случайные помехи и будут подавлены в \sqrt{n} , т.е. $\sqrt{n} = \sqrt{500} = 22$ раза, в то время как сигнал от источника N_i остается неизменным (фиг.). То-же самое справедливо и для источника N_2 и N_3 .

Таким образом, предложенный способ позволяет одновременно задействовать три группы источников сигналов для выполнения объемов работ в указанные сроки без разноса источников на расстояния, исключая перекрытие сейсмической записи во времени и привлечения дополнительного оборудования, в частности, приемников сигналов, что позволяеткратно увеличить производительность геологоразведочных работ методами сейсморазведки и объемы геофизических данных на единицу площади изучаемого участка земной коры, детальность построения геолого-геофизических моделей, минимизировать ошибки при заложении разведочных и эксплуатационных скважин.

Формула изобретения

1. Способ сбора сейсмических данных, характеризующийся воздействием на исследуемую поверхность автономными и независимыми от системы сбора данных источниками сейсмических сигналов, следующих по заранее определенным траекториям, монтажом источников на платформе, размещенной в контакте с исследуемой поверхностью, непрерывным движением источников, синхронизацией часов источников с часами системы сбора сейсмических данных и непрерывной записью сигналов, выдаваемых приемниками, отличающийся тем, что источники сигналов запускаются одновременно, источники перемещаются по заранее определенным траекториям и с заданной скоростью, интервал времени следования импульсов T источников сигналов задают на каждом источнике сигналов, интервал следования импульсов на каждом источнике выбирают исходя из необходимого

времени записи приемниками отклика недр t_{asq} на поданный источником импульс для получения всей информации об изучаемом участке среды, координаты источника x_n , y_n , h_n и время подачи импульса t_{sn} записывают в модуль хранения в момент подачи импульса, где n - номер источника, производят подготовку непрерывной записи к дальнейшему применению путем ее разделения на отдельные интервалы.

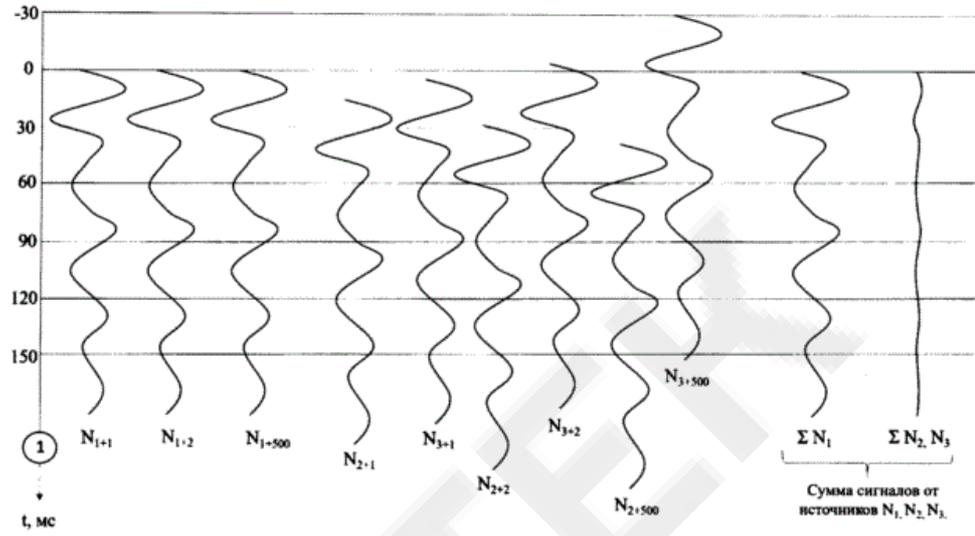
2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что интервал времени следования импульсов представляет собой случайную величину $T=t_0 \pm X_i$, где t_0 - общий для всех источников интервал, при этом $T \geq t_{asq}$, X_i - случайная величина.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что на записи, полученной от источника N_i пересекающиеся во времени сейсмические записи, полученные от источников N_{i+1} , $N_{i+2} \dots N_{i+n}$, представлены как случайные помехи, и при дальнейшей обработке интенсивность помех уменьшается в \sqrt{n} раз, где n - плотность трасс сейсмической записи на единицу площади изучаемого участка среды.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что разделение непрерывной записи на отдельные интервалы происходит путем определения на непрерывной записи времени t_{sn} и исключением интервалов записи, полученных до момента t_{sn} и после момента $t_{sn} + t_{asq} - \Delta$, где Δ - шаг квантования записи по времени.



Фиг. 1



ФИГ. 2