



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21), (22) Заявка: **2006131449/28**, **01.09.2006**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**01.09.2006**(43) Дата публикации заявки: **10.03.2008**(45) Опубликовано: **10.07.2010** Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 6576103 B2**, **10.06.2003**. **ЛИДОРЕНКО Н.С. и др. Введение в молекулярную электронику**. - М.: Энергоатомиздат, 1984, с.235-274. **SU 723458 A**, **28.03.1980**. **SU 843003 A**, **30.06.1981**. **JP 9015258 A**, **17.01.1997**. **JP 2003100350 A**, **04.04.2003**.

Адрес для переписки:  
**125475, Москва, ул. Дыбенко, 18, корп.1,  
кв.132, М.В.Сафонову**

(72) Автор(ы):

**Козлов Владимир Алексеевич (RU),  
Агафонов Вадим Михайлович (RU),  
Сафонов Максим Владимирович (RU),  
Зайцев Дмитрий Леонидович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной  
ответственностью "Р-сенсорс" (RU)**

**(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО УЗЛА МОЛЕКУЛЯРНО-ЭЛЕКТРОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ДВИЖЕНИЙ (ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может найти применение в сейсмике и сейсморазведке, системах стабилизации движущихся объектов и системах инерционной навигации. Сущность изобретения по первому варианту заключается в подборе расположения отверстий в диэлектрической прокладке электродного узла, состоящего из четырех сетчатых металлических электродов, переложённых перфорированными диэлектрическими прокладками, таким образом, что в центре отверстия находится

ровно один узел электродной сетки, а по второму варианту - изготовлением сэндвича из фольги в качестве электродов и диэлектрической прокладки с полностью соосными отверстиями. Изобретение позволяет достичь максимальной идентичности коэффициентов преобразования каждого микроканала электродного узла так, чтобы отношение среднеквадратичного отклонения к среднему значению коэффициента преобразования, рассчитанному по всей совокупности микроканалов, было бы минимальным. 2 н. и 3 з.п. ф-лы, 3 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006131449/28, 01.09.2006**

(24) Effective date for property rights:  
**01.09.2006**

(43) Application published: **10.03.2008**

(45) Date of publication: **10.07.2010 Bull. 19**

Mail address:  
**125475, Moskva, ul. Dybenko, 18, korp.1, kv.132,  
M.V.Safonovu**

(72) Inventor(s):

**Kozlov Vladimir Alekseevich (RU),  
Agafonov Vadim Mikhajlovich (RU),  
Safonov Maksim Vladimirovich (RU),  
Zajtsev Dmitrij Leonidovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvenost'ju "R-  
sensors" (RU)**

**(54) METHOD OF MAKING ELECTRODE ASSEMBLY OF MOLECULAR-ELECTRONIC DEVICE FOR MEASURING LINEAR AND ANGULAR MOTION (VERSIONS)**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: first version of the method involves selection of position of openings on the dielectric spacer of an electrode assembly consisting of four metal gauze electrodes, shifted by perforated dielectric spacers such that there is exactly one unit of the gauze electrode at the centre of the opening. The second version involves making a

sandwich from foil as electrodes and a dielectric spacer with completely coaxial openings.

EFFECT: invention enables to achieve maximum identity of conversion coefficients of each micro-channel of the electrode assembly so that the ratio of mean square deviation to average value of the conversion coefficient, calculated for the entire set of micro-channels, is minimal.

5 cl, 3 dwg, 1 ex

R U 2 3 9 4 2 4 6 C 2

R U 2 3 9 4 2 4 6 C 2

Область техники

Изобретение относится к измерительной технике, в частности к способу изготовления электродного узла молекулярно-электронных преобразователей с низким уровнем собственных шумов, для использования в линейных акселерометрах и датчиках скорости, а также угловых акселерометрах и гироскопах. Это изобретение может найти применение при производстве длиннопериодных сейсмоприемников, короткопериодных сейсмодатчиков, в системах стабилизации движущихся объектов и системах инерциальной навигации высокой точности.

Предшествующий уровень техники

Молекулярно-электронные преобразователи линейных и угловых акселерометров используют раствор электролита в качестве инерционной массы и преобразуют поток электролита в электрический сигнал. Молекулярно-электронные преобразователи включают четыре электрода, помещенные в замкнутый контур, заполненный электролитом, при этом внутренние электроды служат катодами, а периферийные - анодами.

При подключении электродов молекулярно-электронного преобразователя к внешней электронике аноды находятся при потенциале на 250-300 мВ более высоком, чем катоды. В этом случае концентрация активного компонента (ионов три-йодида) в покоящейся жидкости на анодах равна объемному значению, а на катодах - близка к нулю.

Катодные токи в этом случае определяются скоростью подвода реагирующего активного компонента к электродам. В неподвижной жидкости перенос активных носителей осуществляется согласно диффузионному механизму и определяется выражением:

$$I = -D \cdot S \cdot \left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{x=x_0, c} \quad (1)$$

Здесь  $D$  - коэффициент диффузии,  $S$  - площадь соответствующего катода,  $\frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=x_0, c}$  - градиент концентрации активного компонента на поверхности соответствующего катода. При движении жидкости дополнительно к диффузионному механизму действует конвективный перенос, приводящий к увеличению тока на одном катоде и уменьшению на другом. При включении двух пар электродов по дифференциальной схеме фоновые катодные токи взаимно компенсируются, а сигнальный ток, вызванный возникающим под действием внешнего ускорения движением жидкости, удваивается.

Помимо соответствующих коэффициентов преобразования линейного или углового ускорения в электрический ток и их частотной зависимости ключевым параметром линейных и углового акселерометров является величина их собственного шума. Максимально возможное снижение собственных шумов молекулярно-электронного преобразователя является крайне важной задачей как для сейсмических приборов, так и для систем инерциальной навигации, поскольку величина собственного шума определяет нижний предел измерения для линейных акселерометров и кажущийся уход гироскопов. В свою очередь величина собственного шума молекулярно-электронного преобразователя определяется способом изготовления его электродного узла.

Известен способ изготовления электродного узла, описанный в (Н.С.Лидоренко и др. Введение в молекулярную электронику. Энергоатомиздат, 1984, 320 с.), когда четыре сетчатых электрода электрически развязаны диэлектрическими шайбами с большим диаметром отверстия, так что диэлектрический пояс занимает только малую

часть сетчатого электрода. Главными недостатками этого способа являются малая прочность узла на прогиб под действием потока жидкости, возникающего при больших ускорениях, а также неаналитическая  $\sim 1/\sqrt{\omega}$  передаточная функция электродного узла. При этом собственный шум такого узла, выраженный в ускорениях, составляет 130 дБ, отсчитанных от 1 м/сек<sup>2</sup>.

Другой известный способ изготовления электродного узла, описанный в (Abramovich I.A., Kharlamov A.V. Patent US №6,576,103 B2), основанный на использовании в качестве диэлектрической перегородки полимерного материала с хаотической структурой пор, который накладывается на сетчатые электроды. Недостатками этого способа являются также неаналитическая частотная зависимость передаточной функции узла и высокий уровень собственного шума, который только усугубляется при течении жидкости через хаотическую структуру пор диэлектрической прокладки.

Иной способ изготовления электродного узла, описанный в (В.А.Козлов, П.А.Тугаев. Электрохимия, 1996, т.32, №4, с.1436-1443), состоит в наложении на сетку перфорированной прокладки из слюды с регулярной системой пор с последующей вальцовкой по периметру узла в целом. При этом несмотря на улучшение прочностных характеристик собственный шум остается слишком большим.

Общий недостаток перечисленных аналогов заключается в том, что все они не обеспечивают необходимую для сейсмометрии и систем инерциальной навигации чувствительность и аналитическую частотную зависимость коэффициента преобразования. Кроме того, спектральная плотность собственных шумов, изготовленных перечисленными способами электродных узлов, возрастает с понижением частоты, начиная с частот порядка 0.05 Гц, что не позволяет фиксировать слабые низкочастотные сигналы как при сейсмических измерениях, так и при низкочастотных вариациях параметров движения летательных объектов.

Прототипом предлагаемого изобретения является техническое решение, описанное в (Abramovich I.A., Kharlamov A.V. Patent US №6,576,103 B2).

#### Раскрытие изобретения

Задачей настоящего изобретения является создание способа изготовления электродного узла молекулярно-электронного преобразователя с низким уровнем собственных шумов.

Технический результат, достигаемый предлагаемым изобретением, заключается в достижении высокой идентичности коэффициентов преобразования каждого микроканала, так чтобы среднеквадратичное отклонение было бы минимальным.

Эта задача решена за счет того, что электродный узел должен быть изготовлен таким образом, чтобы электрические токи, снимаемые с каждого микроканала, были бы максимально идентичны. Это достигается двумя способами: использованием регулярной сетки в качестве электродов с подбором расположения отверстий в диэлектрической прокладке таким образом, что в центре отверстия находится узел электродной сетки, или изготовлением электродного узла в виде сэндвича из фольги в качестве электродов и диэлектрических прокладок с полностью соосными отверстиями.

Собственный шум молекулярно-электронных преобразователей (МЭП) определяется, с одной стороны, гидродинамическими флуктуациями скорости электролита, охватывающими преобразователь в целом, а с другой, возникновением в электродном узле преобразователя замкнутых вихревых микропотоков, амплитуда которых резко убывает с удалением от электродного узла. Спектральная плотность мощности суммарного шума, выраженная в единицах эквивалентного ускорения,

дается выражением:

$$\langle \alpha^2 \rangle_\omega = \frac{4 \cdot R_h \cdot T}{\rho^2 \cdot l^2} + \frac{4 \cdot T}{R_h \cdot |W_{\text{мех}}(\omega)|^2} \cdot \alpha, \quad (1)$$

5 где  $\rho$  - плотность электролита,  $l$  - длина столба жидкости в направлении действующего ускорения,  $T$  - абсолютная температура, выраженная в энергетических единицах,  $R_h$  - гидродинамическое сопротивление электродного узла,

$$\alpha = \frac{\langle \Delta k_n^2 \rangle}{\langle k \rangle^2}$$

10 безразмерный коэффициент, характеризующий разброс соответствующего коэффициента преобразования различных микроканалов электродного узла, где  $\langle k \rangle$  - усредненный по всем микроканалам коэффициент преобразования потока электролита в электрический ток,  $W_{\text{мех}}(\omega)$  - передаточная функция механической  
15 колебательной системы акселерометра. Кроме того, гидродинамическое сопротивление электродного узла определяет величину демпфирования механической колебательной системы, и его существенное снижение приводит к появлению ярко выраженного резонанса и неустойчивости. Исходя из изложенного выше оптимальное значение величины гидродинамического сопротивления узла выбирается равным  $R_h =$   
20  $3 \cdot 10^8$  Н·сек/м<sup>5</sup>. При таком значении  $R_h$  второе слагаемое в формуле (1) в три раза превышает первое. Более того, если первое слагаемое в (1) является частотно независимым, то второе слагаемое частотно зависимо и имеет существенный подъем спектральной плотности в сторону низких частот вследствие падения с частотой  
25 передаточной функции механической колебательной системы.

Заявляемым способом снижения собственных шумов, обусловленных разбросом параметров электрохимического преобразования между отдельными микроканалами электродного узла, является сведение к минимуму безразмерного коэффициента  $\alpha$ ,  
30 входящего в формулу 1, что в свою очередь достигается посредством специального способа изготовления электродного узла молекулярно-электронного преобразователя.

Добиться уменьшения коэффициента  $\alpha$  возможно двумя способами изготовления электродного узла, как это показано на фиг.1 и фиг.2. При обоих способах изготовления отдельные микроканалы электродного узла приобретают максимально  
35 возможную идентичность, что позволяет минимизировать шум, описываемый вторым слагаемым в формуле (1). При этом величина  $\alpha$  уменьшается, по меньшей мере, на несколько порядков. Приведенные способы изготовления электродного узла молекулярно-электронной ячейки позволяют снизить ее собственный шум до значений  
40 порядка -155 дБ по отношению к 1 м/сек<sup>2</sup>. Немаловажно, что при изготовлении сэндвича из фольги в качестве электродов и диэлектрической прокладки с полностью соосными отверстиями зависимость передаточной функции узла от частоты приобретает аналитическую зависимость  $\sim 1/\omega$ .

Краткое описание чертежей

45 На фиг.1 схематически изображен электродный узел, в котором специальным образом подобрано расположение отверстий в диэлектрической прокладке так, что в центре отверстия находится один узел электродной сетки.

1 - платиновые электроды;

50 2 - пористая диэлектрическая прокладка с регулярной структурой пор;

3 - микроканал электродного узла;

4 - узел электродной сетки.

На фиг.2 схематически изображен электродный узел, в котором электроды из

фольги и диэлектрические прокладки с полностью соосными отверстиями образуют структуру типа сэндвича.

- 1 - металлическая фольга;
- 2 - диэлектрические перегородки;
- 3 - микроканалы электродного узла;
- 4, 5, 6, 7 - выводы электродов.

На фиг.3 представлены результаты измерений спектральной плотности собственных шумов электродных узлов, изготовленных известным и заявляемым способами. Данные получены на основе ночной записи, когда низкочастотный сигнал минимален. При этом собственный шум преобразователя отвечает области частот ниже 0.1 Гц.

1 - измеренная спектральная плотность прибором с электродным узлом, изготовленным известным способом, в отрицательных дБ по отношению к 1 м/сек<sup>2</sup>.

2 - измеренная спектральная плотность прибором с электродным узлом, изготовленным заявляемым способом согласно фиг.1, в отрицательных дБ по отношению к 1 м/сек<sup>2</sup>.

Пример реализации изобретения

Электродный узел, изготовленный по способу, представленному на фиг.1, включал четыре сетчатых электрода, изготовленных из сетки с шагом 100 мкм на основе проволоки диаметром 45 мкм. Перфорированные диэлектрические перегородки были изготовлены таким образом, чтобы в каждой из 80 дырок с диаметром 350 мкм узел сетки помещался практически в центре отверстия. На фиг.3 представлены экспериментальные данные, полученные для спектральной плотности собственных шумов электродного узла при известном способе изготовления (кривая 1) и заявляемом способе изготовления электродного узла (кривая 2). Как это следует из представленных данных, заявляемый способ изготовления узла позволяет снизить собственный шум на 15 дБ.

Реализация способа изготовления электродного узла молекулярно-электронного преобразователя.

Электродный узел, представленный на фиг.1, изготавливается следующим образом: четыре сетчатых электрода 1 и три перфорированные диэлектрические перегородки 2 при помощи микроскопа перекалываются поочередно таким образом, чтобы на каждый микроканал 3 приходился ровно один узел 4 каждой электродной сетки и располагался по возможности точно по центру микроканала. Каждый элемент конструкции скреплялся при помощи лака. Затем получившийся пакет под нагрузкой спекается в печи, что придает всей конструкции необходимую жесткость.

Электродный узел, представленный на фиг.2, изготавливался схожим образом. Фольга толщиной от 30 до 50 мкм 1 перекалывается поочередно с прокладками из диэлектрика 2, материал которого находится в холодном состоянии. Таким образом, получается сэндвич из четырех слоев фольги и трех слоев диэлектрика, конструкция надежно закрепляется по краям сэндвича, и с помощью прецизионной установки сверлятся сквозные дырки. Таким путем удастся получить практически идентичные микроканалы 3. Затем получившееся изделие также под нагрузкой спекается в печи. Контроль дефектов сверления и спекания контролируется при помощи микроскопа.

Промышленная применимость

Предлагаемое изобретение может найти применение в сейсмике и сейсморазведке, системах стабилизации движущихся объектов и системах инерционной навигации. Оно позволяет существенно снизить собственные шумы акселерометров и измерителей

скорости, а также улучшить точность измерения линейной и угловой скорости и соответствующих ускорений.

#### Формула изобретения

5

1. Способ изготовления электродного узла молекулярно-электронного преобразователя, заключающийся в том, что четыре сетчатых металлических электрода перекладываются тремя перфорированными диэлектрическими прокладками в виде сэндвича, отличающийся тем, что сетчатые электроды и

10

перфорированные прокладки перекладываются поочередно таким образом, чтобы узел каждой электродной сетки находился в центре отверстия диэлектрической прокладки, каждый элемент конструкции скрепляется при помощи лака и

получившийся пакет под нагрузкой спекается при температурах от 900 до 1200°C.

15

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что приварка внешних выводных контактов к электродам узла производится после запекания электродного узла.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что перфорированная диэлектрическая прокладка изготовлена из керамического материала типа форстерит в сыром виде.

20

4. Способ изготовления электродного узла молекулярно-электронного преобразователя, заключающийся в том, что четыре металлических электрода перекладываются тремя перфорированными диэлектрическими прокладками, отличающийся тем, что электроды изготавливаются из фольги толщиной от 10 до 100 мкм, в которой выполнены отверстия, соосные с отверстиями в перфорированной прокладке, полученный сэндвич закрепляется по краям и спекается при

25

температурах 800-1000°C.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что количество отверстий и их диаметр выбираются таким образом, чтобы обеспечить значение гидродинамического сопротивления узла равное  $3 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^5$ .

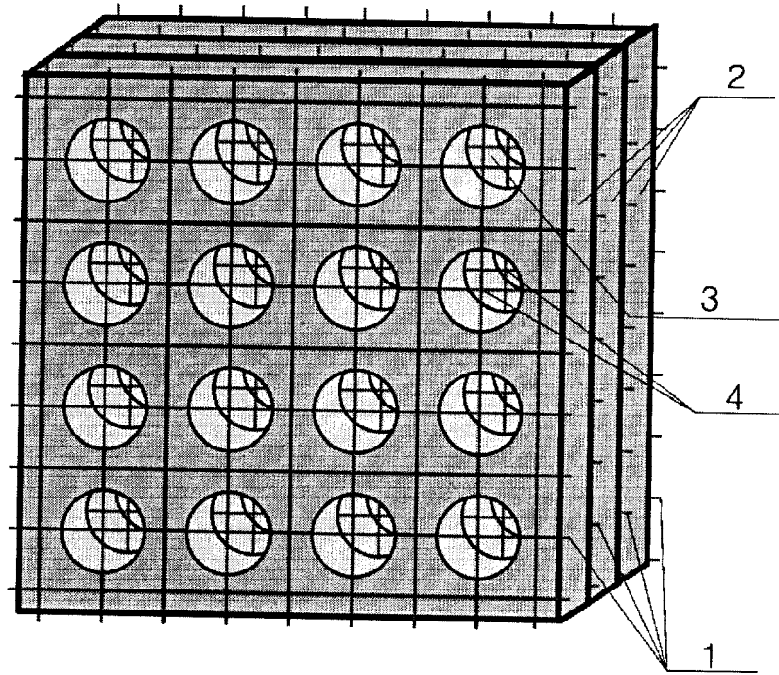
30

35

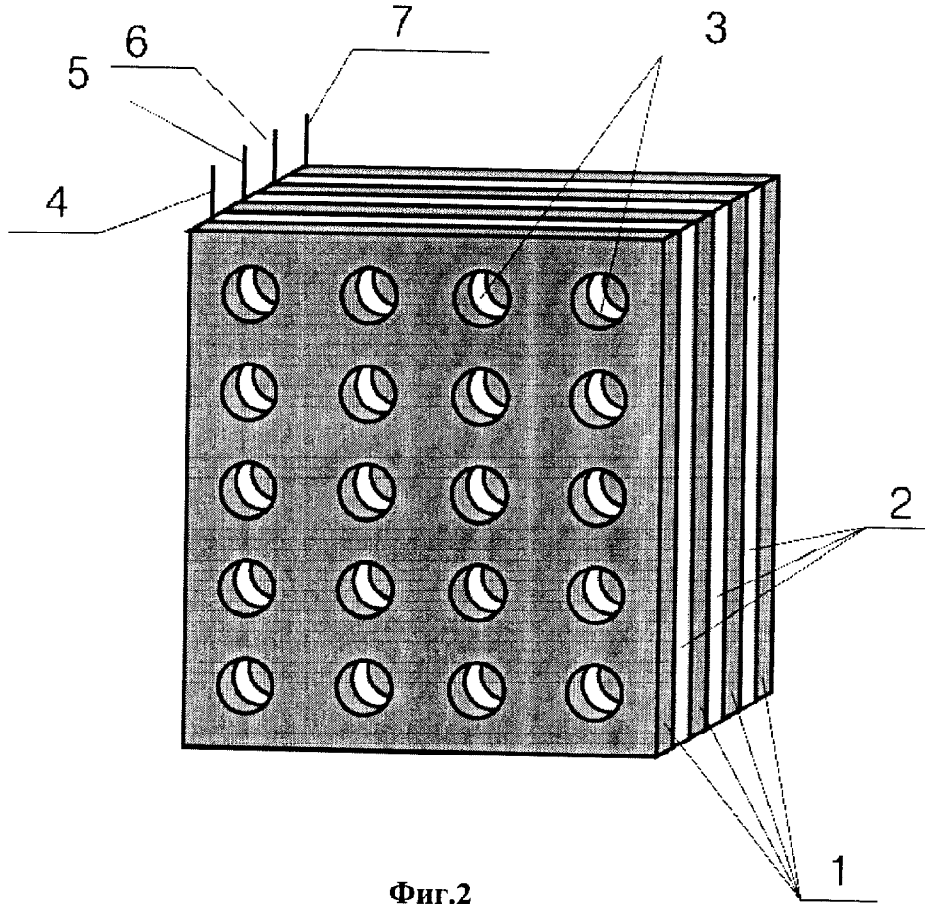
40

45

50

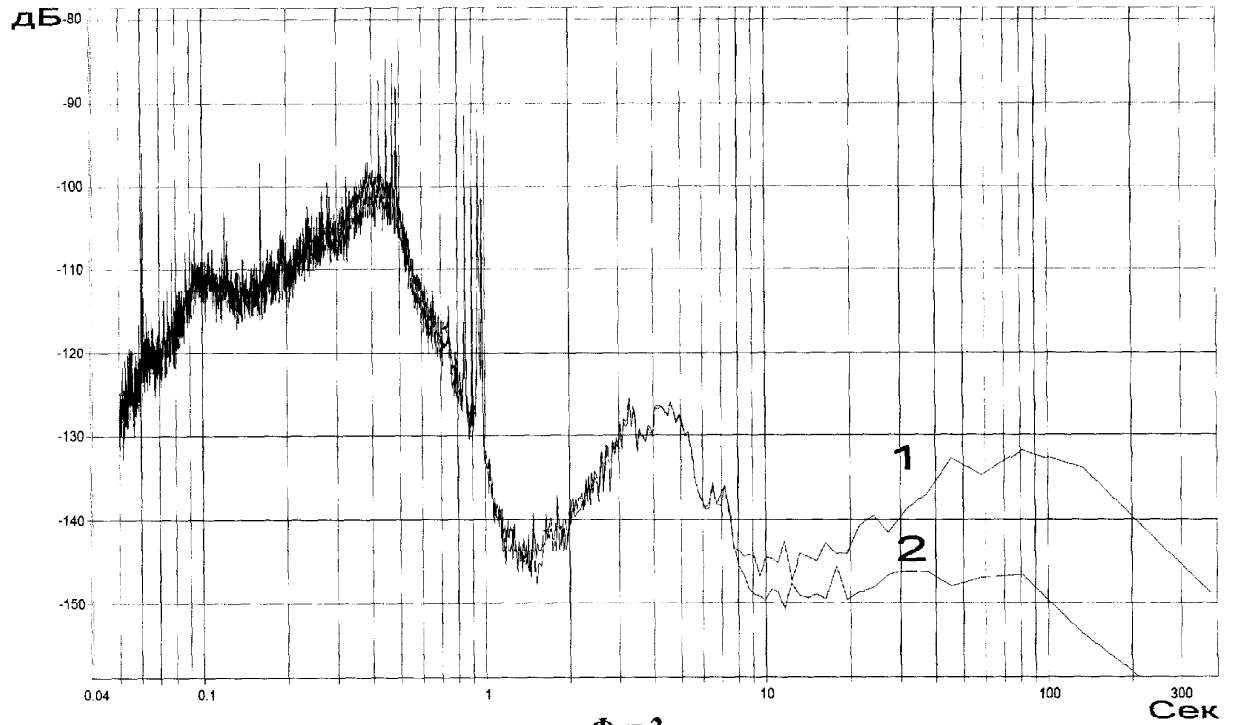


Фиг. 1



Фиг. 2





Фиг.3