



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
G01D 5/38 (2017.05)

(21)(22) Заявка: 2017115349, 02.05.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.05.2017

Дата регистрации:  
25.12.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.05.2017

(45) Опубликовано: 25.12.2017 Бюл. № 36

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Одинокова  
С.Б. (каф. РЛ-2)

(72) Автор(ы):

Одинокое Сергей Борисович (RU),  
Лушников Дмитрий Сергеевич (RU),  
Маркин Владимир Васильевич (RU),  
Жердев Александр Юрьевич (RU),  
Талалаев Владимир Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский  
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2400703 C1, 27.09.2010. WO  
2002023132 A1, 21.03.2002. US 5569913 A,  
29.10.1996. JP S 63115010 A, 19.05.1988.

(54) Оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений с блоком управляемых зеркал

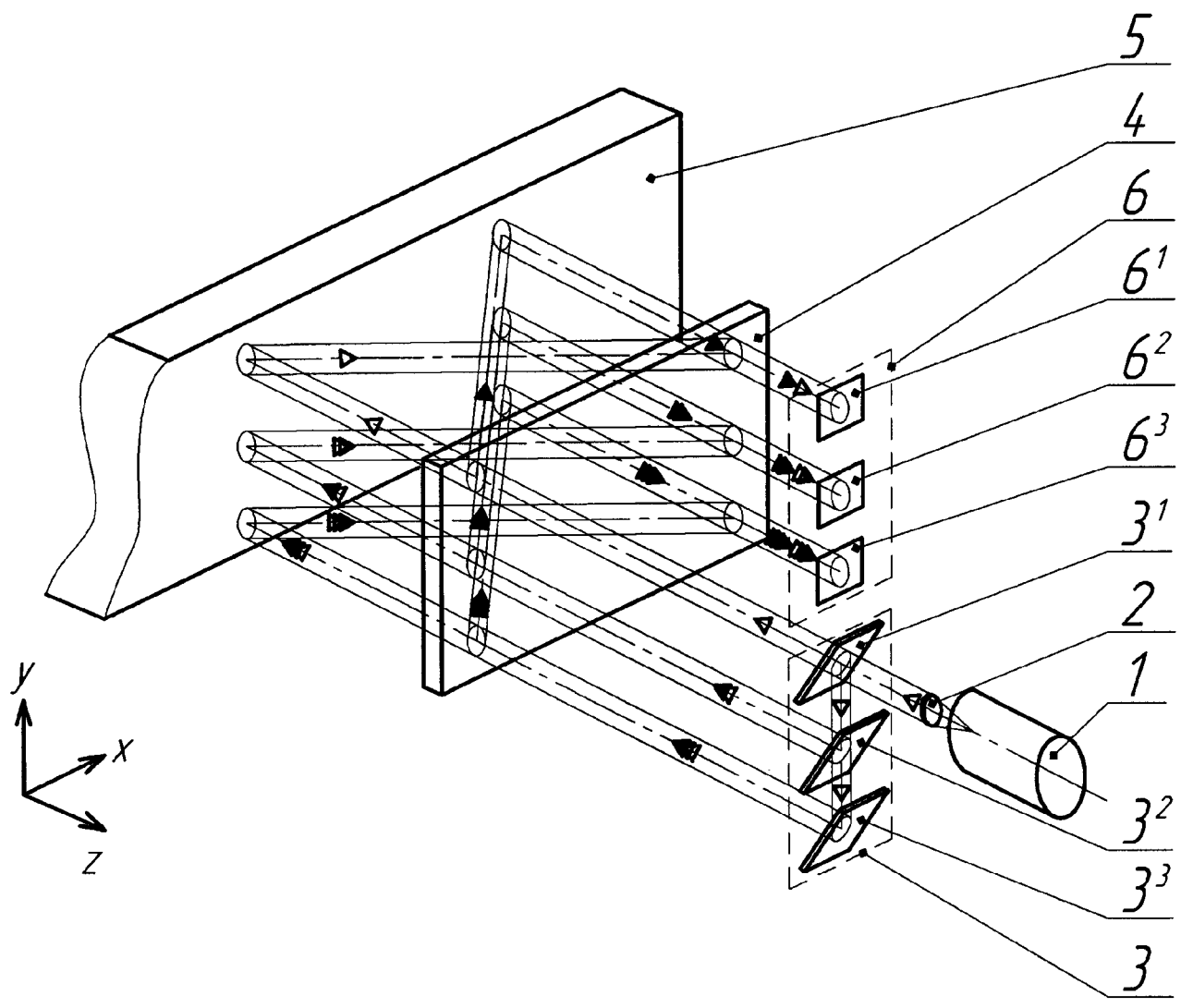
(57) Реферат:

Оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений включает в себя источники когерентного оптического излучения, коллимирующую систему, пропускающую дифракционную решетку, блок приемников, регистрирующие дифрагировавшие оптические пучки. Также устройство содержит блок зеркал,

который делит сколлимированное излучение на несколько пучков по количеству зеркал в блоке. Количество зеркал равно количеству приемников излучения, каждое зеркало имеет возможность независимого изменения углового положения, за счет которого вносится фазовый сдвиг. Технический результат заключается в повышении точности датчика. 6 ил.

RU 175968 U1

RU 175968 U1



Фиг.4

## Область техники

Полезная модель относится к области прецизионных датчиков линейных перемещений с использованием оптических средств измерения посредством контроля параметров пучков световых лучей, дифрагирующих на различных комбинациях дифракционных решеток, работающих по интерференционному принципу (попарная интерференция дифрагировавших пучков между собой), и окончательно детектируемых фотоэлементами (фотоприемниками).

## Уровень техники

Известен датчик фирмы Heidenhain (ФРГ), работающий по интерференционному принципу. Принцип действия и оптическая схема данного датчика (см. фиг. 1) описан в патенте США US 4,776,701 DISPLACEMENT MEASURING APPARATUS AND METHOD (МПК G01B 11/00; G01D 5/38; (IPC1-7): G01B 9/02, опубл. 1988-10-11) и может быть взят в качестве одного из аналогов предлагаемой полезной модели. У этого патента был также другой патентный аналог - патент СССР SU 1560068 (МПК G01B 11/00; опубл. 23.04.1990) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ. Задача изобретения этого устройства заключалась в повышении разрешающей способности за счет использования дифракционных решеток с шагом 40 мкм. При освещении решеток, одна из которых прозрачная (пропускающая), скрепляется с объектом и выполнена с зубчатым профилем, а другая - отражательная и скрепляется с другим объектом, формируется интерференционная картина, регистрируемая с помощью детекторов, расположенных соответственно в зоне формирования нулевого, положительного и отрицательного первых порядков дифракционного изображения. По электрическим сигналам с детекторов судят о направлении и величине перемещения. Иначе говоря, данный датчик содержит перемещающуюся отражающую решетку и неподвижный узел оптической головки, состоящий из источника излучения, оптической системы, пропускающей решетки и четырех приемников (детекторов) излучения. Таким образом данная система является многоканальной - с 2 осевыми и 2 наклонными каналами.

Недостатком данной оптической схемы датчика являются увеличенные габариты узла оптической головки по длине (вдоль длинной стороны отражающей решетки). Это приводит к тому, что при смещении отражающей решетки таким образом, что производится измерение перемещения на краю отражающей решетки, половина узла оптической головки выступает за пределы отражающей решетки длиной  $L$  (см. фиг. 2, примечания по обозначениям фиг. 2: \*Для измерения одинаковых перемещений в датчике-аналоге требуется длина перемещающейся отражающей решетки  $4$  на  $\Delta L$  больше, чем в предлагаемой оптической схеме датчика; \*\*Оптическая головка в датчике-аналоге имеет размер на  $\Delta L$  больше, чем в предлагаемой оптической схеме датчика). Это может усложнить использование датчика на некоторых типах объектов (например, в станках), поскольку требует наличия свободного пространства (по длине) вокруг перемещающейся отражающей решетки. Еще один недостаток - для измерения перемещений величиной  $L$  необходимо делать отражающую решетку длиннее, поскольку требуется ее симметричная подсветка относительно оси оптической головки (фиг. 1, 2).

Этот же недостаток увеличенных габаритов также присущ и ряду других оптических схем датчиков линейных перемещений, запатентованных в нескольких других патентах США.

Патент US 5,430,546 OPTICAL DEVICE FOR MEASURING RELATIVE POSITION OF OR ANGLE BETWEEN TWO OBJECTS (МПК G01B 11/00; G01B 11/26; G01D 5/38; (IPC1-7): G01D 9/02, опубл. 1995-07-04) - данная система многоканальная, но, как и

большинство устройств подобного типа использует несколько дифракционных направлений, что приводит к значительным габаритам устройства.

Патент US 5,120,132 POSITION MEASURING APPARATUS UTILIZING TWO-BEAM INTERFERENCES TO CREATE PHASE DISPLACED SIGNALS (МПК: G01D 5/38; (IPC1-7): G01B 9/02, опубл. 1992-06-09) - многоканальная система. Основным ее недостатком - использованием для получения пучков дополнительных массивных оптических компонентов - призм, что приводит к значительным габаритам конструкции.

Наиболее близким аналогом (прототипом) предлагаемой оптической схемы ультрапрецизионного топографического датчика линейных перемещений можно признать схему датчика по патенту США US 005569913A (B2) OPTICAL DISPLACEMENT SENSOR (МПК: H01J 3/14, опубл. 1996-10-29) (см. фиг. 3). Оптическая схема данного датчика линейных перемещений высокой точности содержит неперемещаемый узел оптической головки, состоящей из источника когерентного оптического излучения (лазера) (1), коллимирующей системы (объектива) (2), пропускающей дифракционной решетки (G1) и составной компонент (как многосекционный фазовый элемент в виде единого оптического элемента с несколькими (четырьмя) зонами, изготовленными встык друг с другом с возможностью внесения этими зонами фазовых сдвигов в дифрагирующие оптические пучки и пропускающего излучение, отраженное от перемещаемой отражающей решетки) в виде четырех вторичных дифракционных решеток (G3a, G3b, G3c, G3d) и четырех приемников (фотоприемников) излучения (PD1, PD2, PD3, PD4), а также перемещаемой отражающей решетки (G2). При этом период всех решеток является постоянным и единым, но четыре вторичные дифракционные решетки (G3a, G3b, G3c, G3d) смещены относительно друг друга на  $\frac{1}{4}$  периода по нарастающей, то есть  $\frac{1}{4} T$ ,  $\frac{1}{2} T$  и  $\frac{3}{4} T$ . Таким образом данная система является четырехканальной. Данные каналы являются осевыми (то есть направления излучения, падающего на приемники излучения (G3a, G3b, G3c, G3d) параллельны направлению излучения, сформированного после коллимирующей системы (объектива) (2). Принцип работы данной оптической схемы датчика заключается в том, что определение координаты происходит за счет получения и логической обработки оптических сигналов, продифрагировавших несколько раз на решетках и попарно проинтерферировавших друг с другом, на четырех приемниках излучения (PD1...PD4). На каждом из приемников сигнал формируется за счет интерференции двух пучков (интерференционный способ оценки перемещения) несколько раз продифрагировавших сигналов. Синусоидальное изменение интенсивности сигналов (при равномерном перемещении) на каждом из приемников происходит при перемещении отражающей решетки (G2) относительно пропускающей дифракционной решетки (G1). В данной схеме минимизированы габариты неперемещаемого узла оптической головки (она состоит из источника излучения (1), коллимирующей системы (объектив) (2), пропускающей дифракционной решетки (G1), четырех вторичных дифракционных решеток (G3a, G3b, G3c, G3d) и четырех приемников излучения (PD1, PD2, PD3, PD4).

Однако, существенным недостатком данной реализации является то, что составной элемент в виде четырех вторичных дифракционных решеток (G3a, G3b, G3c, G3d) сложен в изготовлении, поскольку необходимая точность смещения вторичных дифракционных решеток относительно друг друга (при их изготовлении) для определения перемещения с точностью порядка 1 нм должна составлять порядка долей нанометра. Это может быть достигнуто только при литографическом его получении (но с ограничениями) или использовании сложных оптических схем.

Также общим недостатком всех вышеприведенных схем реализаций датчиков является то, что фазовые соотношения, вводимые в интерферирующие пучки (за счет измерения интенсивности которых и определяется перемещение), осуществляются при помощи оптических компонентов с неизменными во времени параметрами. Это не позволяет использовать в датчиках сменные дифракционные решетки, а также не позволяет динамически (во времени) изменять фазовые соотношения, вводимые в интерферирующие пучки, при работе датчика.

#### Раскрытие полезной модели

Применение оптического компонента, меняющего фазовые соотношения в пучках во время работы датчика, позволяет увеличить точность определения положения (при идентичной степени дискретизации сигнала), поскольку позволяет получать в реальном времени максимальное (или соответственно большое) приращение сигнала (изменения интенсивности пучка на приемнике) при минимальном (или соответственно малом) изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

Достижимый технический результат полезной модели заключается в повышении точности датчика за счет применения в оптической схеме прототипа в качестве замены единого оптического элемента с несколькими зонами, изготовленными встык друг с другом с возможностью внесения этими зонами фазовых сдвигов в дифрагирующие оптические пучки и пропускающего излучение, отраженное от перемещаемой отражающей решетки, дополнительного блока зеркал (или микрозеркал), установленного после коллимирующей системы и включающего в себя набор зеркал, который позволяет получить набор оптических сигналов, сдвинутых по фазе относительно друг друга (за счет независимого управляемого поворота каждого из зеркал) и распространяющихся в одном направлении. За счет этих управляемых поворотов вносится фазовый сдвиг в оптические пучки, позволяющий далее изменять фазовые соотношения принимаемых оптических пучков на приемниках указанного блока приемников; с возможностью получения на одном из приемников указанного блока приемников большого приращения интенсивности регистрируемого пучка при малом перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки.

Результат достигается тем, что оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений содержит неперемещаемый узел оптической головки, состоящий из источника когерентного оптического излучения (лазера), коллимирующей системы (объектива), пропускающей дифракционную решетку, пропускающей излучение в направлении перемещаемой отражающей дифракционной решетки, которая не входит в состав оптической головки, и блока приемников регистрируемых дифрагировавших оптических пучков. Период всех дифракционных решеток является постоянным и единым. При этом схема дополнительно содержит блок зеркал, установленный после коллимирующей системы и позволяющий разделить сколлимированное излучение на несколько пучков по количеству зеркал в блоке, распространяющихся далее параллельно друг другу и имеющих одинаковую интенсивность. Количество зеркал равно количеству приемников излучения или зон в многосекционном приемнике, каждое зеркало имеет возможность независимого управляемого изменения своего углового положения, за счет которого вносится фазовый сдвиг в указанные пучки, позволяющий далее изменять фазовые соотношения принимаемых оптических сигналов на указанных приемниках. С перемещением указанной перемещаемой отражающей дифракционной решетки связано управление угловыми положениями зеркал и связанных с этим фазовых сдвигов пучков для получения как минимум на одном из указанных приемников большого приращения

сигнала интенсивности регистрируемого пучка при малом перемещении указанной перемещаемой отражающей дифракционной решетки.

В предлагаемой оптической схеме датчика (фиг. 4) используется одно итоговое направление, в котором совмещены несколько каналов. То есть, все приемники 6 (или  
5 многосекционный приемник) в предлагаемой схеме расположены в одном дифракционном порядке решетки 4. Повороты зеркал в блоке зеркал вносят фазовые задержки  $\alpha(1) \dots \alpha(n)$  в световые пучки, дифрагировавшие на пропускающей дифракционной решетке и перемещаемой отражающей дифракционной решетке и попарно интерферирующие с получением итоговых сигналов на приемниках излучения.

10 Основное преимущество предлагаемой оптической схемы датчика по сравнению с аналогами и прототипом состоит в увеличении определения точности положения перемещаемой отражающей дифракционной решетки за счет использования в датчике блока зеркал, в котором каждое из зеркал имеет независимое управление изменения его положение - поворота. При повороте каждого из зеркал меняются фазовые  
15 соотношения в соответствующих дифрагирующих и затем попарно интерферирующих пучках. Данные фазовые соотношения изменяются за счет того, что оптические пути для данных пучков изменяются. Увеличение точности определения положения (при идентичной степени дискретизации сигнала), достигается за счет того, что динамическое изменение фазовых соотношений в интерферирующих пучках (которые достигаются  
20 за счет независимого поворота каждого из зеркал) позволяет получать (как минимум на одном из приемников блока приемников или в конкретной зоне многосекционного приемника) в реальном времени максимальное приращение сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

25 Использование блока зеркал в исходном пучке (пучке, вышедшем из лазера и сколлимированном объективом) позволяет сохранить минимальные габариты схемы вдоль смещения перемещаемой отражающей дифракционной решетки, предложенные в прототипе.

30 Дифракционные решетки 4 и 5 (фиг. 4) лучше всего могут быть выполнены по голографической технологии за счет регистрации интерференционного поля, создаваемого в зоне пересечения двух пучков излучения с плоскими волновыми фронтами. То есть данные решетки являются топографическими по методу их получения.

Перечень фигур

35 Фиг. 1 - оптическая схема аналога голографического датчика линейных перемещений фирмы Heidenhain (ФРГ);

Фиг. 2 - оптическая схема датчика прототипа, поясняющая принцип работы;

Фиг. 3-оптическая схема прототипа датчика линейных перемещений;

Фиг. 4 - предлагаемая оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений;

40 Фиг. 5 - иллюстрация гальванометрического сканатора, поясняющая устройство, позволяющее изменять положение отдельного зеркала в блоке зеркал за счет его поворота;

Фиг. 6 - примерная схема изменения сигналов на приемниках при работе датчика (при перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки).

45 Осуществление полезной модели

На фиг. 4 предлагаемой оптической схемы обозначены следующие общие элементы: 1 - источник когерентного излучения (например, полупроводниковый лазер); 2 - коллимирующая оптическая система (объектив); блок зеркал 3, пропускающая

дифракционная решетка 4, перемещаемая отражающая дифракционная решетка 5, 6 - набор приемников, расположенных в стык друг к другу, или единый составной приемник сигналов. Блок зеркал 3 позволяет разделить излучение, выходящее из лазера 1 и сколлимированное объективом 2, на несколько пучков, распространяющихся параллельно друг другу и имеющих одинаковую интенсивность. Далее эти пучки излучения дифрагируют на пропускающей дифракционной решетке 4 и на перемещаемой отражающей дифракционной решетке 5 и попарно интерферируют.

Проинтерферировавшие пучки попадают на блок приемников излучения 6 (или многосекционный приемник). Все приемники в предлагаемой схеме расположены в одном дифракционном порядке пропускающей решетки 4 - в едином направлении (канале). При такой реализации датчик является многоканальным, но итоговое излучение всех каналов распространяется при падении на блок приемников 5 в одном направлении (как в одном канале). Отдельные зеркала блока зеркал при повороте вносят в фазовые задержки в соответствующих интерферирующих пучках  $\alpha(1) \dots \alpha(n)$ . Это происходит вследствие того, что оптический путь в направлениях дифрагировавших (а затем попарно интерферирующих) пучков различен при изменении направления падения излучения на пропускающую дифракционную решетку. При начальной настройке датчика при реализации блока зеркал в виде трех зеркал, стартовые фазовые задержки могут быть установлены как  $0, \pi/2, \pi$  (с учетом параметров дифракционных решеток 4 и 5). Также стартовые фазовые задержки, вносимые поворотом соответствующих зеркал, могут корректироваться исходя из максимизации разности между сигналами, получаемыми на приемниках блока приемников 6. При начале работы датчика в зависимости от скорости изменения сигналов производится изменение фазовых задержек за счет поворота соответствующих зеркал с целью получения как минимум на одном приемнике блока приемников 6 максимального приращения сигнала при минимальном перемещении отражающей решетки 4.

При юстировке датчика за счет поворота зеркал (3) создается требуемая начальная разность фаз в интерферирующих пучках. При этом значительная разность фаз (порядка нескольких десятков градусов) может быть внесена в сигналы за счет поворота зеркал как вокруг оси  $y$ , так и вокруг оси  $x$  на крайне малые углы (порядка долей угловых минут). В процессе работы датчика (при перемещении перемещаемой отражающей дифракционной решетки) в зависимости от скорости изменения сигналов на приемниках (которые зависят от скорости перемещения перемещаемой отражающей дифракционной решетки 5) производится изменение фазовых задержек на приемниках за счет поворота соответствующих зеркал (в блоке зеркал 6) с целью получения как минимум на одном приемнике максимального приращения сигнала при минимальном перемещении отражающей решетки 5. В этом случае достигается увеличение определения точности положения перемещаемой отражающей дифракционной решетки 5 при идентичных геометрических параметрах датчика (например, его размерах) и идентичных параметрах его составных частей (например, периодов дифракционных решеток). При всех поворотах зеркал в блоке зеркал 3 пучки излучения не должны выходить за соответствующие приемники излучения блока приемников излучения 6 (или за соответствующие секции многосекционного приемника).

Блок зеркал может быть выполнен в виде набора зеркал, закрепленных на валах отдельных гальванометрических сканаторов (фиг. 5). При этом каждое из зеркал блока зеркал управляется независимо.

Более подробно схему изменения разности фаз для изменения сигналов на соответствующих приемниках для получения как минимум на одном из них

максимального приращения сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки) поясним на примере блока зеркал с двумя зеркалами ( $Z_1$  и  $Z_2$ ) и двумя приемниками ( $b_1$  и  $b_2$ ). Изначальные фазовые соотношения в пучках выставлены таким образом, чтобы сигналы на приемниках  $b_1$  и  $b_2$  имели вид, представленный на фиг. 6 (шаг 1).

При этом при первом измерении перемещения отражающей решетки (получении первого отсчета измерения) на первом приемнике  $b_1$  как раз и будет измеряться максимальное приращение сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки). На втором приемнике  $b_2$  сигнал должен отличаться от сигнала на приемнике  $b_1$ , поскольку по их взаимному изменению определяется направление движения отражающей решетки.

При втором измерении перемещения отражающей решетки (получении второго отсчета измерения) зеркало  $Z_2$  за счет своего поворота изменяет соотношения оптических путей в интерферирующих пучках и вносит задержку по фазе таким образом, чтобы сигнал на приемнике  $b_2$  принял вид, представленный на фиг. 6 (шаг 2). При этом для сигнала на приемнике  $b_2$  будет выполняться условие максимального приращения сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

При третьем измерении перемещения отражающей решетки (получении третьего отсчета измерения) зеркало  $Z_1$  вносит задержку по фазе таким образом, чтобы сигнал на приемнике  $b_1$  принял вид, представленный на фиг. 6 (шаг 3). При этом для сигнала на приемнике  $b_1$  будет выполняться условие максимального приращения сигнала (изменения интенсивности на приемнике) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

Далее идет последовательное изменение фазовых задержек за счет поворота зеркал  $Z_1$ , и  $Z_2$  для получения на соответствующих приемниках  $b_1$  и  $b_2$  сигналов, для которых попеременно бы выполнялось условие максимального приращения сигнала при измерении соответствующего шага (получение очередного отсчета измерения) при минимальном изменении контролируемого параметра (перемещения отражающей решетки).

Поскольку скорость перемещения отражающей решетки может быть значительной, то частота изменения фазовых соотношений, вносимых поворачивающимися зеркалами  $Z$  также будет высокой. В настоящее время чтобы снизить требования к частоте вращения поворота имеет смысл использовать блок зеркал с количеством зеркал больше, чем 2. Тогда частота поворота зеркал будет уменьшаться кратно количеству используемых в фазовом модуляторе зон. При этом определении итогового перемещения отражающей решетки происходит за счет суммирования отсчетов. Данные отсчеты получаются после оцифровки аналогового сигнала. Для упрощения схемы оцифровки сигналов и суммирования отсчетов необходимо использование дополнительных зеркал в блоке зеркал. При этом одно из зеркал за счет своего поворота должно обеспечивать получение фазовая задержка в сигнале на соответствующем приемнике с добавкой фазы  $\pi/2$  к фазе на приемнике, обеспечивающем изменение с максимальным приращением сигнала при минимальном изменении контролируемого параметра. При



подобной реализации вычисление перемещения происходит по стандартной  $\sin - \cos$  модели.

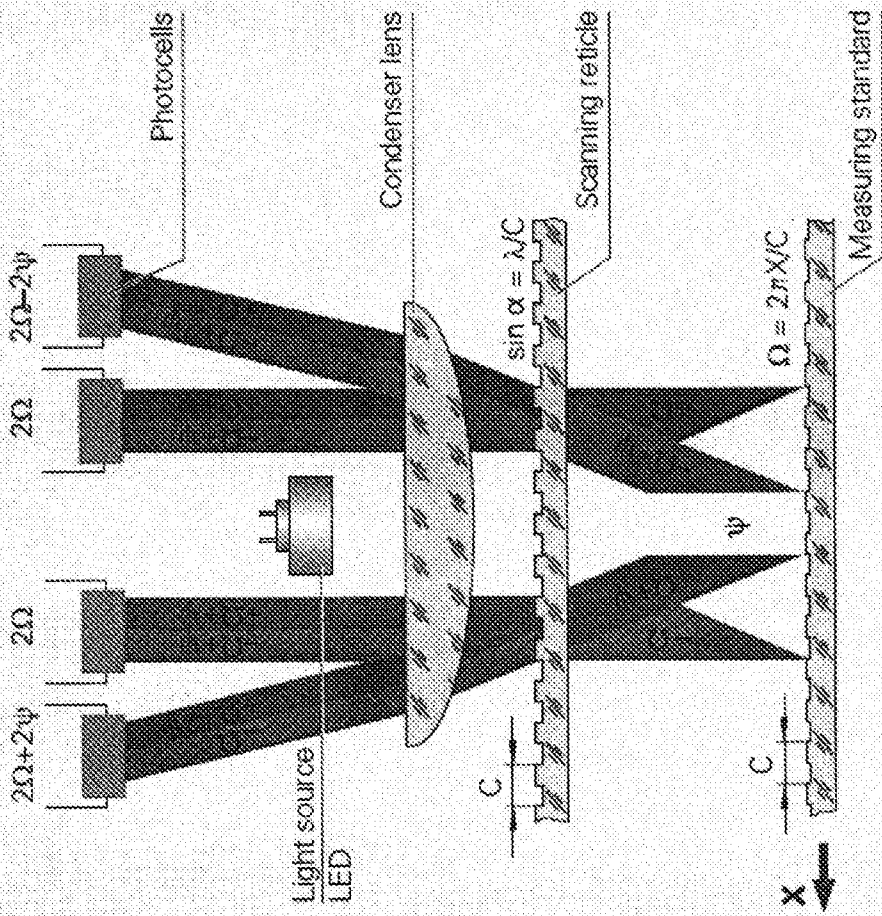
#### Пример осуществления

Данная полезная модель разработана в рамках выполнения темы «Исследование и разработка экспериментального образца ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений» по соглашению от «27» октября 2015 г. №14.577.21.0197 МГТУ им. Н.Э. Баумана с Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Спроектирован опытный образец предлагаемой оптической схемы линейного датчика высокой точности. Период всех решеток  $T=1$  мкм. В схеме использовался вариант с 3 зеркалами в блоке зеркал и 3 приемниками излучения. Каждое из зеркал закреплено на валу независимого малоразмерного гальванометрического сканатора. В ходе работы датчика обрабатывалось измерение положения перемещающейся отражающей решетки до скоростей 200 мм/мин.

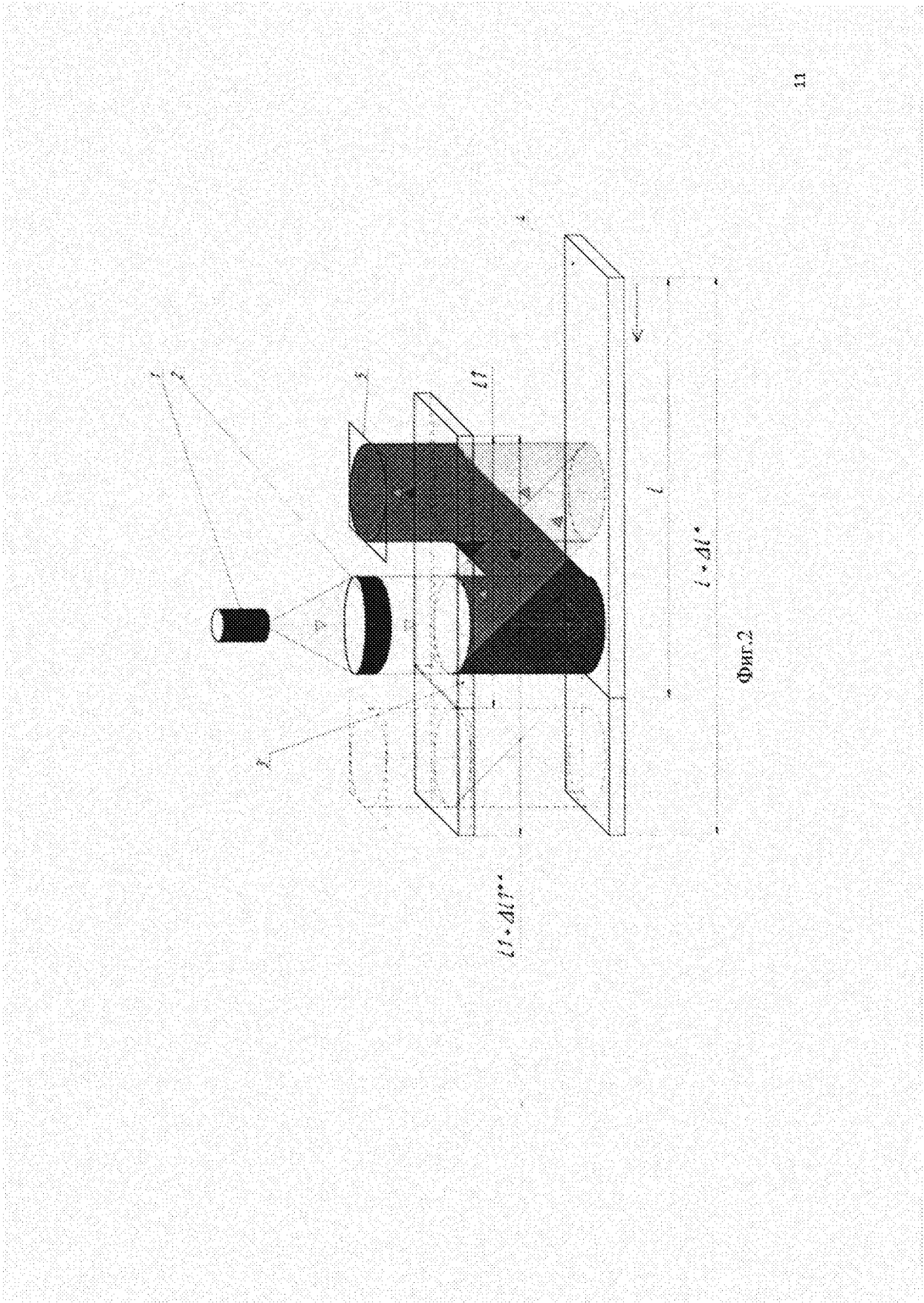
Ориентировочные габариты узла оптической головки с лазером 1, объективом 2, блоком зеркал 3, решеткой 4 и блоком приемников 6 могут быть, например,  $30 \times 70 \times 100$  мм (без учета размеров гальванометрических сканаторов). При этом точность датчика при измерении линейных перемещений выше, чем и у аналогичных датчиков с идентичными параметрами и использующих статические компоненты изменения фазовых задержек (фазовые маски; составные дифракционные решетки, смещенные относительно друг друга), а именно: погрешность измерений перемещения составляет 0,5 нм (такая точность соответствует понятию «ультрапрецизионность» датчика) при перемещении отражающей решетки на 1 мкм (при смещении на один период решетки, равный 1 мкм, имеем два периода изменения измерительного сигнала).

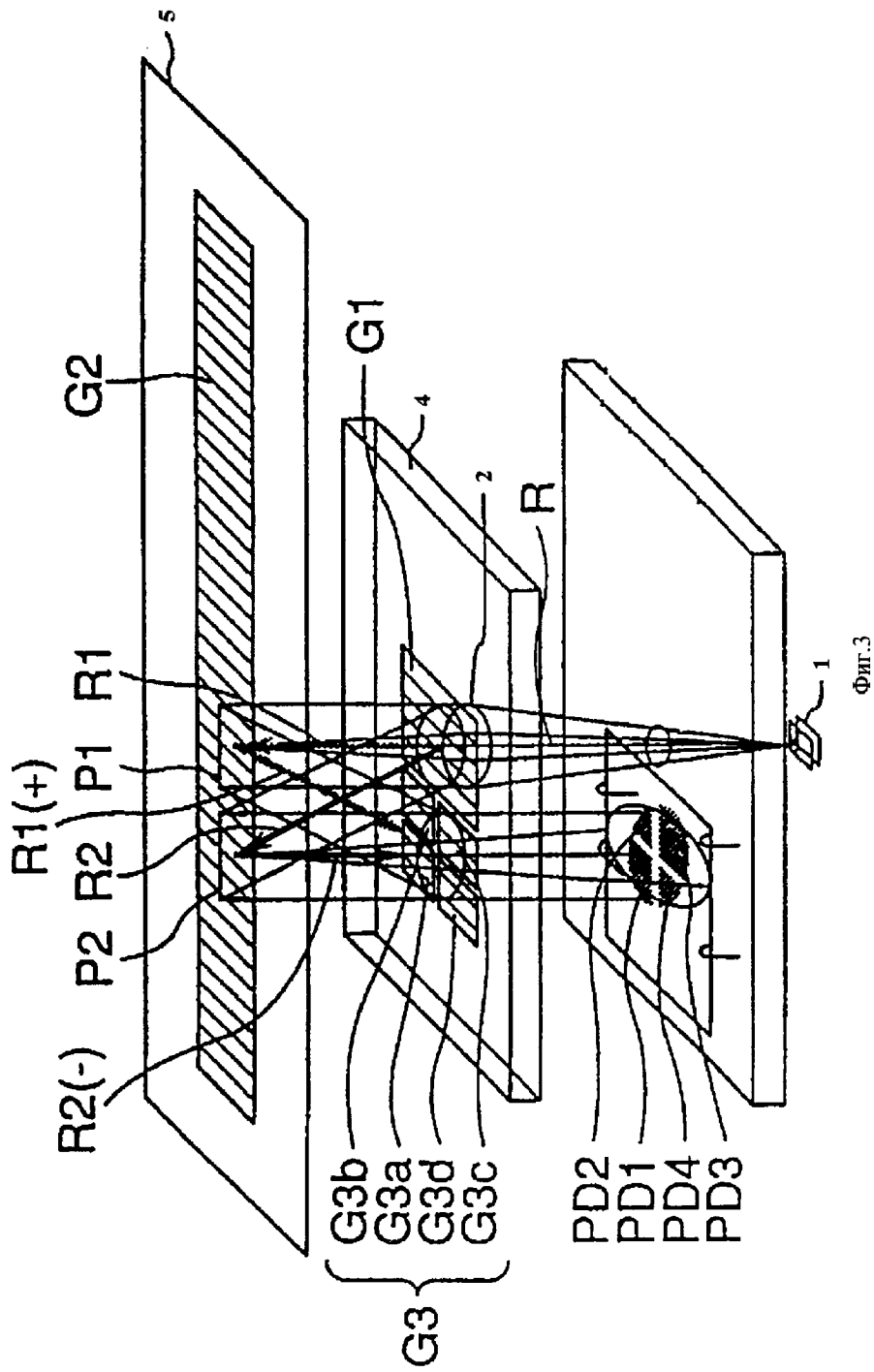
#### (57) Формула полезной модели

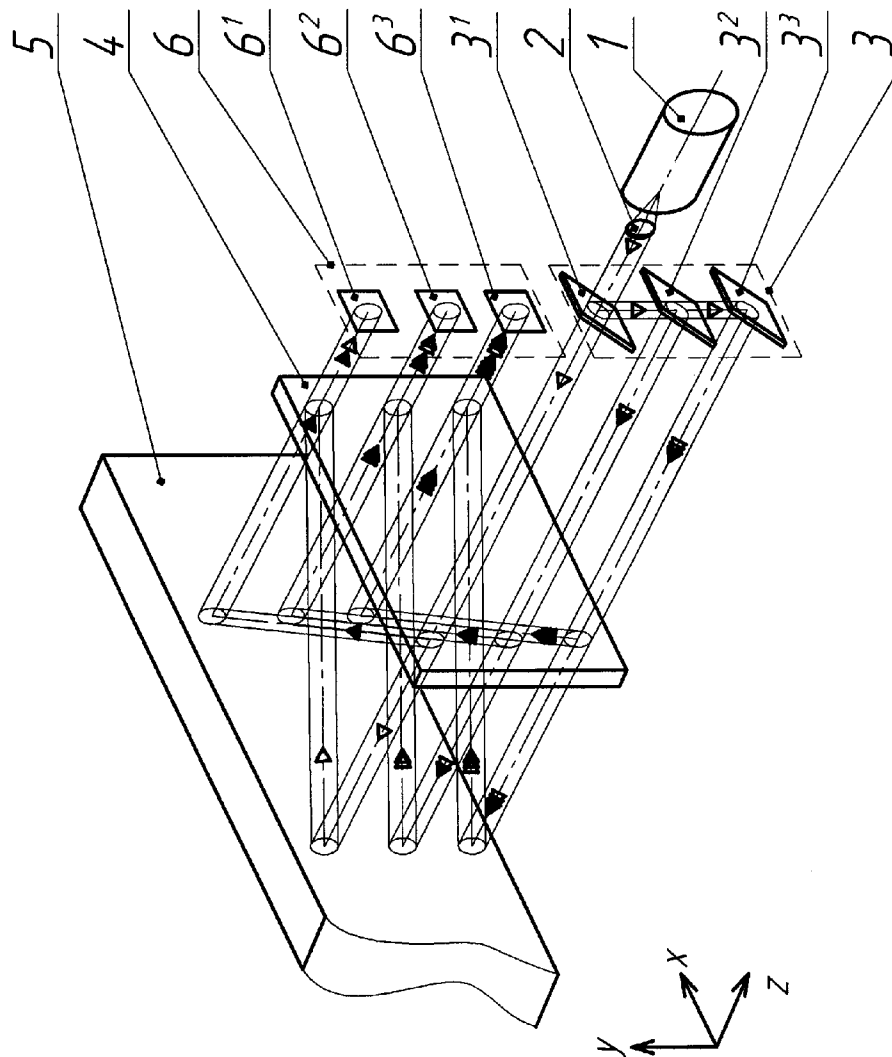
Оптическая схема ультрапрецизионного голографического датчика линейных перемещений в виде оптической головки, состоящей из источника когерентного оптического излучения, коллимирующей системы, пропускающей дифракционной решетки, пропускающей излучение в направлении перемещаемой отражающей дифракционной решетки, и блока приемников регистрируемых дифрагировавших оптических пучков, при этом период дифракционных решеток является постоянным и единым, отличающаяся тем, что дополнительно содержит блок зеркал, установленный после коллимирующей системы и позволяющий разделить сколлимированное излучение на несколько пучков по количеству зеркал в блоке, распространяющихся далее параллельно друг другу и имеющих одинаковую интенсивность, при этом количество зеркал равно количеству приемников излучения, каждое зеркало имеет возможность независимого управляемого изменения своего углового положения, за счет которого вносится фазовый сдвиг в указанные пучки, позволяющий далее изменять фазовые соотношения принимаемых оптических сигналов на указанных приемниках.



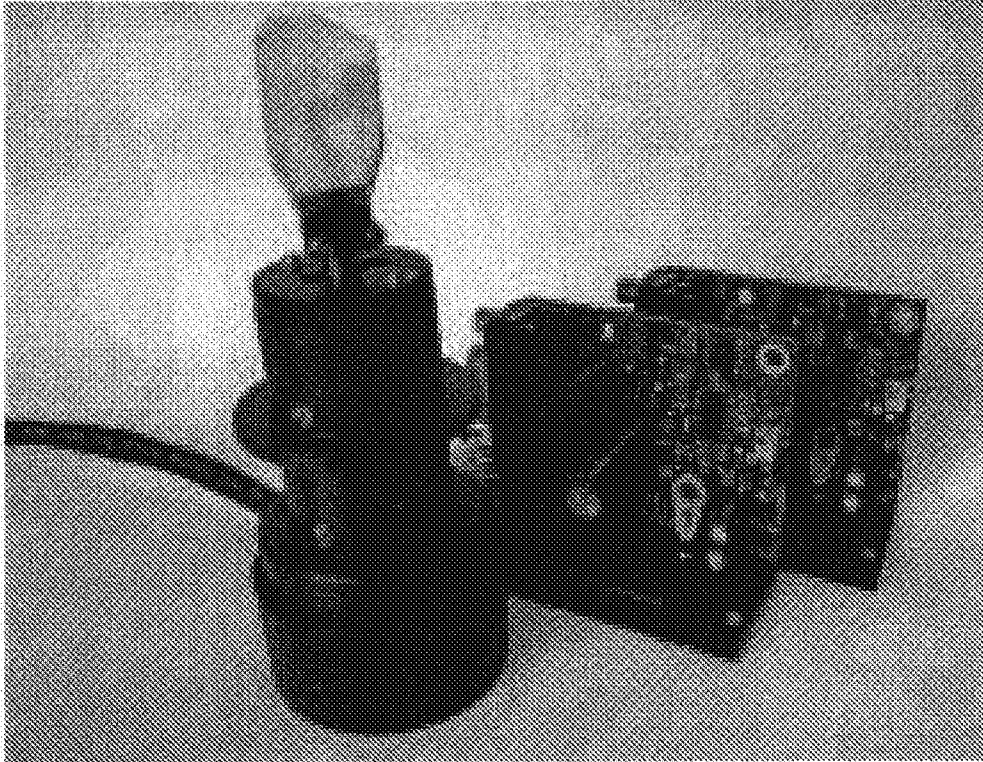
Фиг. 1



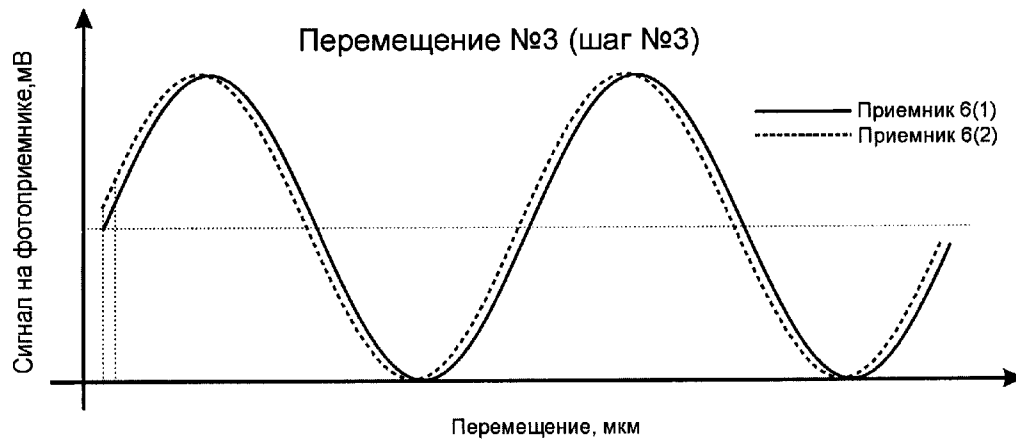
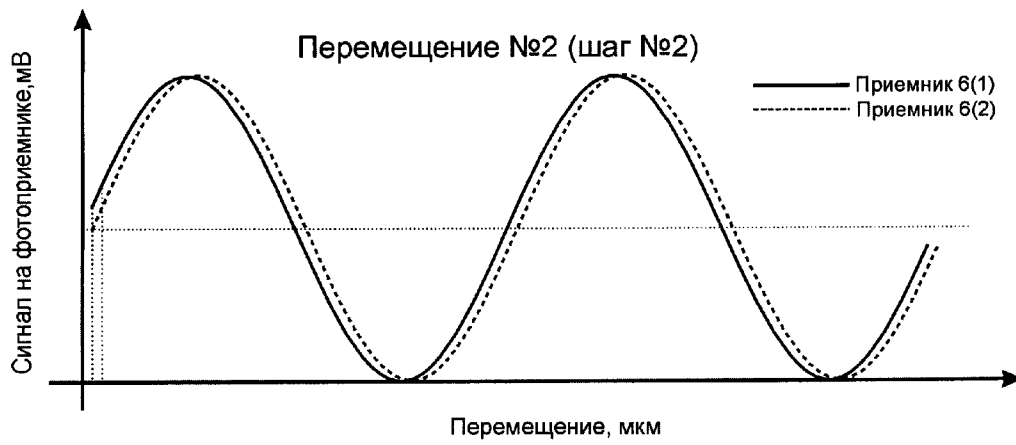
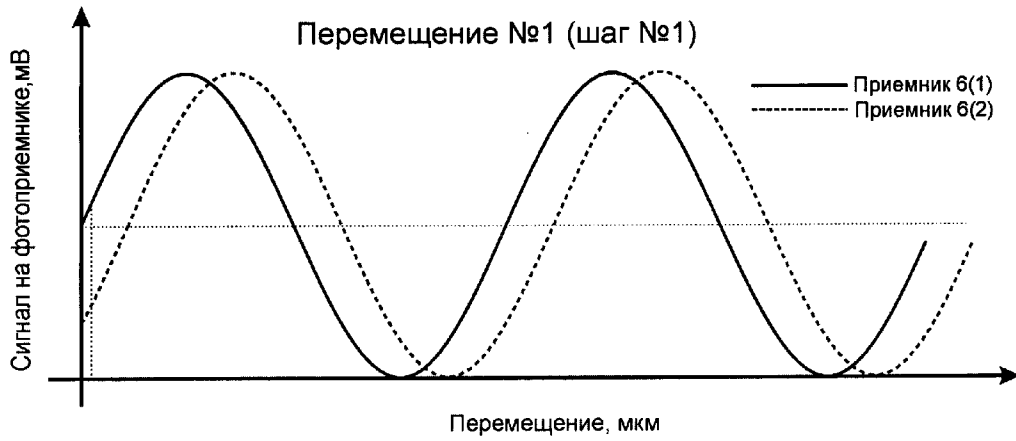




Фиг.4



Фиг. 5



Фиг.6