



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 21/55 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017146788, 28.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.12.2017

Дата регистрации:
04.09.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.12.2017

(45) Опубликовано: 04.09.2018 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для
Савостиковой Е.С. (МФ МГТУ)

(72) Автор(ы):

Кузнецова Вера Ивановна (RU),
Поярков Николай Геннадьевич (RU),
Бартенева Виктория Борисовна (RU),
Усынин Сергей Алефтинович (RU),
Белоусов Владимир Владимирович (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 125728 U1, 10.03.2013. RU
2515339 C2, 10.05.2014. RU 78947 U1,
10.12.2008. WO 2009125728 A1, 15.10.2009.

(54) ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК

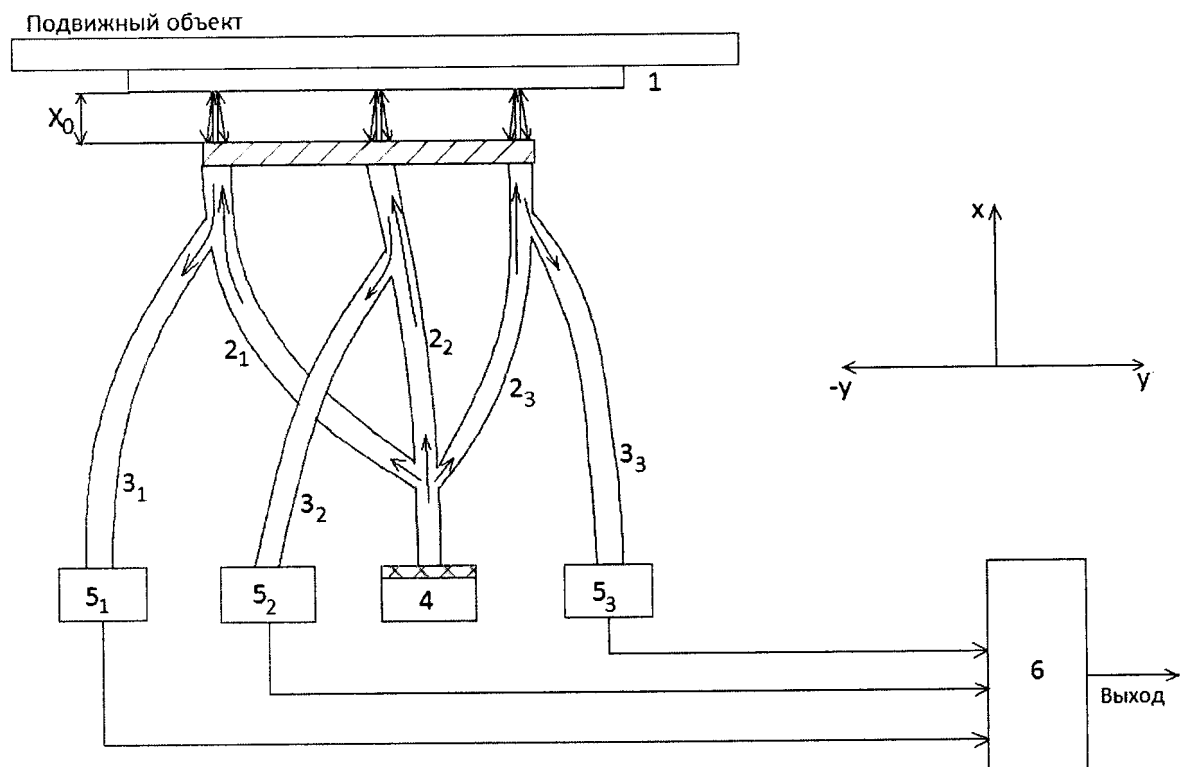
(57) Реферат:

Полезная модель относится к контрольно-измерительной технике и может быть использована в волоконно-оптических измерительных системах для бесконтактных измерений различных физических величин, например давления, температуры, линейных перемещений и др. Волоконно-оптический датчик линейных перемещений с использованием отражающего элемента выполнен в виде прямоугольной пластинки из отражающего свет материала и жгута подводящих волоконно-оптических световодов, разделенных на три канала 2₁, 2₂, 2₃. При этом один из каналов - центральный 2₂, является опорным, а два других 2₁ и 2₃ - измерительными. Каждый их каналов снабжен жгутом отводящих волоконно-оптических световодов 3₁, 3₂, 3₃, входные торцы которых сопряжены с выходными торцами

подводящих волоконно-оптических световодов 2₁, 2₂, 2₃. Входные торцы подводящих волоконно-оптических световодов подведены к источнику оптического излучения. Выходные торцы отводящих волоконно-оптических световодов подключены ко входам фотоприемников 5₁, 5₂, 5₃. Сигналы с фотоприемников подключены к соответствующим входам электронного блока обработки сигналов, выход которого является выходом волоконно-оптического датчика линейных перемещений. Трехканальное устройство однозначно определяет поведение функции преобразования датчика и обеспечивает ее надежное прогнозирование. Размещение отражающего элемента в зоне измерений на заданном расстоянии X₀ от выходных торцов подводящих волоконно-оптических световодов и входных торцов отводящих волоконно-оптических световодов (где достигается минимум

энергетических потерь) повышает глубину модуляции выходного сигнала, чувствительность датчика, точность измерений и расширяет

диапазон входных воздействий (перемещений). Технический результат – повышение точности измерений. 4 ил.



Фиг. 1

Предложенное техническое решение относится к контрольно-измерительной технике и может быть использовано в волоконно-оптических измерительных системах для бесконтактных измерений различных физических величин, например, давления, температуры, линейных перемещений и др.

5 Наиболее близким техническим решением является волоконно-оптический датчик перемещений, содержащий источник оптического излучения, выход которого подключен ко входу подводящего волоконно-оптического световода, первый и второй отводящие волоконно-оптические световоды, выходы которых подключены ко входам соответственно первого и второго фотоприемников, отражающий элемент, 10 прикрепленный к перемещающемуся объекту, на который направлены входы первого и второго волоконных световодов оптической связи, оптический разветвитель, электронный блок обработки сигналов, причем отражающий элемент выполнен в виде двух примыкающих друг к другу прямоугольных полос, каждая из которых разделена на отражающую и неотражающую области (см. патент РФ №2489679 от 03.04.2012 г.).

15 К недостаткам аналога следует отнести следующее:

- при отражении света от отражающего элемента на торцы первого и второго волоконных световодов оптической связи теряется половина мощности излучения источника излучения в силу того, что отражающий элемент выполнен в виде двух примыкающих друг к другу прямоугольных полос, каждая из которых разделена на 20 отражающую и неотражающую области, что снижает чувствительность датчика и глубину модуляции выходного сигнала;

- мощность отраженного от отражающего элемента излучения, направляемая по отводящим оптическим световодам к приемникам излучения, зависит от изменения взаимного расстояния между отражающим элементом и входными торцами волокна 25 оптической связи, что приводит к изменению площади проекции торца каждого из подводящих волоконно-оптических световодов на плоскость отражающего элемента и снижению точности измерений;

- датчик содержит три разветвителя, каждый из которых вносит дополнительные потери и снижает его эксплуатационные характеристики.

30 Цель настоящего технического решения заключается в повышении точности измерений. Решение поставленной задачи обеспечивается тем, что в волоконно-оптическом датчике линейных перемещений, содержащем источник оптического излучения, выход которого 1 подключен ко входу подводящего волоконно-оптического световода, отводящие волоконно-оптические световоды, выходы которых подключены 35 ко входам соответствующих фотоприемников, отражающий элемент, прикрепленный к перемещающемуся объекту, электронный блок обработки сигналов, ко входу которого подведены выходы фотоприемников, к выходу источника оптического излучения входными торцами подведен жгут подводящих волоконно-оптических световодов, разделенных на три канала, из которых один - центральный является опорным, а два 40 других - измерительными, при этом отводящие волоконно-оптические световоды, сопряженные в каждом канале с подводящими волоконно-оптическими световодами, выходными торцами подключены ко входам соответствующих фотоприемников, а выходные торцы подводящих волоконно-оптических световодов и входные торцы отводящих волоконно-оптических световодов в каждом канале, обращенные к 45 отражающему элементу, выполненному в виде прямоугольной пластинки из отражающего свет материала, находятся в соотношении 3:4 и отстоят от отражающего элемента на заданном расстоянии X_0 , при котором обеспечивается максимальная освещенность входных торцов отводящих волоконно-оптических световодов и максимальный ток

фотоприемника.

На фиг. 1 приведена принципиальная схема волоконно-оптического датчика линейных перемещений.

На фиг. 2 представлена функция преобразования датчика, а именно, зависимость фототока от расстояния X между отражающим элементом и входными торцами отводящих волоконно-оптических световодов $J_{\Phi}=f(X)$.

На фиг. 3 показана схема взаимного расположения торцов подводящих волоконно-оптических световодов (ПВОС) и отводящих волоконно-оптических световодов (ОВОС) в зоне измерений в каждом канале, определяющая конструкцию и метрологические характеристики датчика.

На фиг. 4а, б схематично представлена динамика измерительного процесса волоконно-оптического датчика линейных перемещений.

На фиг. 4а показано смещение отражающего элемента при перемещении подвижного объекта относительно выходных торцов ПВОС.

На фиг. 4б приведены функции преобразования датчика для двух измерительных каналов.

Устройство состоит из отражающего элемента 1, выполненного в виде прямоугольной пластинки из отражающего свет материала, ПВОС 2₁, 2₂, 2₃, ОВОС 3₁, 3₂, 3₃, источника оптического излучения 4, фотоприемников 5₁, 5₂, 5₃, электронного блока обработки сигналов 6.

Канал, образованный ПВОС 2₂ и ОВОС 3₂ - центральный, является опорным каналом. Два других канала, образованные ПВОС 2₁ и ОВОС 3₁

и ПВОС 2₃ и ОВОС 3₃ - измерительные каналы. Входы ПВОС 2₁, 2₂, 2₃ подключены к одному источнику излучения 4. Выходы ОВОС 3₁, 3₂, 3₃ подключены к фотоприемникам 5₁, 5₂, 5₃ соответственно. Выходы фотоприемников 5₁, 5₂, 5₃ подключены ко входу электронного блока обработки сигналов 6, выход которого является выходом волоконно-оптического датчика линейных перемещений.

Большое практическое значение имеет обоснованный выбор начального расстояния X_0 между отражающим элементом 1 и входными торцами ОВОС 3₁, 3₂, 3₃.

Оно определяется следующим образом. Поток оптического излучения от источника излучения 4, заключенный в конусе апертуры ПВОС (в каждом канале), падает на отражающий элемент 1. По сути эта освещенная площадка становится источником вторичного светового потока, который освещает входные торцы ОВОС 3₁, 3₂, 3₃.

При этом, если торцы ОВОС 3₁, 3₂, 3₃ контактируют с отражающим элементом 1, $X=0$, то отраженный световой поток на входные торцы ОВОС 3₁, 3₂, 3₃ не попадает. При $X>0$ световой поток от источника излучения 4 освещает большую площадь отражающего элемента 1, отражается от нее и попадает на входные торцы ОВОС 3₁, 3₂, 3₃. С ростом X наблюдается резкий рост принимаемого светового потока $\Phi=\Phi_0 f(X)$ и фототока J_{Φ} с фотоприемников 5₁, 5₂, 5₃.

При этом существует заданное расстояние X_0 между отражающим элементом 1 и входными торцами ОВОС 3₁, 3₂, 3₃, при котором потери минимизируются: мощности отраженного светового потока Φ и фототока J_{Φ} достигают \max , и вблизи X_0 практически не зависят от изменения X . Оно определяется мощностью источника излучения 4, Φ_0 , потерями в оптических световодах и отражающими свойствами отражающего элемента

1. Отсюда следует, что для того, чтобы поведение функции преобразования $\Phi = \Phi_0 f(X)$ было прогнозируемо и позволяло однозначно определять ее значения, отражающий элемент 1 должен быть расположен на заданном расстоянии X_0 от входных торцов ОВОС_{31, 32, 33}, которое определяется на основе математической модели распределения передаваемой мощности излучения в зависимости от X_0 внешнего радиуса «пятна» освещенной зоны входных торцов ОВОС $3_1, 3_2, 3_3$, см. фиг. 2.

Максимальная чувствительность и глубина модуляции выходного сигнала волоконно-оптического датчика линейных перемещений достигаются только при определенном взаимном расположении выходных торцов ПВОС и входных торцов ОВОС в зоне измерений в каждом канале.

Рассмотрение различных возможных вариантов размещения выходных торцов ПВОС и входных торцов ОВОС (1:6, 4:3, 3:4 и др.) показало, что предлагаемое расположение световодов в каждом канале, а именно 3:4, обеспечивает максимальную выходную мощность оптического сигнала, так как только в этом случае каждый из излучающих световодов вносит максимальный вклад в оптическую мощность светового потока на входе фотоприемника, см. фиг. 3, где 1, 2, 3 - выходные торцы ПВОС, 4, 5, 6, 7 - входные торцы ОВОС.

Кроме того, минимизируются потери при сопряжении источника излучения 4 и входных торцов ПВОС_{21, 22, 23}, облегчается настройка по уровню выходного сигнала при угловом рассогласовании диаграммы направленности источника излучения 4 с входными торцами ПВОС_{21, 22, 23}.

Волоконно-оптический датчик линейных перемещений работает следующим образом. Световой поток от источника излучения 4 через входные торцы ПВОС_{21, 22, 23} попадает на отражающий элемент 1. Отраженный свет попадает на входные торцы ОВОС $3_1, 3_2, 3_3$, выходные торцы которых соединены с фотоприемниками $5_1, 5_2, 5_3$ соответственно.

В начале измерений при $Y=0$ с помощью центрального канала (являющегося опорным), образованного ПВОС₂₂ и ОВОС₃₂, осуществляется юстировка датчика по параметру $X = X_0 = \text{const}$.

Выполнение этого условия в процессе измерений исключает дрейф радиуса светового «пятна» R на отражающем элементе 1 и, следовательно, неинформативное изменение отраженного светового потока Φ на входные торцы ОВОС_{31, 32, 33}.

Каналы, образованные ПВОС₂₁ и ОВОС₃₁, а также ПВОС 2_3 и ОВОС 3_3 являются измерительными.

Функция преобразования для каждого измерительного канала имеет вид:

$$\Phi = \Phi_0 K_1 K_2 K(Y),$$

где K_1 - коэффициент передачи при сопряжении источника излучения 4 с входными торцами ПВОС_{21, 22, 23};

K_2 - коэффициент передачи при сопряжении выходных торцов ОВОС $3_1, 3_2, 3_3$ с фотоприемниками $5_1, 5_2, 5_3$;

$K(Y)$ - коэффициент преобразования в зоне измерений: «отводящие торцы ПВОС $2_1, 2_2, 2_3$ - отражающий элемент 1 - входные торцы ОВОС $3_1, 3_2, 3_3$ ».

Коэффициент преобразования $K(Y)$ определяется индивидуально для каждого

управляющего элемента с помощью положений геометрической и волновой оптики с учетом функции распределения светового потока на входных торцах ОВОС 3₁, 3₃.

Применительно к данной схеме:

$$K(Y) = \rho \frac{\Sigma S_{1,3}}{S},$$

где ρ - коэффициент отражения отражающего элемента 1;

$\Sigma S_{1,3}$ - суммарная освещенная площадь входных торцов ОВОС 3₁ и 3₃ соответственно;

S - площадь освещенной зоны входных торцов первого и третьего каналов в зоне измерений.

Таким образом, функция преобразования определяется двумя параметрами $\Sigma S_{1,3}$ и S при этом $\Sigma S_{1,3}$ определяется конструкцией датчика, а S - его оптической системой.

Очевидно, что при заданных значениях исходных данных, основным параметром, определяющим изменение интенсивности светового потока на выходе ОВОС 3₁, 3₃ в процессе измерений, является площадь $\Sigma S_{1,3}$ входных торцов ОВОС 3₁ 3₃, освещенных отраженным от отражающего элемента 1 световым потоком.

В начале измерений, т.е. при отсутствии перемещений $X=X_0$, $Y=0$, (см. фиг. 4) отражающий элемент 1 освещен ПВОС 2₁, 2₂, 2₃. Отраженное излучение в виде «пятен» попадает на входные торцы ОВОС 3₁, 3₂, 3₃. Фототоки $J_{\phi 5_{1,2,3}}$ с фотоприемников 5₁, 5₂, 5₃ достигают своих максимальных значений $J_{\max 1,2,3}$.

Далее (см. фиг. 4а и 4б) по мере перемещений подвижного объекта по оси + Y отражающий элемент 1 смещается, часть светового потока ПВОС 2₁ попадает на неотражающую поверхность подвижного объекта, уменьшается доля отраженного светового потока. Площадь освещенных торцов ОВОС 3₁, сопряженных с фотоприемником 5₁, уменьшается до нуля, $\Sigma S_1=0$, фототок $J_{\phi 5_{1,1}}$ с фотоприемника 5₁ убывает от $J_{\max 1}$ до $J_{\min 1}$.

При этом фототоки с фотоприемников 5₂, 5₃ не изменяются (сохраняются их максимальные значения $J_{\max 2,3}$) т.к. условия отражения световых потоков, формируемых ПВОС 2₂, 2₃, сохраняются.

При изменении направления перемещения подвижного объекта (по оси - Y), по аналогии, часть светового потока от ПВОС 2₃ попадает на неотражающую поверхность подвижного объекта. Уменьшается площадь освещенных входных торцов ОВОС 3₃, сопряженных с фотоприемником 5₃. В процессе измерений она убывает до нуля, $\Sigma S_3=0$, убывает и фототок с фотоприемника 5₃ от $J_{\max 3}$ до $J_{\min 3}$. Фототоки с фотоприемников 5₁ и 5₂ не изменяются, т.к. условия отражения световых потоков, формируемых ПВОС 2₁, 2₂, сохраняются, (то есть сохраняются их максимальные значения и максимальные значения фототоков $J_{\phi \max 1,2}$). Таким образом, при перемещении подвижного объекта по осям $\pm Y$ фототок $J_{\max 2}$ с фотоприемника 5₂ все время остается const, что позволяет контролировать и исключать возможные перемещения подвижного объекта по осям $\pm X$.

На фиг. 4а, б схематично представлена динамика измерительного процесса предложенного датчика линейных перемещений.

На фиг. 4а показаны три ориентации отражающего элемента 1, обусловленные перемещениями подвижного объекта. Круглые «пятна» - области отражающего элемента

1, освещенные выходными торцами ПВОС₂₁, 2₂, 2₃.

Заштрихованные области «пятен» - области подвижного объекта, поглощающего свет. Отсюда следует, что при перемещении подвижного объекта по оси +Y, фототок $J_{\phi 51}$ с фотоприемника 5₁, с которым соединены выходные торцы ОВОС 3₁ будет убывать от $J_{\max 1}$ до $J_{\min 1}$, т.к. убывают области отражающего элемента 1, освещаемые ПВОС 2₁. При перемещении по оси - Y уменьшается аналогично фототок $J_{\phi 53}$ с фотоприемника 5₃ от $J_{\max 3}$ до $J_{\min 3}$.

Постоянно остается стабильным фототок с фотоприемника 5₂, $J_{\max 52} = \text{const}$, используемый для контроля параметра $X = X_0$.

На фиг. 4б. приведены функции преобразования двух измерительных каналов (фототоков), образованных ПВОС₂₁ и ОВОС₃₁.

$$J_{\phi 51} = f(+Y)$$

и ПВОС 2₃ и ОВОС 3₃

$$J_{\phi 53} = f(-Y),$$

а также - функция преобразования (фототока) опорного канала, образованного ПВОС 2₂ и ОВОС 3₂

$$J_{\phi 52} = \text{const}$$

Таким образом, предложенное трехканальное устройство - волоконно-оптический датчик линейных перемещений однозначно определяет поведение функции преобразования (фототок) волоконно-оптического датчика линейных перемещений $J_{\phi 51,3} = f(\pm Y)$, обеспечивает ее надежное прогнозирование и обоснованную достоверность.

При этом возможность размещения модулирующего устройства (зеркально-отражающей поверхности) в зоне измерений на заданном расстоянии X_0 , где достигается минимизация энергетических потерь, повышает точность измерений и расширяет диапазон измерений входных воздействий.

В устройстве реализуются условия конструктивной унификации датчиков данного типа по их основным параметрам, а также по числу и взаимному расположению подводящих волоконно-оптического световодов и отводящих волоконно-оптического световодов.

(57) Формула полезной модели

Волоконно-оптический датчик линейных перемещений, содержащий источник оптического излучения, выход которого подключен ко входу подводящего волоконно-оптического световода, отводящие волоконно-оптические световоды, выходы которых подключены ко входам соответствующих фотоприемников, отражающий элемент, прикрепленный к перемещающемуся объекту, электронный блок обработки сигналов, ко входу которого подведены выходы фотоприемников, отличающийся тем, что к выходу источника оптического излучения входными торцами подведен жгут подводящих волоконно-оптических световодов, разделенных на три канала, из которых один - центральный, является опорным, а два других - измерительными, при этом отводящие волоконно-оптические световоды, сопряженные в каждом канале с подводящими волоконно-оптическими световодами, выходными торцами подключены ко входам соответствующих фотоприемников, а выходные торцы подводящих волоконно-оптических световодов и входные торцы отводящих волоконно-оптических световодов в каждом канале, обращенные к отражающему элементу, выполненному в виде

прямоугольной пластинки из отражающего свет материала, находятся в соотношении 3:4 и отстоят от отражающего элемента на заданном расстоянии X_0 , при котором обеспечивается максимальная освещенность входных торцов отводящих волоконно-оптических световодов и максимальный ток фотоприемника.

5

10

15

20

25

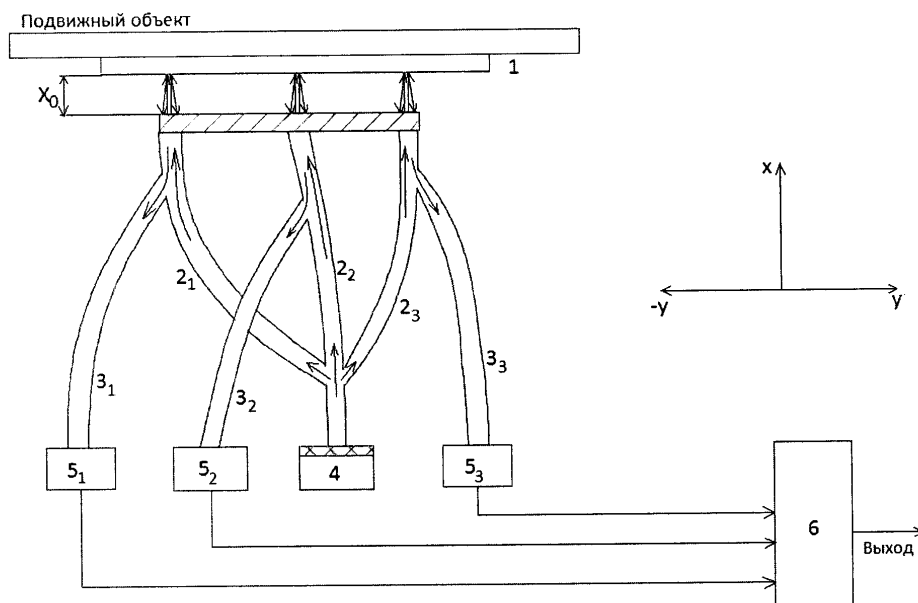
30

35

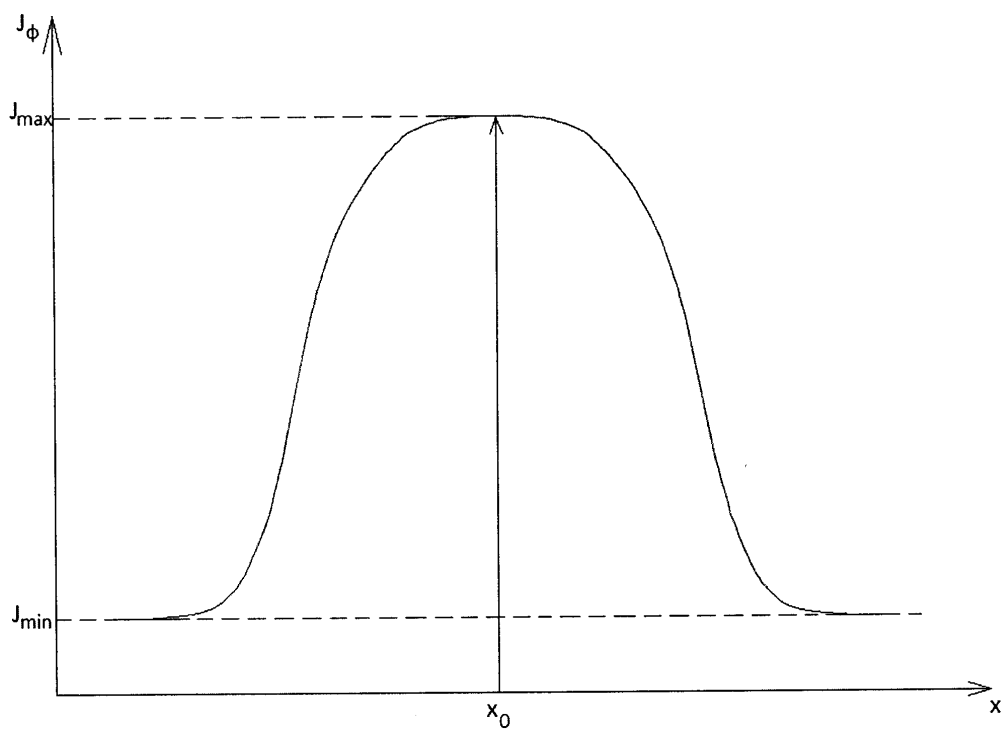
40

45

1



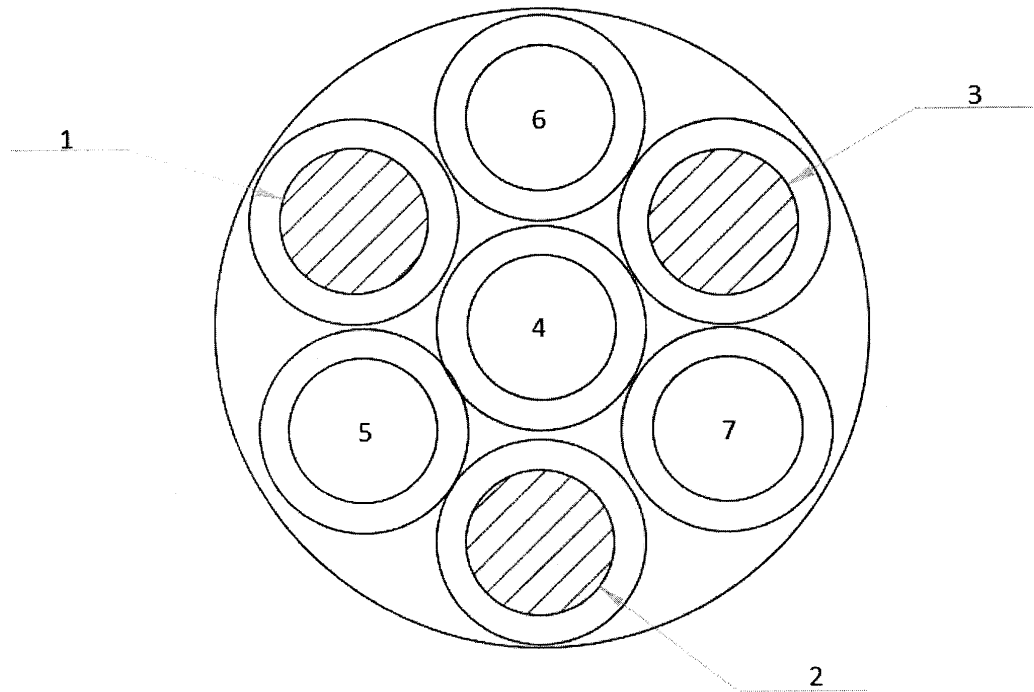
Фиг. 1



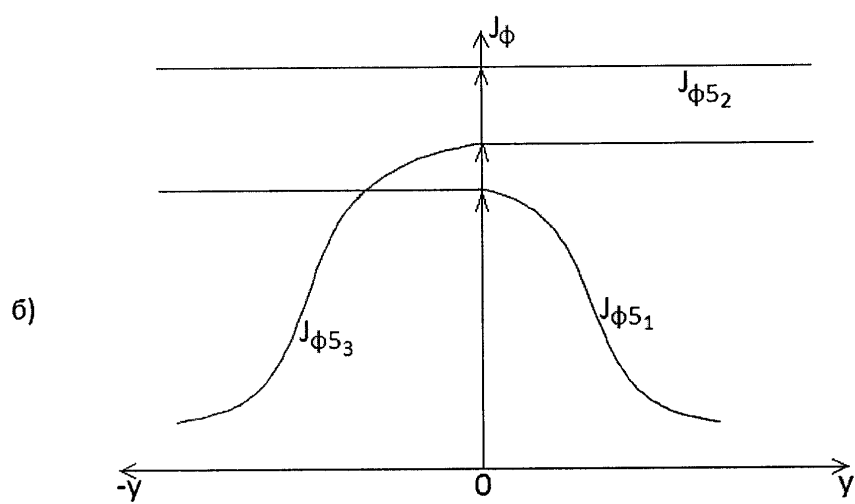
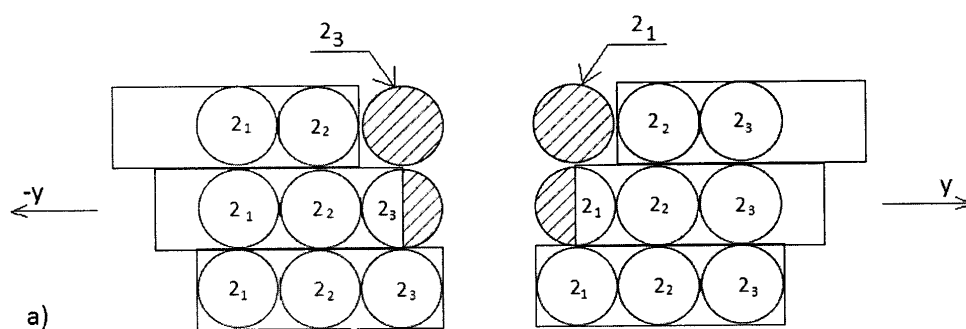
Фиг. 2

9

2



Фиг. 3



Фиг. 4 а, б