



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
F01C 19/02 (2020.08); F01C 1/22 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020129651, 08.09.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
08.09.2020

Дата регистрации:  
19.01.2021

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 08.09.2020

(45) Опубликовано: 19.01.2021 Бюл. № 2

Адрес для переписки:  
308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.  
Победы, 85, НИУ "БелГУ" ОИС, Цуриковой  
Н.Д.

(72) Автор(ы):  
Сергеев Сергей Валерьевич (RU),  
Аль-Бдейри Махмуд Шакир (IQ),  
Баранов Сергей Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

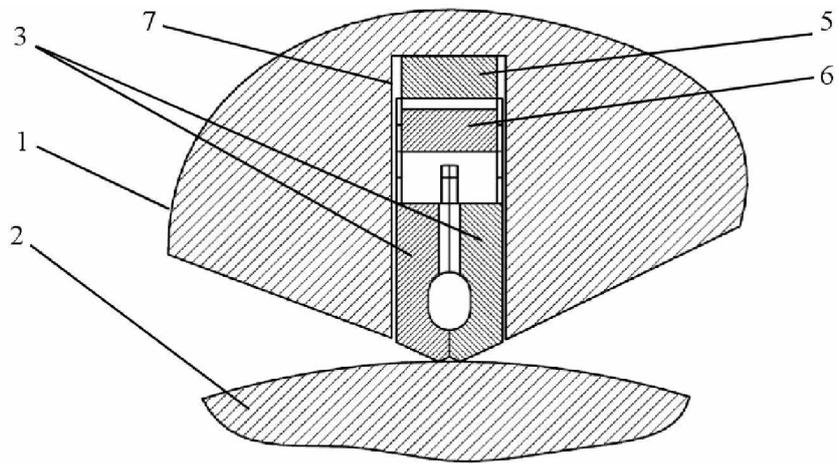
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 7275919 A1, 16.08.2007. US  
4548560 A, 22.10.1985. US 3556695 A, 19.01.1971.  
RU 2344296 C2, 27.02.2013. RU 2056712 C2,  
20.03.1996.

(54) Радиальное уплотнение роторной машины

(57) Реферат:

Изобретение относится к области систем уплотнения роторных машин объемного действия. Уплотнение содержит две пары основных пластин 3 и две пары боковых пластин-компенсаторов, соприкасающихся между собой внутренними сторонами и развернутых в пазе 7 таким образом, что боковые пластины-компенсаторы находятся на противоположных сторонах паза 7 статора 1, подпружиненные расположенными в пазе 7 верхней и нижней рессорами 6 и 5. Каждая из рессор 6 и 5 имеет симметричные прорезы, образующие с каждой стороны рессоры 6 и 5 по два конца, прижимающих независимо каждую из пластин в направлении ротора 2. Верхняя рессора 6

независимо воздействует на две пластины 3. Нижняя рессора 5 независимо воздействует на две пластины 3 и две пластины-компенсаторы, которые за счет сопряжения между собой по наклонной грани контакта дополнительно прижимаются к торцевым крышкам. Пластины 3 имеют каналы для подачи смазки, расположенные равномерно по всей длине контакта с ротором 2. Изобретение направлено на повышение герметичности камер роторной машины, ресурса радиальных уплотнений и одновременное снижение концентрации масла и его продуктов сгорания в рабочем теле, покидающем роторную машину. 5 ил.



Фиг. 2

RU 2740666 C1

RU 2740666 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*F01C 19/02 (2020.08); F01C 1/22 (2020.08)*

(21)(22) Application: **2020129651, 08.09.2020**

(24) Effective date for property rights:  
**08.09.2020**

Registration date:  
**19.01.2021**

Priority:

(22) Date of filing: **08.09.2020**

(45) Date of publication: **19.01.2021** Bull. № 2

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul.  
Pobedy, 85, NIU "BelGU" OIS, Tsurikovoj N.D.**

(72) Inventor(s):

**Sergeev Sergej Valerevich (RU),  
Al-Bdejri Makhmud Shakir (IQ),  
Baranov Sergej Olegovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj  
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU  
"BelGU") (RU)**

(54) **RADIAL SEAL OF ROTARY MACHINE**

(57) Abstract:

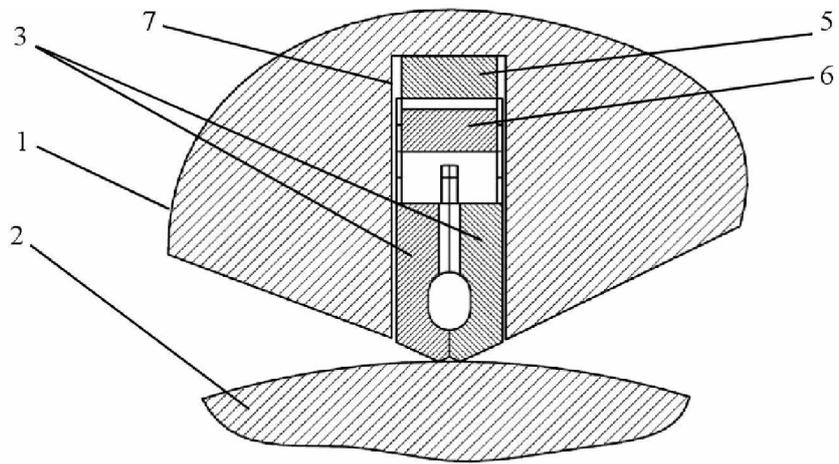
FIELD: machine building.

SUBSTANCE: invention relates to sealing of rotary machines of volumetric action. Seal comprises two pairs of main plates 3 and two pairs of side plates-compensators contacting each other with inner sides and deployed in slot 7 so that side compensator plates are located on opposite sides of groove 7 of stator 1, spring-loaded upper and lower springs 6 and 5 located in groove 7. Each of springs 6 and 5 has symmetrical cuts forming on each side of springs 6 and 5 on two ends, pressing independently each of plates in direction of rotor 2. Upper spring 6 independently acts on two

plates 3. Lower spring 5 independently acts on two plates 3 and two plates-compensators, which due to interfacing with each other along inclined contact face are additionally pressed to end covers. Plates 3 have channels for supply of lubricant, arranged uniformly along the whole length of contact with rotor 2.

EFFECT: invention is aimed at improving tightness of chambers of rotary machine, resource of radial seals and simultaneous reduction of concentration of oil and its combustion products in working body leaving rotary machine.

1 cl, 5 dwg



Фиг.2

RU 2740666 C1

RU 2740666 C1

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к области систем уплотнения роторных машин объемного действия, которые могут быть использованы в качестве двигателей внутреннего сгорания, компрессоров и детандеров, и представляет собой элемент радиального уплотнения между поверхностями ротора и статора.

5 Известно устройство радиального уплотнения для роторного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) (US № 3556695, публ. 19.01.1971). Устройство состоит из трапецеидальной полосы, двух треугольных элементов, расположенных по обе стороны от трапецеидальной полосы, а также листовой пружины. Все перечисленные элементы расположены в пазе ротора ДВС таким образом, что пружина воздействует на  
10 трапецеидальную полосу через треугольные элементы, тем самым прижимая их к радиальной поверхности статора и торцевым крышкам ДВС. Трапецеидальная полоса и треугольные элементы имеют радиусы скругления поверхностей, обращенных к статору ДВС.

Недостатком данного устройства является отсутствие возможности смазки зоны  
15 трения, поскольку радиальное уплотнение размещено во вращающемся роторе, и подвод смазки конструктивно затруднен. Смазка данного уплотнения осуществляется за счет добавления масла в топливовоздушную смесь, вследствие чего устройство не соответствует экологическим нормам, образуется повышенное нагарообразование на деталях ДВС. В случае его применения в компрессорах, насосах и детандерах  
20 необходимо также обеспечивать впрыск масла, что неизбежно приводит к загрязнению рабочей среды. Кроме этого, над треугольными элементами образуется неустраняемый зазор между трапецеидальной полосой и торцевыми крышками, способствующий перетеканию рабочего тела из камеры с повышенным давлением в камеру с пониженным давлением, снижая тем самым эффективность устройства (ДВС, насоса, и т.д.) в целом.

25 Помимо этого, недостатком рассмотренного устройства является то, что противоположные грани элементов уплотнения периодически оказываются в зонах знакопеременного перепада давления, что делает невозможным обеспечение масляного клина для уплотнения и смазки. Ситуация усугубляется тем, что уплотнительный элемент постоянно находится под знакопеременным углом к нормали к поверхности статора.  
30 Это требует обеспечения симметричного скругления контактирующей со статором грани, что также не способствует созданию гидравлических уплотняющих эффектов.

Указанная проблема частично решена в системе уплотнений в роторном двигателе (US № 4548560, публ. 22.10.1985). Здесь в качестве контактных элементов применены качающиеся в цилиндрической выемке профилированные уплотнительные элементы,  
35 расположенные в лопастях, перемещающихся по кулачковому механизму по траектории, эквидистантной контуру статора. Прижатие контактных элементов к статору осуществляется давлением воздуха, который также обеспечивает пневматическую подушку между лопастью и контактным элементом.

Недостатком данного устройства также является отсутствие системы смазки зоны  
40 трения радиального уплотнения и статора, необходимость впрыска масла в рабочее тело, сложность пневматической системы прижима, а также то, что проблема сопряжения статора с элементом радиального уплотнения решена частично: устройство компенсирует знакопеременные углы контакта уплотнительного элемента со статором, но не способно компенсировать переменную кривизну поверхности статора, вследствие  
45 чего уплотнительный элемент имеет линейный контакт со статором. Кроме того, наклонные колебательные движения уплотнительных элементов не способствуют улучшению динамики роторной машины в целом, накладывая ограничения на частоту ее вращения и действующие нагрузки.

Наиболее близким по своей сути техническим решением является узел уплотнения роторного двигателя (US № 7275919, публ. 2.10.2007), в котором радиальное уплотнение выполнено в виде расположенных в пазах ротора основной пластины в виде несимметричной трапеции и боковой пластины-компенсатора в виде треугольного уплотнительного элемента, которые одновременно прилегают к торцевым крышкам роторной машины и статору. Со стороны паза треугольный элемент прижимается листовой пружиной к противоположной торцевой крышке и к поверхности статора, прижимая собой трапецеидальную несимметричную пластину.

Конструктивно данное решение обеспечивает прижатие уплотнительных элементов к двум крышкам и статору, сечение утечки уменьшено в два раза по сравнению с устройством по патенту (US № 3556695), однако существует неустранимый зазор между треугольным элементом и статором. Кроме того, для него характерны все вышеперечисленные недостатки описанных ранее устройств, связанные с отсутствием смазки.

Задача, на решение которой направлено предлагаемое изобретение – повышение герметичности камер роторной машины, ресурса радиальных уплотнений и одновременное снижение концентрации масла и его продуктов сгорания в рабочем теле, покидающем роторную машину.

Технический результат, достигаемый с использованием предлагаемого устройства, заключается в снижении величины утечки через радиальные уплотнения, обеспечении смазки радиального уплотнения с использованием гидравлического эффекта, увеличении ресурса уплотнения и сопрягаемой детали, а также в сокращении выбросов в атмосферу продуктов сгорания масел при использовании устройства в роторном ДВС.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого радиального уплотнения роторной машины, расположенного в пазах статора, включающего в себя основную пластину и боковую пластину-компенсатор, сопряженные между собой по наклонной грани, причем уплотнение дополнительно содержит основную пластину и боковую пластину-компенсатор, образующие две пары основных пластин и боковых пластин-компенсаторов, соприкасающихся между собой внутренними сторонами и развернутыми в пазах таким образом, что боковые пластины-компенсаторы находятся на противоположных сторонах паза статора, подпружиненные расположенными в пазах статора верхней и нижней рессорами, каждая из которых имеет симметричные прорезы, образующие с каждой стороны рессоры по два конца, прижимающих независимо каждую из пластин в направлении ротора, причем верхняя рессора независимо воздействует на две основные пластины, а нижняя рессора независимо воздействует на две основные и две боковые пластины-компенсаторы, которые за счет сопряжения между собой по наклонной грани контакта дополнительно прижимаются к торцевым крышкам роторной машины, при этом основные пластины имеют каналы для подачи смазки, расположенные равномерно по всей длине контакта с ротором.

Достижение указанного технического результата поясняется чертежами:

на Фиг. 1 и 2 - изображено расположение радиальных уплотнений и их конструктивных элементов в роторной машине;

на Фиг. 3 и 4 - изображены элементы радиального уплотнения;

на Фиг. 5 - показано состояние элементов радиального уплотнения в процессе вращения ротора.

Устройство включает статор 1, ротор 2 (Фиг. 1 и 2), торцевые крышки 8 роторной машины (Фиг.4), в местах разделения камер статора 1 имеются пазы 7, в которых установлены радиальные уплотнения, состоящие из двух пар основных пластин 3 и

боковых пластин-компенсаторов 4, сопрягающихся между собой без зазора по наклонной грани. Пары основных пластин 3 и боковых пластин-компенсаторов 4 развернуты в пазе 7 статора 1 на 180 градусов таким образом, что боковые пластины-компенсаторы 4 размещаются на противоположных сторонах паза 7. Под двумя парами  
5 основных пластин 3 и боковых пластин-компенсаторов 4 расположены две рессоры: нижняя рессора 5 и верхняя рессора 6 (Фиг. 3). На концах обеих рессор выполнены прорезы. Нижняя рессора 5 расположена в пазу 7 статора 1, опирается своей центральной частью в дно паза 7 статора 1, а ее концы прижаты к торцам основных пластин 3 и  
10 боковых пластин-компенсаторов 4 таким образом, что каждый из четырех элементов рессоры 5 соприкасается независимо с каждой из пластин 3 и 4. Верхняя рессора 6 также расположена в пазе 7 статора 1, опираясь своей центральной частью на нижнюю рессору 5, а ее концы соприкасаются независимо с каждой из основных пластин 3. В основных пластинах 3 сформированы каналы 9 для подачи смазки из статора 1 к зоне контакта с ротором 2, распределенные равномерно по длине основной пластины 3.

15 Основные пластины 3 и боковые пластины-компенсаторы 4 имеют форму поверхности, прилегающую к ротору 2, в виде двух продольных скосов разного размера, выполненным под углом, превышающим максимальный угол наклона поверхности ротора  $\alpha$  на 3...5 градусов. Внутренние скосы пластин образуют лабиринт в виде  
20 треугольного углубления шириной  $d$ . Контакт всех пластин с поверхностью ротора осуществляется по скруглению радиусом  $r$  (Фиг. 5).

Устройство работает следующим образом.

При работе роторной машины между соседними камерами статора 1 возникает перепад давления, вызванный сдвигом фаз протекающих рабочих циклов. При этом перепад давлений является знакопеременным.

25 Верхняя рессора 6 под воздействием внутренних напряжений своими отдельными концами, образованными симметричными прорезями, оказывает независимое давление на каждую из основных пластин 3, прижимая их контактной поверхностью, ограниченной радиусом  $r$  к поверхности ротора 2.

30 Нижняя рессора 5 под воздействием внутренних напряжений своими отдельными концами, образованными симметричными прорезями, также оказывает независимое давление на каждую из основных пластин 3 и боковых пластин-компенсаторов 4. За счет того, что основные пластины 3 сопряжены попарно с боковыми пластинами-компенсаторами 4 по наклонной поверхности, часть силового воздействия нижней рессоры 5 направлена в сторону ротора 2, а другая часть силового воздействия  
35 прижимает основные пластины 3 и боковые пластины-компенсаторы 4 к торцевым крышкам 8 роторной машины.

При вращении ротора симметрично в обоих направлениях меняется угол между нормалью к поверхности ротора и плоскостью симметрии паза 7 статора 1. За счет того, что края нижней рессоры 5 и верхней рессоры 6 выполнены разрезными,  
40 обеспечивается возможность независимого перемещения основных пластин 3 и боковых пластин-компенсаторов 4 с сохранением контакта между ними и поверхностью ротора во всем диапазоне углов наклона его нормали. При этом контакт обеспечивается по радиусу скругления пластин  $r$ .

По каналам 9 для подачи смазки, выполненным в основных пластинах 3, из статора  
45 1 в зону трения под давлением подается смазка. За счет того, что углы скоса всех пластин 3 и 4 превышают максимальный угол наклона нормали ротора  $\alpha$  на 3...5 градусов, во всем диапазоне углов контакта с ротором 2 обеспечивается создание масляного клина в центральной области шириной  $d$  независимо от направления перепада

давления в соседних камерах статора 1, что исключает условия сухого трения в радиальном уплотнении во всех фазах цикла, реализуемого в роторной машине. При вращении ротора 2 основные пластины 3 и боковые пластины-компенсаторы 4, расположенные напротив, совершают возвратно-поступательные перемещения в пазе 7 статора 1 перемещения с амплитудой  $\delta$ .

Важным преимуществом являются низкие инерционные нагрузки на элементы радиального уплотнения. Так, например, при частоте вращения ротора 22500 об/мин при величине  $d$  равной 2 мм и угле наклона нормали ротора  $\alpha$  равном 25 градусов, амплитуда  $\delta$  составляет менее 0,5 мм, а скорость перемещения основных пластин 3 и боковых пластин-компенсаторов 4 не превышает 0,4 м/с. Вследствие этого нет необходимости в повышении жесткости рессор 5 и 6, приводящей к увеличению сил, действующих в зоне трения с ротором 2, что положительно сказывается не только на долговечности рессор, но и на ресурсе основных пластин 3 и боковых пластин-компенсаторов 4.

Локальная смазка зоны трения с созданием гидравлического клина также обеспечивает долговечность радиального уплотнения. Кроме этого, исчезает необходимость впрыска смазки в рабочее тело, что позволяет резко снизить объем выбросов вредных веществ в атмосферу.

Реализация устройства проиллюстрирована примером, который, однако, не ограничивают всех возможностей способа и устройства.

Пример.

При стендовых испытаниях прототипа роторного двигателя внутреннего сгорания рабочим объемом 1.25 л, реализованного по схеме, представленной на Фиг. 1, в режиме компрессора при снятии индикаторной диаграммы получены следующие результаты:

- при частоте вращения ротора 300 об/мин и давлении смазки 5 бар достигнута степень сжатия 28.5;
- при частоте вращения ротора 6000 об/мин и давлении смазки 5 бар достигнута степень сжатия 30.4.

При расчетах теоретическая степень сжатия для данных условий составила 32.

Данные результаты свидетельствуют о низком сечении площади утечки через радиальные уплотнения и о незначительной зависимости величины утечки от частоты вращения ротора в рабочем диапазоне частот.

Кроме того, подтверждается работоспособность предлагаемого радиального уплотнения в условиях динамических нагрузок, вызванных большой частотой вращения ротора.

#### (57) Формула изобретения

Радиальное уплотнение роторной машины, расположенное в пазе статора, включающее в себя основную пластину и боковую пластину-компенсатор, сопряженные между собой по наклонной грани, отличающееся тем, что дополнительно содержит основную пластину и боковую пластину-компенсатор, образующие две пары основных пластин и боковых пластин-компенсаторов, соприкасающихся между собой внутренними сторонами и развернутых в пазе таким образом, что боковые пластины-компенсаторы находятся на противоположных сторонах паза статора, подпружиненные расположенными в пазе статора верхней и нижней рессорами, каждая из которых имеет симметричные прорези, образующие с каждой стороны рессоры по два конца, прижимающих независимо каждую из пластин в направлении ротора, причем верхняя рессора независимо воздействует на две основные пластины, а нижняя рессора

независимо воздействует на две основные и две боковые пластины-компенсаторы, которые за счет сопряжения между собой по наклонной грани контакта дополнительно прижимаются к торцевым крышкам роторной машины, при этом основные пластины имеют каналы для подачи смазки, расположенные равномерно по всей длине контакта с ротором.

10

15

20

25

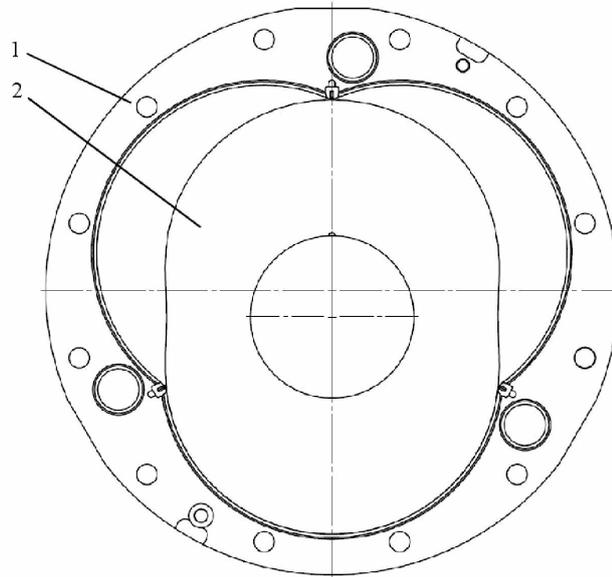
30

35

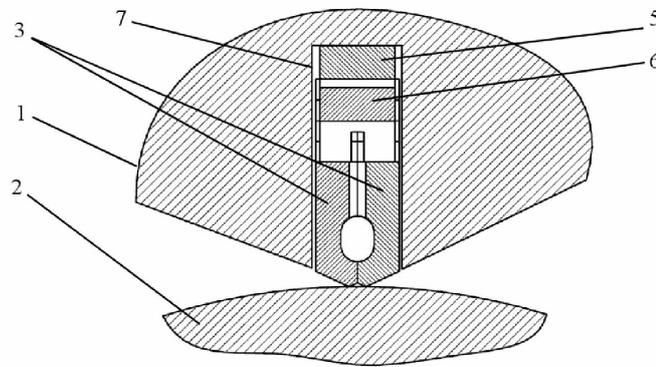
40

45

1

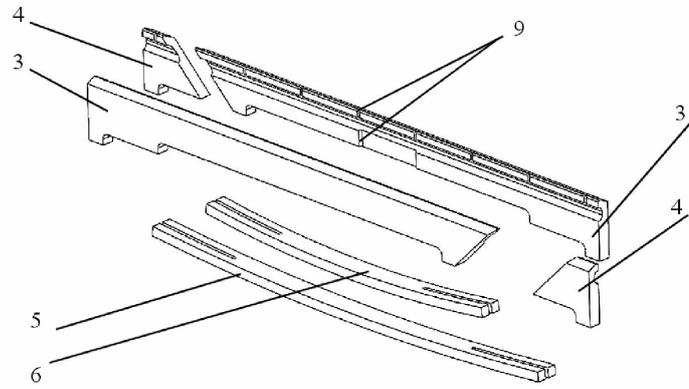


Фиг. 1

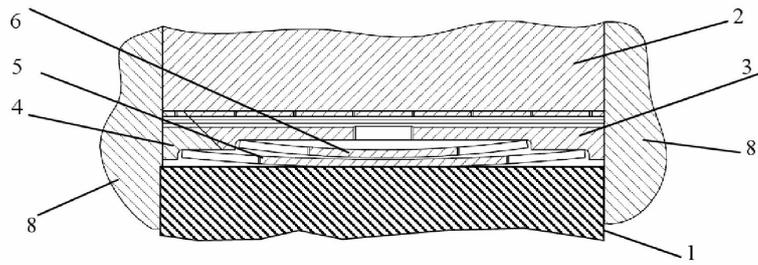


Фиг. 2.

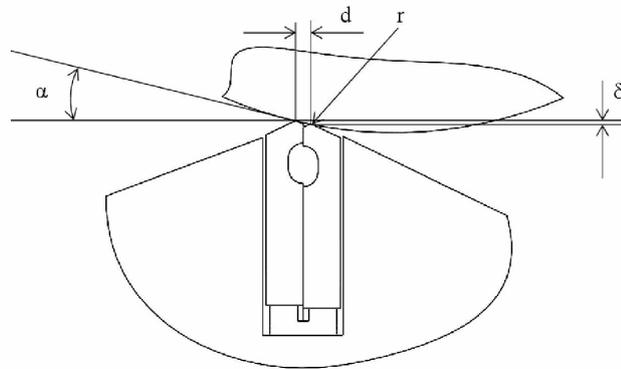
2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5