

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2733089

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В РАЗНЫХ АЗИМУТАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Миллер Андрей Аскольдович (RU), Сенчина Наталия Петровна (RU), Горелик Глеб Дмитриевич (RU), Асосков Артем Евгеньевич (RU), Мингалева Татьяна Андреевна (RU)*

Заявка № 2020104323

Приоритет изобретения 30 января 2020 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 29 сентября 2020 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 30 января 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01V 3/06 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020104323, 30.01.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.01.2020

Дата регистрации:
29.09.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.01.2020

(45) Опубликовано: 29.09.2020 Бюл. № 28

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Миллер Андрей Аскольдович (RU),
Сенчина Наталия Петровна (RU),
Горелик Глеб Дмитриевич (RU),
Асосков Артем Евгеньевич (RU),
Мингалева Татьяна Андреевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет" (RU)

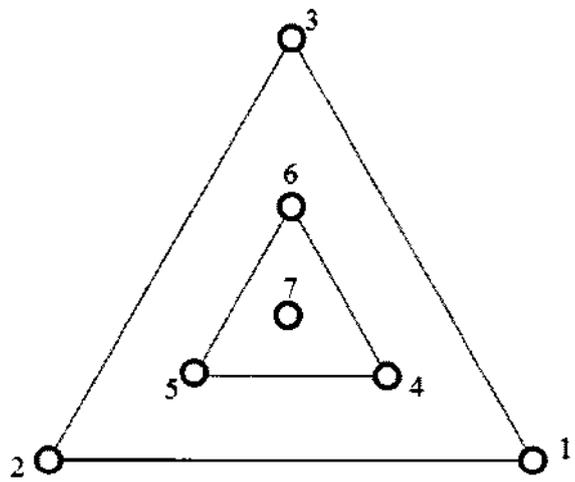
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2575349, 20.11.1951. RU 2339058
C1, 20.11.2008. RU 17734 U1, 20.04.2001. SU
1229706 A1, 07.05.1986. SU 121516 A1, 01.01.1959.
DE 69314871 D1, 04.12.1997. SU 1479907 A1,
15.05.1989. RU 2291472 C1, 10.01.2007.

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В РАЗНЫХ АЗИМУТАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электроразведочных геофизических исследований, направленных на изучение электрических свойств горных пород, в том числе их азимутальной неоднородности. Сущность: три питающих электрода расположены по углам равностороннего треугольника. На каждый из электродов подается фаза синусоидального трехфазного тока и происходит виртуальное вращение результирующего вектора плотности объемного тока с частотой подаваемого питающего тока. Три измерительных электрода располагают в углах равностороннего треугольника, меньшего по размеру. Центр треугольника, в углах которого расположены измерительные электроды, совпадает с центром

треугольника питающих электродов. Проводят измерение мгновенных напряжений между парами электродов. Затем вычисляют мгновенное значение угла вектора напряженности электрического поля и его модуль в заранее выбранные моменты времени периода колебаний. Проводят построение эллипса азимутальной зависимости удельного электрического сопротивления. Вычисляют разность углового положения вектора напряженности электрического поля в каждый выбранный момент времени при вращении вектора поля по и против часовой стрелки. По этой разности вычисляют поляризуемость реальной среды с азимутальным распределением поляризуемости. 1 з.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг. 3

RU 2733089 C1

RU 2733089 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01V 3/06 (2020.08)

(21)(22) Application: **2020104323, 30.01.2020**

(24) Effective date for property rights:
30.01.2020

Registration date:
29.09.2020

Priority:

(22) Date of filing: **30.01.2020**

(45) Date of publication: **29.09.2020 Bull. № 28**

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2,
federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet", Patentno-litsenziornyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Miller Andrej Askoldovich (RU),
Senchina Nataliya Petrovna (RU),
Gorelik Gleb Dmitrievich (RU),
Asoskov Artem Evgenevich (RU),
Mingaleva Tatyana Andreevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Sankt-Peterburgskij gornyj
universitet" (RU)**

(54) **METHOD OF MEASURING ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN DIFFERENT AZIMUTHAL DIRECTIONS**

(57) Abstract:

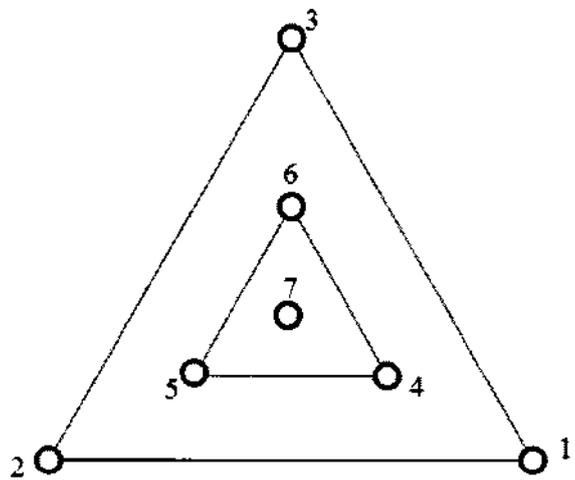
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to electro-prospecting geophysical studies aimed at studying electrical properties of rocks, including their azimuthal inhomogeneity. Three feeding electrodes are located at corners of equilateral triangle. Phase of sinusoidal three-phase current is supplied to each of electrodes and virtual rotation of resultant density vector of density current with frequency of supplied supply current is performed. Three measuring electrodes are located at angles of equilateral triangle, smaller in size. Center of triangle, in corners of which there are measuring electrodes, coincides with centre of triangle of supply

electrodes. Instant voltages are measured between pairs of electrodes. Instantaneous value of the angle of the electric field intensity vector and its modulus are calculated at preset time instants of the oscillation period. Construction of ellipsoid of azimuth dependence of specific electric resistance is performed. Difference of angular position of electric field intensity vector is calculated at each selected moment of time at rotation of field vector clockwise and counterclockwise.

EFFECT: polarisability of the real medium with azimuthal polarisability distribution is calculated from this difference.

1 cl, 7 dwg



Фиг. 3

RU 2733089 C1

RU 2733089 C1

Изобретение относится к области электроразведочных геофизических исследований, направленных на изучение электрических свойств горных пород (удельное сопротивление и обратная величина - удельная электропроводность, а также поляризуемость), в том числе их азимутальной неоднородности.

5 Известен способ измерения кажущегося удельного электрического сопротивления (КУЭС) с выявлением азимутальной неоднородности КУЭС путем использования азимутальных установок в методах сопротивлений (электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование, дипольное электрическое зондирование) (Инструкция по электроразведке, 1984, Ленинград, «Недра» (отв. исполн. Г.С. Франтов),
10 с. 52-53). В Инструкции в пояснениях к методу электрического зондирования рекомендуется применять «крестовые зондирования» «для выяснения возможных искажений, связанных с горизонтальной неоднородностью разреза» (Инструкция..., с. 52) при двух взаимно зондирования рекомендуется применять «крестовые зондирования» «для выяснения возможных искажений, связанных с горизонтальной неоднородностью разреза» (Инструкция..., с. 52) при двух взаимно перпендикулярных разностях. «В
15 специальных случаях для установления степени и преимущественного направления горизонтальной неоднородности (например, при поисках и разведке трещинно-карстовых вод) выполняются круговые зондирования по четырем азимутам через 45°» (Инструкция..., с. 53). В Инструкции выделяются также дипольные электрические
20 зондирования: экваториальные, азимутальные, осевые.

Недостатком является то, что в указанном способе предполагается перемещение электродов при каждом новом направлении измерений (или применение большего
числа электродов), что на практике может представлять затруднения и увеличить продолжительность работ.

25 Известен способ азимутального магнитотеллурического зондирования (МТЗ) (Корреляционный анализ мониторинговых данных, Е.А. Баталева, Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 2015 г., с. 14-18), где рассматриваются временные ряды естественных вариаций для электромагнитных параметров среды по азимутам 0°-180° (в примере использован шаг 15 град.) и в зависимости от периода зондирования.
30 При этом в МТЗ измерения производятся с помощью 5 электродов (расположенных крестообразно, +1 в центре) а выделение азимутальных компонент происходит в процессе обработки данных.

Недостаток способа является для расчета КУЭС необходимо измерение не только электрической, но и магнитной компоненты переменного электромагнитного поля,
35 для чего используется весьма сложная аппаратура, а также, поскольку помехи соизмеримы или превышают естественные вариации электромагнитных полей, метод трудноприменим в областях антропогенного воздействия.

Известен способ геоэлектроразведки (патент RU №2339058, опубл. 20.11.2008), где производится измерение силы тока, пропускаемого через электроды, расположенные
40 в углах равностороннего треугольника. В указанном способе, изменяя положение движка переменного резистора, меняют характер распределения плотности тока, проходящего через геологический разрез. Объект, находящийся в области, расположенной между активными участками трех электродов, либо вблизи нее, с удельной электропроводностью, значимо отличающийся от средней удельной
45 электропроводности разреза будет приводить к изменению значений токов через входящие электроды. При большей электропроводности локальной области сила тока растет, а при меньшей - падает. По величине разностей токов в найденной локальной области неизоморфности судят о типе и свойствах обнаруженной горной породы.

Недостатки способа заключаются в необходимости многократно изменять положение движка переменного резистора для измерений значений силы тока, а также в необходимости предварительных исследований нескольких геологических разрезов для нахождения среднестатистических значений силы тока при каждом положении движка переменного резистора, причем результат показывает, больше, равна либо меньше электропроводность сканированного геологического участка его среднестатистическому значению, не давая представления о численном значении КУЭС.

Известен способ векторных измерений электрического поля (ВИЭП) (Горбунов А.А. Интерпретация данных векторных измерений электрического поля при инженерно-геологических и геотехнических изысканиях: диссертация... кандидата технических наук: 25.00.10. Москва, 2001. - 84 с: ил. РГБ ОД, 61 02-5/640-1). Измерения на каждой точке проводятся с помощью ортогональной расстановки измеряющих электродов при различных положениях одного из питающих электродов. Азимутально-зависимые значения кажущегося удельного электрического сопротивления определяются при различных положениях перемещаемого питающего электрода, тогда как второй удален на бесконечность.

Недостатком способа является необходимость перемещения питающего электрода при каждом новом азимуте измерения.

Известен способ геоэлектроразведки (патент US №2575349 А, опубл. 20.11.1951), принятый за прототип, где предполагается применение двух возбуждающих линий, расположенных крестообразно. Путем изменения тока в этих линиях создается виртуальный питающий диполь, направление которого может произвольно меняться. Измерение потенциала, создаваемого этим диполем, производится с помощью ряда измерительных электродов, расположенных по радиусу от центрального заземляющего электрода, и потенциал измеряется для каждого измерительного электрода относительно центрального электрода. Для каждого нового направления виртуального диполя измерительная линия переставляется по новому направлению.

Недостаток способа заключается в необходимости применять большое число электродов (в зависимости от числа интересующих направлений) или же в необходимости переставлять электроды в новое положение при новом азимуте исследований.

Техническим результатом является обеспечение выделения азимутальных неоднородностей электропроводности и поляризуемости с минимизацией числа электродов в установке и без их перемещения.

Технический результат достигается тем, что три питающих электрода расположены по углам равностороннего треугольника, на каждый из них подается фаза синусоидального трехфазного тока и происходит виртуальное вращение результирующего вектора плотности объемного тока с частотой подаваемого питающего тока, три измерительных электрода располагают в углах равностороннего треугольника, меньшего по размеру, центр треугольника, в углах которого расположены измерительные электроды, совпадает с центром треугольника питающих электродов, далее проводят измерение мгновенных напряжений между парами электродов, затем вычисляют мгновенное значение угла вектора напряженности электрического поля и его модуль в заранее выбранные моменты времени периода колебаний, и проводится построение эллипсов азимутальной зависимости удельного электрического сопротивления. Вычисляют разность углового положения вектора напряженности электрического поля в каждый выбранный момент времени при вращении вектора поля по и против часовой стрелки, а затем по этой разности вычисляют поляризуемость реальной среды с азимутальным распределением поляризуемости..

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - схема возбуждения поля;

фиг. 2 - график зависимости силы электрического тока на питающих электродах от времени, в виде сигнала синусоидальной формы со сдвигом по фазе;

5 фиг. 3 - схема расстановки электродов;

фиг. 4 - график азимутальной зависимости удельного электрического сопротивления, эллипс, зарегистрированный при отсутствии анизотропного объекта (округлый);

фиг. 5 - график азимутальной зависимости удельного электрического сопротивления.

фиг. 6. - график азимутальной зависимости удельного электрического сопротивления.

10 фиг. 7. - график зависимости угла запаздывания измеренного вектора напряженности поля от азимута при разном направлении вращения, где:

1 - электрод с фазой 0 градусов питающего тока;

2 - электрод с фазой 120 градусов питающего тока;

3 - электрод с фазой 240 градусов питающего тока;

15 4 - электрод с фазой 0 градусов измеряемого тока;

5 - электрод с фазой 120 градусов измеряемого тока;

6 - электрод с фазой 240 градусов измеряемого тока.

Способ реализуется следующим образом. На поверхность грунта устанавливаются под углом 120° относительно друг друга (фиг. 3) электрод с фазой 0 градусов питающего
20 тока 1, электрод с фазой 120 градусов питающего тока 2, электрод с фазой 240 градусов питающего тока 3, они образуют систему из трех питающих электродов, в форме треугольника. На эти питающие электроды подается электрический ток синусоидальной формы с соответствующим сдвигом по фазе, по аналогии с соединением трехфазных силовых цепей «треугольник», без «нулевого» провода. В центре установки создается
25 вращающийся вектор объемной плотности тока, и разность потенциалов, формирующаяся между точками, разнесенными в направлении вектора E , будет зависеть от кажущейся электропроводности в этом азимутальном направлении. Определение кажущегося удельного сопротивления производится путем измерения разности потенциалов на принимающих электродах при заданной силе тока на питающих
30 электродах, причем измерения проводятся в заранее выбранные моменты времени периода колебаний, например, через каждую $1/8$ периода. Электрод с фазой 0 градусов измеряемого тока 4, электрод с фазой 120 градусов измеряемого тока, электрод с фазой 240 градусов измеряемого тока 6 (фиг. 3) установлены в узлах треугольника, размер которого меньше не менее чем в 3 раза размера треугольника питающих электродов.
35 Из результатов изменения мгновенных напряжений между парами электродов вычисляется мгновенное значение угла вектора напряженности электрического поля и его модуль в моменты, выбранные для измерений разности потенциалов на принимающих электродах. Измерения происходят в реальном времени.

Результат измерений представляется в виде эллипса, где «радиус» эллипса по разным
40 направлениям определяется азимутально-зависимым значением УЭС изучаемой среды.

Вычисление разности углового положения вектора напряженности электрического поля в каждый выбранный момент времени при вращении вектора возбуждающего поля в разных направлениях позволяет определять поляризуемость реальной среды с азимутальным распределением поляризуемости.

45 Способ поясняется следующими примерами. В лабораторных условиях показана связь выделенного направления анизотропной среды и ориентации удлиненной оси эллипса и смоделирована среда с изменяющимся направлением анизотропии и с возможностью формировать близкое к анизотропному по сопротивлению пространству.

В каждом случае зарегистрирована круговая (эллипсовидная) диаграмма. В качестве объекта исследования с анизотропными свойствами выступила система параллельных проводящих нитей (тонких проволок из серебра), размещенная в баке с водой (УЭС воды - 50 Ом·м. Плоская горизонтально расположенная система указанных нитей могла 5 вращаться, тем самым менялось направление наилучшей проводимости. Использованная расстановка (фиг. 3) имела размеры: стороны большего (питающего треугольника) равны 0.15 м, стороны меньшего (измеряющего треугольника) равны 0.05 м. Система проводящих нитей вращалась вокруг центральной оси расстановки с шагом 30°. На 10 фиг. 5 и 6 представлены эллипсы, зарегистрированные при различных ориентировках проводящих нитей (направление простирания нитей указано в круглой врезке). При наличии вводящего горизонтальную анизотропию сопротивления объекта, эллипс удлиняется, и большая ось эллипса вращается в соответствии с вращением системы проводящих нитей (с неопределенностью 180 градусов). Оси на диаграммах размечены в условных единицах. Результаты лабораторных экспериментов демонстрируют связь 15 выделенного направления неоднородной по УЭС анизотропной среды и ориентации удлиненной оси эллипса. В случае отсутствия анизотропного объекта наблюдается эллипс без видимого удлинения (окружность).

В лабораторных условиях смоделирована среда с возможностью изменения поляризуемости путем внесения в область измерений образцов с известной значительной 20 поляризацией. На фиг. 7 показан результат лабораторного эксперимента, где представлены зарегистрированные азимутально-зависимые значения вызванной поляризации (в условных единицах) при помещении в область исследования образца горной породы с вкрапленной сульфидизацией, обладающего высокой поляризуемостью и контрольное измерение - без использования объектов, вводящих анизотропию в 25 область исследования. «Радиус» эллипса для каждой точки равен разности углового положения векторов напряженности электрического поля при вращении возбуждающего поля по и против часовой стрелки. Для объекта с большой поляризуемостью (образец руды) эллипс имеет увеличенный средний радиус, для среды с малой поляризуемостью 30 средний радиус эллипса стремится к нулю.

(57) Формула изобретения

1. Способ измерения электропроводности в разных азимутальных направлениях, в том числе измерение азимутальной неоднородности электрического удельного сопротивления среды, включающий установку электродов питающего тока и электродов 35 измеряемого тока, создание перекрещивающихся питающих линий, регулирование постоянного питающего тока в этих линиях таким образом, что возникает виртуальная питающая линия, которая может менять азимутальное направление в зависимости от соотношения токов в питающих линиях, при этом измеряется разность потенциалов, возникающая между опорным электродом, расположенным на перекрестье питающих 40 линий, и измерительными электродами, расположенными по радиусу от центра вдоль виртуальной питающей линии, отличающийся тем, что три питающих электрода расположены по углам равностороннего треугольника, на каждый из них подается фаза синусоидального трехфазного тока и происходит виртуальное вращение результирующего вектора плотности объемного тока с частотой подаваемого 45 питающего тока, три измерительных электрода располагают в углах равностороннего треугольника, меньшего по размеру, центр треугольника, в углах которого расположены измерительные электроды, совпадает с центром треугольника питающих электродов, далее проводят измерение мгновенных напряжений между парами электродов, затем

вычисляют мгновенное значение угла вектора напряженности электрического поля и его модуль в заранее выбранные моменты времени периода колебаний и проводится построение эллипсов азимутальной зависимости удельного электрического сопротивления.

- 5 2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что вычисляют разность углового положения вектора напряженности электрического поля в каждый выбранный момент времени при вращении вектора поля по и против часовой стрелки, по этой разности вычисляют поляризуемость реальной среды с азимутальным распределением поляризуемости.

10

15

20

25

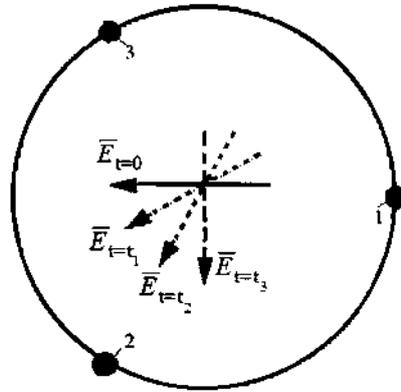
30

35

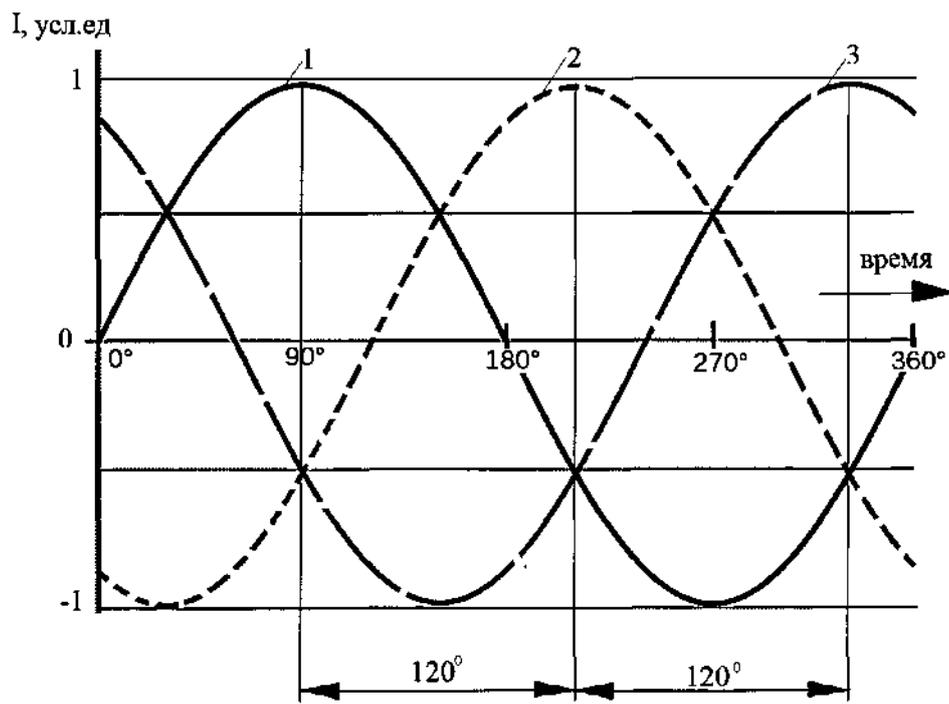
40

45

1

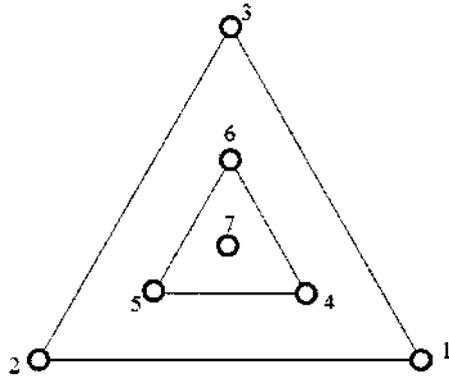


Фиг. 1

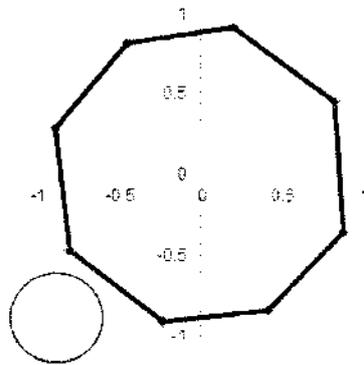


Фиг. 2

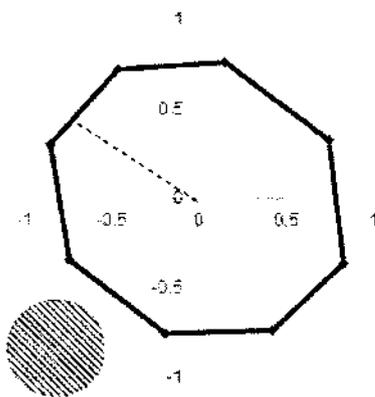
2



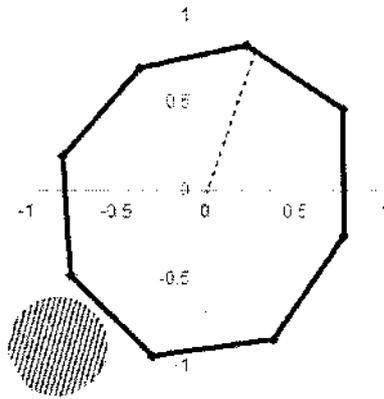
Фиг. 3



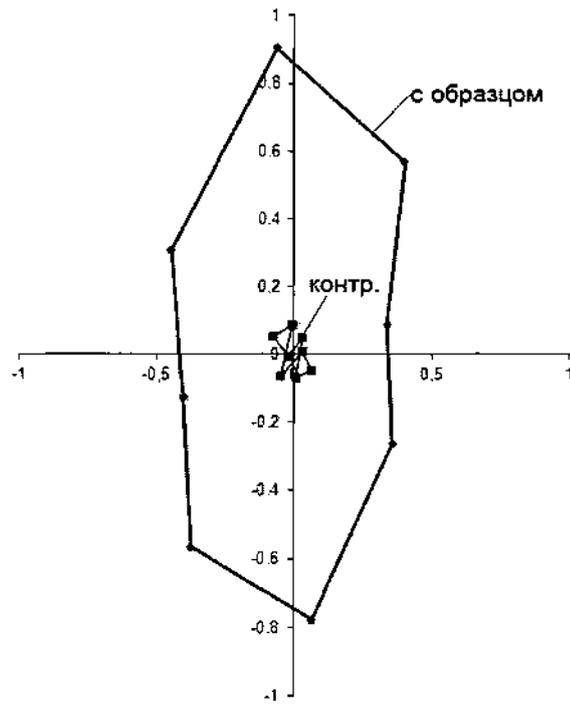
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7