



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01V 1/008 (2019.05); G01V 9/00 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018141970, 28.11.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.11.2018

Дата регистрации:
19.07.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.11.2018

(45) Опубликовано: 19.07.2019 Бюл. № 20

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):

Давыдов Вячеслав Фёдорович (RU),
Комаров Евгений Геннадьевич (RU),
Соболев Алексей Викторович (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 2256199 C2, 10.07.2005. RU
2008127931 A, 20.01.2010. RU 2205430 C1,
27.05.2003. RU 2309438 C2, 27.10.2007.

(54) Способ измерения ионосферных предвестников землетрясений

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сейсмологии и может быть использовано для прогнозирования землетрясений. Сущность: регистрируют волны плотности электронной концентрации зондируемого слоя ионосферы на частоте ниже критической в виде дискретных цифровых отсчетов сигналов. Причем регистрацию осуществляют во взаимно ортогональных плотностях в двух разнесенных на измерительной базе пунктах. Обработывают зарегистрированные выборки сигналов. Рассчитывают направляющие

косинусов вектора волн плотности электронной концентрации каждого пункта. Отождествляют проекцию точки пересечения направляющих на земную поверхность с гипоцентром очага землетрясения. Используя зарегистрированные выборки сигналов, рассчитывают время удара и ожидаемую магнитуду землетрясения. Технический результат: повышение чувствительности способа, увеличение интервала времени упреждающего прогноза сейсмического удара. 5 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

G01V 1/008 (2019.05); *G01V 9/00* (2019.05)(21)(22) Application: **2018141970, 28.11.2018**(24) Effective date for property rights:
28.11.2018Registration date:
19.07.2019

Priority:

(22) Date of filing: **28.11.2018**(45) Date of publication: **19.07.2019 Bull. № 20**

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGТУ im. N.E. Baumana, TSZIS, dlya
Savostikovej E.S. (MF MGТУ)**

(72) Inventor(s):

**Davydov Vyacheslav Fedorovich (RU),
Komarov Evgenij Gennadevich (RU),
Sobolev Aleksej Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"
(MGТУ im. N.E. Baumana) (RU)****(54) METHOD OF MEASURING IONOSPHERIC EARTHQUAKE PRECURSORS**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to seismology and can be used to predict earthquakes. Method comprises detecting density waves of electronic concentration of sounded layer of ionosphere at frequency below critical in form of discrete digital readings of signals. Registration is carried out in mutually orthogonal densities in two points spaced on the measuring base. Processed logged signal samples are processed. Coefficients of density electron concentration vector

of each point are calculated. Projection of the intersection point of the guides on the earth's surface with the hypocentre of the earthquake focus is identified. Using the recorded signal samples, the time of impact and the expected magnitude of the earthquake are calculated.

EFFECT: technical result is higher sensitivity of method, longer time interval of anticipatory prediction of seismic shock.

1 cl, 5 dwg

Изобретение относится к радиофизике и может найти применение в национальных системах сейсмологического контроля при мониторинге природных сред для прогнозирования землетрясений.

Предсказание землетрясений базируется на измерениях различных геофизических полей, изменяющих свои характеристики в потенциальном поле механических напряжений земной коры в области подготавливаемого землетрясения. Одним из чувствительных признаков - предвестников землетрясения являются электродинамические процессы, протекающие в околоземной плазме (ионосфере).

По параметрам переходного колебательного процесса (как вариации плотности электронной концентрации в слоях ионосферы) определяют гипоцентр проекции очага на ионосферу и характеристики ожидаемого сейсмического удара [см., например, «Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов», Доклады конференции ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта, РАН, М, 1998 г., стр. 64-65, 109, 127-129, 138].

Известен «Способ предсказания землетрясений» путем измерения волн плотности электронной концентрации при полете космического аппарата непосредственно на высотах соответствующих слоев ионосферы, Патент Ru №2 205 430, 2003 г - аналог. В способе аналога регистрируют волновой процесс, возникающий в среде накануне удара, вычисляют фазовый центр волнового процесса и его период, рассчитывают характеристики предстоящего удара по их зависимостям от периода, дополнительно получают серию регистрограмм дискретных отсчетов $A(L_i)$ электростатического потенциала внешней поверхности космических аппаратов при их полете по орбитам L_i непосредственно через область ионосферного образования, находят фазовый центр процесса как точку пересечения траверз восходящих и нисходящих витков космических аппаратов, проведенных к участкам регистрограмм, где доплеровская частота измеряемого процесса равна нулю, отождествляют эту точку с проекцией гипоцентра очага на ионосферу, вычисляют период T , магнитуду M и время ожидаемого удара t_x из соотношений:

$$T_0 = \frac{2 \cdot \Delta L}{\frac{L_2}{L_1} - 1} \cdot \frac{v}{L_2 - 1} ; \quad M = \frac{d}{\lg T_0} + 1 ; \quad t_x = \frac{\pi}{d_{ekr}} \cdot T_0$$

где $\Delta L = L_2 - L_1$ - разница пространственных периодов двух симметричных относительно траверзы полуволн регистрограммы;

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{\left(\frac{V_r}{v} + 1\right)^2}{\left(\frac{V_r}{v} - 1\right)^2} \quad - \text{отношение пространственных}$$

периодов двух симметричных, относительно траверзы, полуволн регистрограммы,
 v - скорость акустических волн в ионосфере;

V_r - радиальная скорость движения измерителя относительно фазового центра

волнового процесса.

К недостаткам аналога следует отнести:

- все существующие космические аппараты имеют внутренние источники питания, «заземленные» на корпус. Создание дополнительного внешнего корпуса (в качестве обкладки конденсатора) изолированного от «заземленного» представляет технические трудности;

- невысокая чувствительность измерений из-за малой емкости создаваемого конденсатора.

Известны дистанционные методы измерений плотности электронной концентрации ионосферы N [1/м³], путем ее зондирования на частоте ниже критической

$$f_{кр} \leq 9\sqrt{N}, \quad [\text{см., например, «Космонавтика», Энциклопедия,}$$

М, Изд. Сов. энциклопедия, 1986 г., стр. 161, Ионозоид] - ближайший аналог.

В ближайшем аналоге задающий генератор плавно изменяет частоту настройки приемно-передающего устройства в диапазоне от 1 до 20 МГц для получения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) отраженного от ионосферы сигнала.

Ионозоид включает импульсный ВЧ передатчик, приемник, электронно-лучевой индикатор, задающий генератор передатчика является гетеродином приемника, чем достигается сопряжение и синхронизация приемника и передатчика. Высоту до отражающей поверхности ионосферы определяют по времени запаздывания отраженного сигнала. Плотность электронной концентрации слоя определяют пересчетом из АЧХ значений критической частоты и времени запаздывания.

Недостатками ближайшего аналога являются:

- невозможность по параметрам регистрируемого сигнала рассчитать ионосферные предвестники землетрясения;

- для пеленгации гипоцентра очага землетрясения необходимо измерять волновой

процесс в двух, взаимно ортогональных, плоскостях.

Задача, решаемая заявленным способом, состоит в измерении динамики волнового процесса плотности электронной концентрации, реализуемой путем пеленгации фазового центра волн двумя пунктами с диаграммами направленности антенн в двух взаимно-
5 ортогональных плоскостях на каждом пункте.

Технический результат достигается тем, что способ измерений ионосферных предвестников землетрясений включает регистрацию волн плотности электронной концентрации зондируемого слоя ионосферы на частоте ниже критической в виде дискретных цифровых отсчетов сигналов во взаимно ортогональных плоскостях $A_x(t)$,
10 $A_y(t)$ в двух, разнесенных на измерительной базе пунктах посредством антенн, с диаграммами направленности каждого из пунктов в ортогональных плоскостях, оси симметрии диаграмм направленности антенн по координате (х) ориентируют по направлению базы, обработку зарегистрированных выборок измерений сигналов, расчет направляющих косинусов вектора волн плотности электронной концентрации
15 каждого пункта:

$$\cos \alpha = \frac{A_x(t)}{\sqrt{A_x(t)^2 + A_y(t)^2}} \quad \cos \beta = \frac{A_y(t)}{\sqrt{A_x(t)^2 + A_y(t)^2}}$$

отождествление координат гипоцентра очага как проекции точки пересечения направляющих на земную поверхность, по изменениям амплитуд выборок измерений на интервале Δt вычисляют постоянную времени T сейсмического процесса как

$$T = \frac{\Delta t}{\ln \frac{(A_0 - A_1)}{(A_0 - A_2)}}$$

рассчитывают время удара $t_y = 4,7T$ и ожидаемую магнитуду как

$$\lg t_y[\text{сут}] = 0,54M - 3,37,$$

где A_0 - установившееся значение амплитуды сигнала предвестника, равное

$$A_0 = \frac{A_2^2 - A_1 A_3}{2A_2 - A_1 - A_3}$$

$\Delta t = (t_2 - t_1) = (t_3 - t_2)$ интервал времени между отсчетами измерений A_1, A_2, A_3 .

Изобретение поясняется чертежами, где:

фиг. 1 - плотность электронной концентрации в слоях ионосферы;

фиг. 2 - суточный ход критической частоты (плотности электронной концентрации) в слое F₂ а) невозмущенном состоянии, б) возмущенном, накануне сейсмического удара;

фиг. 3 - пеленгация фазового центра волн плотности электронной концентрации двумя пунктами, разнесенными на измерительной базе;

фиг. 4 - функция изменения амплитуды регистрируемого сигнала во времени;

фиг. 5 - функциональная схема устройства, реализующего способ.

Техническая сущность изобретения заключается в следующем. Накануне сейсмического удара в атмосфере происходит раскачка очага землетрясения [см., например, Патент Ru №2170446 кл. G.01.V, 9/00, 2001 г.] В приповерхностном слое атмосферы возникают акустолитосферные волны, которые, при их распространении вверх, служат «спусковым крючком» для возникновения плазменных волн электронной концентрации в слоях ионосферы. Исходная электронная концентрация $N[1/m^3]$ в слоях ионосферы иллюстрируется фиг. 1 [см., например, «Космонавтика», Энциклопедия, под ред. В.П. Глушко, М, Сов. энциклопедия, 1985 г., стр. 143]. Зарегистрированные в ряде экспериментов волны плотности электронной концентрации в ионосфере иллюстрируются графиками фиг. 2 [см., например, «Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов», Доклады конференции ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта, РАН, М, 1998 г., стр. 109]. За несколько часов до сейсмического удара, изменение критической частоты слоя F₂ из-за изменения плотности электронной концентрации $f_{кр} \approx 9\sqrt{N}$ может достигать 40...50%. Для измерения пространственных волн в ионосфере предлагается осуществлять ее зондирование с двух, разнесенных на измерительной базе, пунктов. Признаками предвестниками землетрясения являются: гипоцентр (координаты) очага, ожидаемое время сейсмического удара (t_y) и ожидаемая магнитуда (М).

Пеленгация фазового центра ионосферных волн иллюстрируется фиг. 3. Фазовый центр ионосферных волн находят как точку пересечения радиус-векторов. Положение радиус-векторов в пространстве полностью определяется косинус-направляющими. В прямоугольной системе координат, задаваемой ортогональными парами измерителей (13, 14), (15, 16), (17, 18), (19, 20) косинус-направляющая вектора равна отношению его проекции (Пр) на данную ось к длине вектора. Длины векторов R₁, R₂ фиг. 3 находятся как корень квадратный из суммы проекций:

$$\text{дл. } R_1 = \sqrt{\text{Пр}_{x_1}^2 + \text{Пр}_{y_1}^2}; \quad \cos \alpha = \frac{\text{Пр}_{x_1}}{\text{дл. } \bar{R}_1};$$

$$\text{дл. } R_2 = \sqrt{\text{Пр}_{x_2}^2 + \text{Пр}_{y_2}^2}; \quad \cos \beta = \frac{\text{Пр}_{x_2}}{\text{дл. } \bar{R}_2}$$

Проекции радиус-векторов пропорциональны сигналам на входе приемников в

ортогональных плоскостях x, y .

Кроме направления в пространстве, ионосферная волна характеризуется периодом (T) и амплитудой $A(t)$, которая изменяется во времени, фиг. 2. Из математики известно [см., например, Пискунов Н.С., «Дифференциальное и интегральное исчисления для ВТУЗов», учебник т. 1, 5-е издание, М, Наука, 1964 г., стр. 457-458], что сама функция и скорость ее изменения связаны дифференциальным уравнением первого порядка, общим решением которого является экспонента. Экспоненциальная зависимость обладает тем свойством, что по трем ее дискретным отсчетам может быть восстановлена вся функция и определен предел A_0 , к которому стремится экспонента:

$$A_0 = \frac{A_2^2 - A_1 A_3}{2A_2 - A_1 - A_3}$$

Где A_1, A_2, A_3 - амплитуды сигналов в моменты измерений (отсчетов) соответственно t_1, t_2, t_3 В свою очередь, постоянную времени процесса T определяют из соотношения:

$$T = \frac{\Delta t}{\ln \frac{(A_0 - A_1)}{(A_0 - A_2)}}$$

Δt - интервал времени наблюдений между отсчетами A_1, A_2 .

По постоянной времени переходного процесса прогнозируют характеристики ожидаемого сейсмического удара. Время удара - это интервал времени, за который амплитуда сигнала, с вероятностью близкой к единице, достигает установившегося значения A_0 , для экспоненты $t_{уст}=4,7T$ (с вероятностью 0,99). Магнитуду удара

определяют из соотношения Гутенберга-Рихтера: $\lg t_y[\text{сут}] = 0,54M - 3,37$ [см., например, «Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов», Доклады конференции ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта, РАН, М, 1998 г., стр. 10, стр. 13].

Пример реализации способа

Заявленный способ может быть реализован по схеме фиг. 5. Функциональная схема фиг. 5 содержит два пункта измерителей 1, 2, разнесенных в пространстве на расстояние измерительной базы 3. На каждом из пунктов установлено по две антенны 4, 5 и 6, 7 с диаграммами направленности во взаимно ортогональных плоскостях, оси диаграмм направленности антенн 5, 7 ориентируют по направленности базы 3, с подключенными к антеннам приемниками 8, 9 и 10, 11 соответственно. Гетеродины приемников

синхронизированы от единого передатчика 12, работающего в импульсном режиме, подключенного к антенне зондирования ионосферы 4. Выход каждого из приемников подключен к тракту обработки из последовательно включенных порогового устройства и аналогово-цифрового преобразователя соответственно (13, 14), (15, 16), (17, 18) и (19, 20). Все тракты обработки подключены к канальному коммутатору 21, имеющему выход на вход компьютера 22 обработки результатов измерений в составе элементов: процессора 23, оперативно-запоминающего устройства 24, винчестера 25, дисплея 26, принтера 27, клавиатуры 28. В компьютер закладывают программу обработки и программу синхронизации работы элементов измерителей, которую пересылают в программируемую схему выборки измерений 29. Результаты обработки выводят на сайт 30 сети Интернет для передачи потребителям.

Взаимодействие элементов устройства при прогнозировании землетрясений состоит в следующем. Известно «Явление раскачки очага землетрясения перед сейсмическим ударом», Научное открытие №365, 2008 г. [см., Потоцкий В.В., Бюллетень, Научные открытия, РАЕН, М, СПб, 2009 г., стр. 66-68].

Раскачка очага землетрясения сопровождается распространением от гипоцентра очага литосферных волн, которые через механизм передачи в виде акустических волн, возбуждают волны плотности электронной концентрации в ионосфере, как это иллюстрируется графиками фиг. 2.

Применительно к одной из возможных реализаций (фиг. 2, 4) установившееся значение сигнала A_0 (в шкале квантования 0...255 уровней) составило величину ~250. Значения A_1 и A_2 в интервале наблюдений $\Delta t = t_2 - t_1 = 8$ час, соответствовали $A_1 = 125$, $A_2 = 175$. Откуда постоянная времени

$$T = \frac{\Delta t}{\ln \frac{(A_0 - A_1)}{(A_0 - A_2)}} = 14,8 \text{ час}$$

Ожидаемое время удара $t_y = 4,7T = 70$ час = 2,9 суток.

Ожидаемая магнитуда удара $M \approx 7,1$ балла

Направляющие косинусы гипоцентра очага землетрясения (фиг. 3) для первого пункта $\alpha = 44^\circ$, для второго пункта $\beta = 62^\circ$.

Все элементы устройства представляют существующие технические разработки и средства аналогов. В устройстве использованы новые, по отношению к аналогам, элементы измерительной аппаратуры фирмы Briel & Kjaer, ENDEVCO (Дания) следующих моделей: канальный коммутатор, пороговое устройство, аналогово-цифровой преобразователь - многофункциональный блок, модель 3560-L. «Антенна для зондирования ионосферы», Патент Ru №2504054, 2014 г., широкополосная, работающая во всей полосе критических частот ионосферы, из двух, скрещенных в ортогональных плоскостях ромбов, подвешенных на опорной мачте из композитного материала, высотой 32 м, создающей геометрию главной диагонали ромбов, работающих в режиме

бегущей волны.

Эффективность способа характеризуется высокой чувствительностью, поскольку отраженный сигнал собирается с большой площади зондируемого участка ионосферы и, соответственно, увеличением интервала времени упреждающего прогноза

сейсмического удара.

(57) Формула изобретения

Способ измерения ионосферных предвестников землетрясений, включающий регистрацию волн плотности электронной концентрации зондируемого слоя ионосферы на частоте ниже критической в виде дискретных цифровых отсчетов сигналов во взаимно ортогональных плоскостях $A_x(t)$, $A_y(t)$ в двух разнесенных на измерительной базе пунктах посредством антенн с диаграммами направленности каждого из пунктов в ортогональных плоскостях, при этом оси симметрии диаграмм направленности антенн по координате (х) ориентируют по направлению базы, обработку зарегистрированных выборок измерений сигналов, расчет направляющих косинусов вектора волн плотности электронной концентрации каждого пункта:

$$\cos \alpha = \frac{A_x(t)}{\sqrt{A_x(t)^2 + A_y(t)^2}} \quad \cos \beta = \frac{A_y(t)}{\sqrt{A_x(t)^2 + A_y(t)^2}},$$

отождествление координат гипоцентра очага как проекции точки пересечения направляющих на земную поверхность, вычисление постоянной времени Т сейсмического процесса по изменениям амплитуд выборок измерений на интервале Δt :

$$T = \frac{\Delta t}{\ln \frac{(A_0 - A_1)}{(A_0 - A_2)}},$$

расчет времени удара $t_y = 4,7T$ и ожидаемой магнитуды как

$$\lg t_y[\text{сут}] = 0,54M - 3,37,$$

где A_0 - установившееся значение амплитуды сигнала предвестника, равное

5

$$A_0 = \frac{A_2^2 - A_1 A_3}{2A_2 - A_1 - A_3}$$

10 $\Delta t = (t_2 - t_1) = (t_3 - t_2)$ - интервал времени между отсчетами измерений A_1, A_2, A_3 .

15

20

25

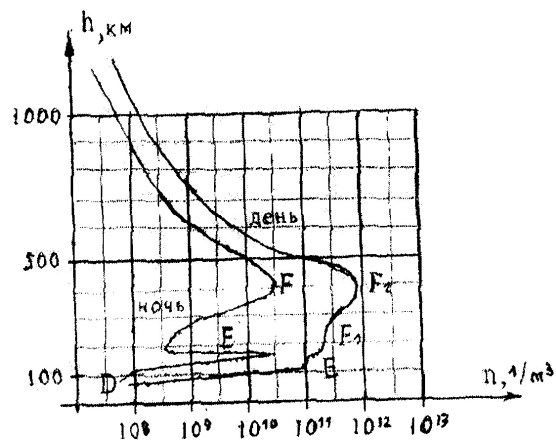
30

35

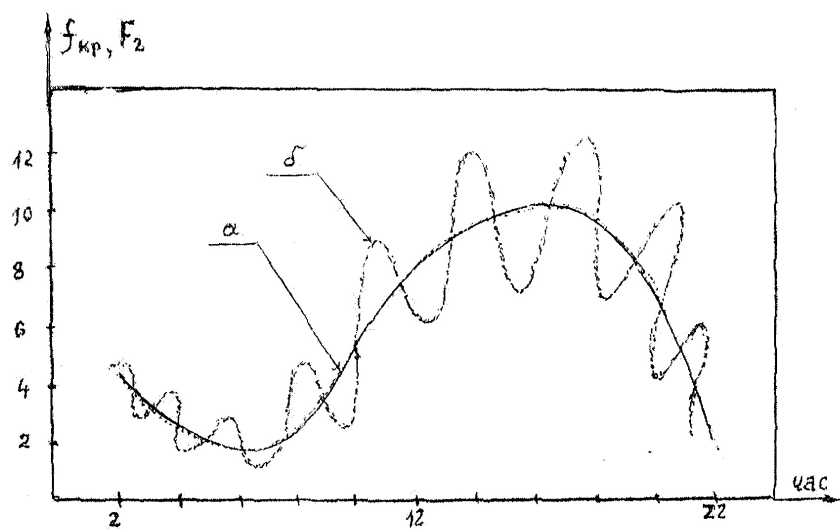
40

45

1

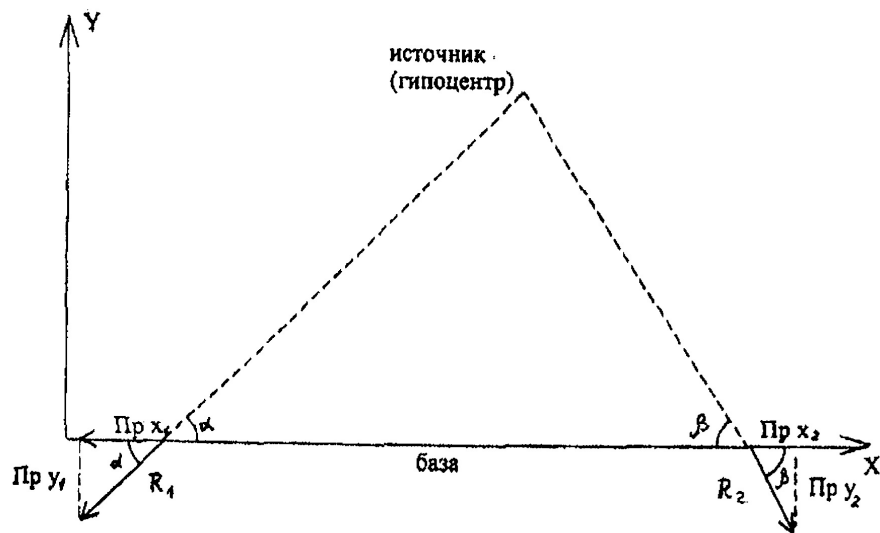


Фиг. 1

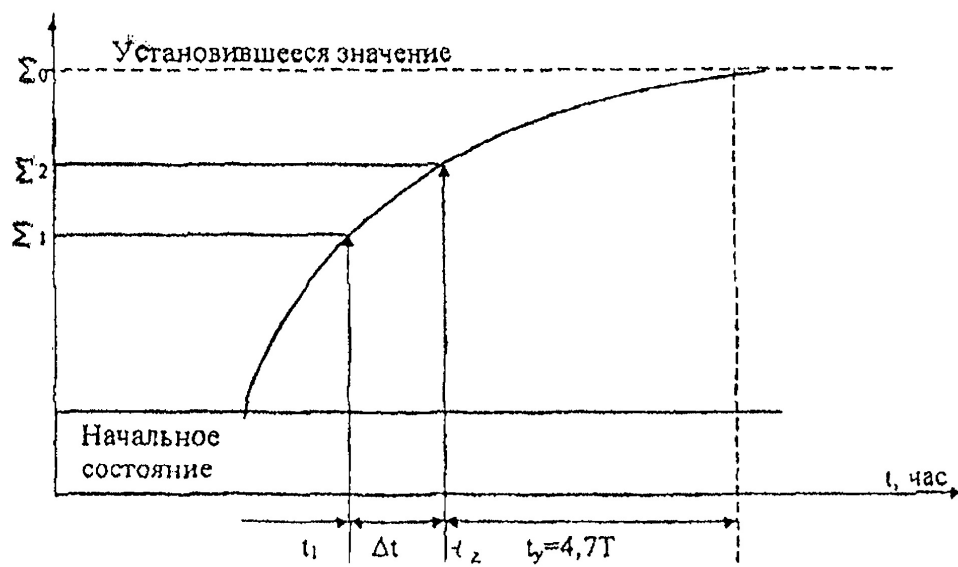


Фиг. 2

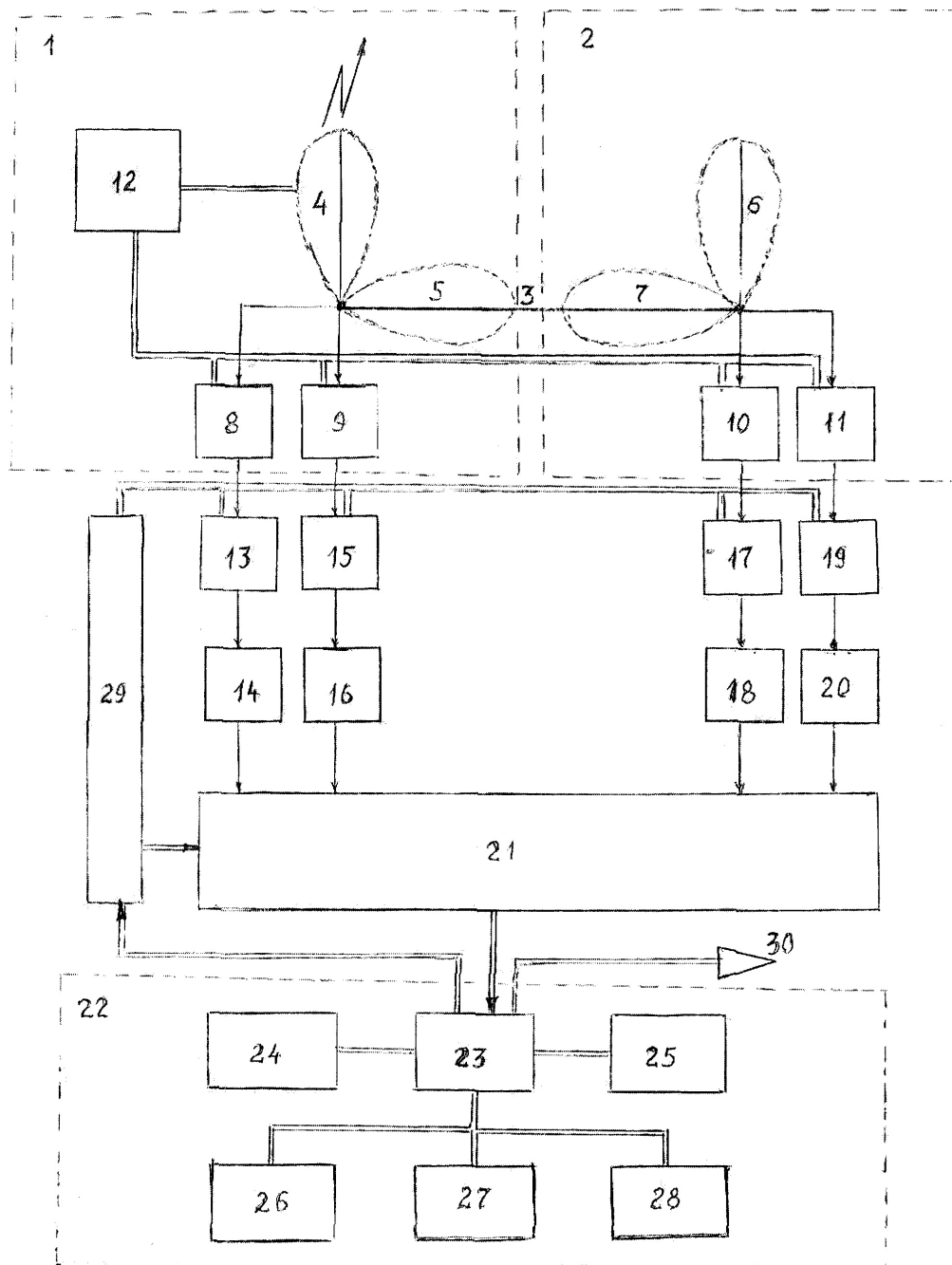
2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5