



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011118313/28, 05.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.05.2011

(45) Опубликовано: 27.11.2012 Бюл. № 33

Адрес для переписки:

199155, Санкт-Петербург, ул. Одоевского, 26,
"ФГУ 24 ЦНИИ МО РФ"

(72) Автор(ы):

Елисеев Валерий Николаевич (RU),
Катанович Андрей Андреевич (RU),
Ивченко Борис Павлович (RU),
Пашкевич Лидия Алексеевна (RU),
Передин Юрий Григорьевич (RU)

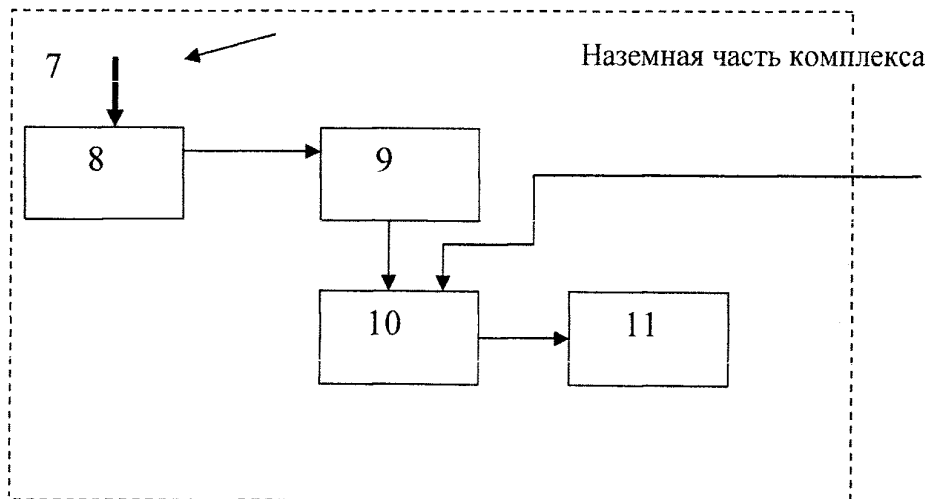
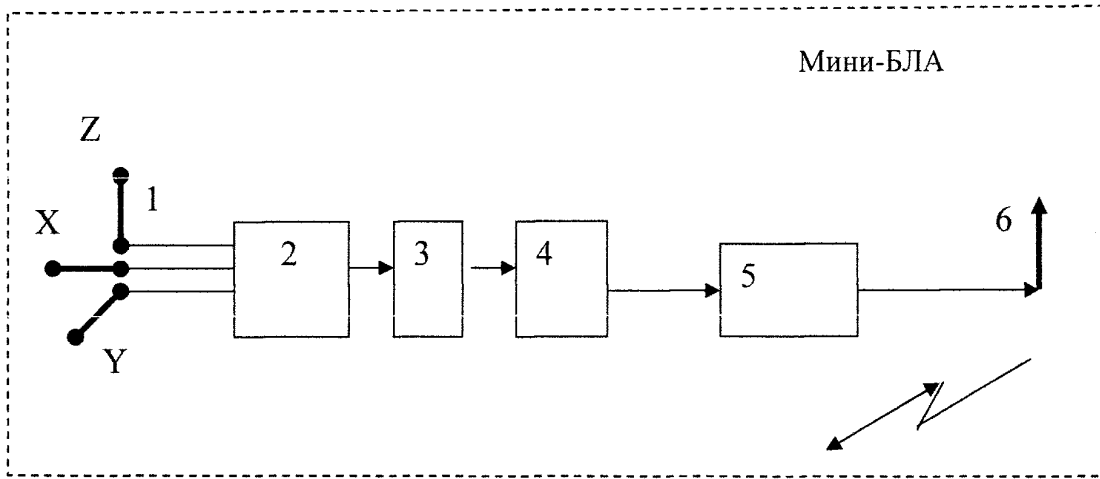
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное унитарное
предприятие "Научно-исследовательский
институт автоматизированных систем и
комплексов связи "Нептун" (RU),
Федеральное государственное учреждение
"24 Центальный научно-исследовательский
институт Министерства обороны Российской
Федерации" (RU)

(54) АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ

Формула полезной модели

Автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки, включающий измерительное устройство, состоящее из последовательно соединенных измерительной антенны, первого радиоприемника и первого аналого-цифрового преобразователя, и устройство обработки и отображения данных, состоящее из последовательно соединенных персональной электронно-вычислительной машины и дисплея, отличающийся тем, что измерительное устройство располагается на миниатюрном беспилотном летательном аппарате, кроме того, дополнительно введен канал передачи данных, состоящий из расположенных на миниатюрном беспилотном летательном аппарате последовательно соединенных сигнального процессора, радиопередатчика и передающей антенны, а также расположенных на земле последовательно соединенных приемной антенны, второго радиоприемника и второго аналого-цифрового преобразователя, выход которого соединен с первым входом данных персональной электронно-вычислительной машины, на второй вход которой подаются данные о координатах миниатюрного беспилотного летательного аппарата с пульта дистанционного управления, при этом вход сигнального процессора соединен с выходом первого аналого-цифрового преобразователя.



От аппаратуры
дистанционного
управления

RU 122537 U1

RU 122537 U1

Изобретение относится к области электрорадиотехники, а именно к средствам контроля напряженности электромагнитного поля (ЭМП) в помещениях и ограниченных объемах пространства, например, на верхней палубе корабля, и может быть использована в составе измерительных комплексов и испытательных стендов в период проведения испытаний (проверок) кораблей и стационарных узлов связи на обеспечение безопасности личного состава.

Автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки (ЭМО) предназначен для измерения напряженности ЭМП в дискретных точках ограниченного объема пространства, при этом измерительная антенна располагается на миниатюрном беспилотном летательном аппарате (мини-БЛА). Путем обработки результатов измерения напряженности ЭМП получают на дисплее визуальное 3-х мерное изображение ЭМП в анализируемом пространстве, определяют области пространства (опасные зоны), в которых напряженность ЭМП превышает предельно допустимые величины, приведенные в «Санитарных нормах...» [1-2]. Должны быть приняты меры для исключения нахождения персонала в опасных зонах.

Как правило, контроль ЭМО осуществляют путем измерения вектора напряженности электромагнитного поля в отдельных точках (узлах) пространства на ряде фиксированных частот с помощью измерительных радиоприемников с калиброванной антенной типа ПЗ-15, ПЗ-16, ПЗ-17 [3]. Для убыстрения процесса измерения напряженности ЭМП в полосе частот в качестве измерительных радиоприемников используются сканирующие радиоприемники.

Известны сканирующие радиоприемники, предназначенные для решения широкого круга задач радиоконтроля: см., например, Проспект фирмы «НЕЛК», - 2004, Раздел сканирующие приемники, Бюллетень ВИНТИ «Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления». Серия: «Технические средства разведывательных служб зарубежных государств» №12, М. - 2005 стр.27-37. Типы сканирующих приемников: IC-PCR1000, IC-R8500, AR-3000A, AR-5000A, AR-8200 и т.п.

Известны тестовые приемники (анализаторы спектра) R&S ESPI фирмы Rohde & Schwarz (см. Проспект фирмы Rohde & Schwarz, 2006, Бюллетень ВИНТИ «Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств - участников СНГ и технических средствах его выявления». Серия: «Технические средства разведывательных служб зарубежных государств» №6, М. - 2006 стр.41-48.

Измерители напряженности ЭМП на основе сканирующих (тестовых) приемников состоят из калиброванной измерительной антенны, входного аттенюатора, аналоговой высокочастотной части супергетеродинного приемника с двойным или тройным преобразованием частоты (тюнера), устройства цифровой обработки сигналов (ЦОС), подключаемого к выходу промежуточной частоты тюнера, и управляющей ПЭВМ со специальным программным обеспечением. В интересах повышения быстродействия приемников используются широкополосные тюнеры, имеющие полосы пропускания от 200 кГц до единиц МГц.

При измерении напряженности ЭМП в некотором пространстве измерительная антенна последовательно переносится в отдельные точки пространства и устанавливается на различных высотах относительно поверхности (пола в помещении, надстройки или палубы корабля). При этом антенна может устанавливаться или на специальном держателе типа треноги, или удерживаться в руках оператора. Недостатками подобных измерителей напряженности ЭМП являются недостаточная

точность измерения напряженности ЭМП вследствие искажения этого поля держателем или человеком, а также большое время анализа ЭМП вследствие последовательной установки измерительной антенны в отдельные точки анализируемого пространства и проведения измерений напряженности ЭМП в этих точках.

5 Наиболее близким к заявляемому устройству является автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки, описанный в патенте на полезную модель №68214 от 10.11.2007 г.[4].

Комплекс состоит из последовательно соединенных антенны, антенного разветвителя, радиоприемника, аналого-цифрового преобразователя, ПЭВМ и дисплея.

10 Как аналоги, так и прототип предназначены в основном для измерения наведенных напряжений ЭМП в антеннах, стационарно расположенных на объекте. При измерении же напряженности поля в некотором ограниченном пространстве они обладают следующими недостатками:

1) недостаточная точность измерения напряженности электромагнитного поля
15 вследствие искажения этого поля специальным держателем или человеком, удерживающим измерительную антенну;

2) большое время анализа ЭМП вследствие последовательной установки измерительной антенны в отдельные точки анализируемого пространства и проведения измерений напряженности ЭМП в этих точках.

20 Как показал опыт проведения измерений напряженности ЭМП в отдельных помещениях корабля, подводной лодки или на стационарных узлах связи, колебания напряженности ЭМП при различных относительных положениях человека или треноги и измерительной антенны по отношению друг к другу и окружающим приборам и надстройкам составляют $\pm(8-10)$ дБ. Такие ошибки в измерении напряженности ЭМП
25 недопустимы при решении конкретных задач, которыми могут быть:

- определение областей пространства нахождения личного состава, в которых напряженность ЭМП превышает предельно допустимую величину;

- определение мест размещения ретрансляторов в помещениях корабля (подводной лодки), при которых исключаются «мертвые» зоны при приеме (передаче) сигналов
30 подвижной радиосвязи в помещениях корабля.

Целью полезной модели является повышение точности и снижение времени измерения картины напряженности ЭМП в ограниченной области пространства.

Поставленная цель достигается тем, что в автоматизированном комплексе контроля электромагнитной обстановки (ЭМО), включающем измерительное устройство,
35 состоящее из последовательно соединенных измерительной антенны, первого радиоприемника и первого аналого-цифрового преобразователя, и устройство обработки и отображения данных, состоящее из последовательно соединенных персональной электронно-вычислительной машины и дисплея, измерительное устройство располагается на миниатюрном беспилотном летательном аппарате (мини-БЛА), кроме
40 того, в него дополнительно введен канал передачи данных, состоящий из расположенных на мини-БЛА последовательно соединенных сигнального процессора, радиопередатчика и передающей антенны, а также расположенных на земле последовательно соединенных приемной антенны, второго радиоприемника и второго аналого-цифрового преобразователя, выход которого соединен с первым входом данных персональной
45 электронно-вычислительной машины, на второй вход которой подаются данные о координатах мини-БЛА с пульта дистанционного управления мини-БЛА, при этом вход сигнального процессора соединен с выходом первого аналого-цифрового преобразователя.

На фиг.1 показана блок-схема автоматизированного комплекса контроля ЭМО. Она состоит из следующих элементов:

- 1 - измерительная антенна;
- 2 - первый радиоприемник;
- 5 3 - первый аналого-цифровой преобразователь;
- 4 - сигнальный процессор;
- 5 - радиопередатчик;
- 6 - передающая антенна;
- 7 - приемная антенна;
- 10 8 - второй радиоприемник;
- 9 - второй аналого-цифровой преобразователь;
- 10 - персональная электронно-вычислительная машина;
- 11 - дисплей;

С целью уменьшения влияния измерительной антенны на картину электромагнитного поля в ограниченном пространстве предложено разместить ее на миниатюрном беспилотном летательном аппарате. Сегодня разработаны новые технологии, позволяющие создавать миниатюрные летательные аппараты длиной не более 15 см, весом в 110 г, несущие полезную нагрузку в 56 г и развивающие скорость до 32 км/ч [5-8]. Пример такого мини-БЛА, уместяющегося на ладони, показан на фиг.2.

В настоящее время общее количество различных беспилотных летательных аппаратов, которые разработаны, разрабатываются или находятся в серийном производстве, насчитывает около тысячи типов. При этом общее количество различных типов БЛА за последние четыре года увеличилось в два раза. БЛА начинают использоваться не только в военном деле, но и для решения широкого круга народнохозяйственных задач. В изобретении предлагается использовать мини-БЛА для контроля напряженности электромагнитного поля в ограниченных пространствах, например, в помещениях или на палубе корабля. Использование мини-БЛА вместо типовых держателей измерительной антенны позволит уменьшить искажение электромагнитного поля ориентировочно на порядок (во столько раз мини-БЛА меньше по размерам типового держателя измерительной антенны) и сократит время измерения картины поля в пространстве за счет реализации возможности автоматизации процесса измерения ЭМП.

Автоматизированный комплекс контроля ЭМО работает следующим образом.

Мини-БЛА осуществляет полет в ограниченном пространстве по специальной программе, последовательно проходя точки, в которых производятся измерения напряженности ЭМП. Для организации программы полета БЛА анализируемая область пространства разбивается на ряд горизонтальных плоскостей с расстоянием между ними Δz . На каждой плоскости наносится сетка с расстоянием между узлами сетки Δx и Δy . Управление мини-БЛА осуществляется с пульта дистанционного управления оператором.

Пример траектории полета мини-БЛА в ограниченном пространстве приведен на фиг.3.

В качестве измерительной антенны 1, установленной на мини-БЛА, могут использоваться следующие антенны в зависимости от диапазона частот, в котором измеряется ЭМП [9]:

- короткие вибраторные (стержневые) антенны при измерениях в диапазоне частот от 14 кГц до 300 МГц; длина антенны может составлять 10-20 см;
- коническая логарифмическая спиральная антенна при измерениях в диапазоне от

200 МГц до 1,0 ГГц.

Поляризация электромагнитного поля в помещениях с аппаратурой и на объектах с множественными конструкциями непредсказуема вследствие переотражений радиоволн. С целью измерения вектора напряженности ЭМП следует использовать в качестве измерительной антенны три коротких вибратора для измерения трех составляющих напряженности ЭМП, как это показано на фиг.1. В вибраторах наводятся напряжения, пропорциональные составляющим напряженности ЭМП в 3-х координатах: горизонтальной продольной - E_x , горизонтальной поперечной - E_y , и вертикальной - E_z .

В каждом узле сетки анализируемого пространства с координатами (x_j, y_j, z_j) , в течение времени взятия выборки производится измерение нескольких значений составляющих напряженности ЭМП, образующих выборку значений напряженности поля в последовательные моменты времени $t_i = t_0 + i\Delta t$: $E_x(t_i, x_j, y_j, z_j)$, $E_y(t_i, x_j, y_j, z_j)$, $E_z(t_i, x_j, y_j, z_j)$. Выборки необходимы для последующего определения спектров сигналов напряженности ЭМП.

Напряжения с выходов антенны 1 поступают на входы многоканального цифрового радиоприемника, представляющего собой последовательно соединенные первый радиоприемник 2 (многоканальный) и аналого-цифровой преобразователь 3. Современная цифровая элементная база позволяет реализовывать аналого-цифровое преобразование широкополосного группового сигнала на радиочастоте без предварительного усиления и частотного преобразования. Известны 14-разрядные аналого-цифровые преобразователи, например, фирмы Texas Instrument ADS5474, которые позволяют в диапазонах частот до 1,5 ГГц преобразовывать групповой сигнал радиоэфира полосой до 200 МГц в цифровую форму напрямую без предварительного частотного преобразования [10]. При использовании таких аналого-цифровых преобразователей первый радиоприемник может отсутствовать.

Выходные сигналы аналого-цифрового преобразователя 3 в виде цифровых кодов назовем как «данные контроля напряженности электромагнитного поля». Обобщенный поток данных контроля напряженности электромагнитного поля поступает в сигнальный процессор 4, где производится канальное кодирование данных с целью обеспечения требуемой помехоустойчивости в канале передачи данных. Кодированные цифровые сигналы с выхода сигнального процессора 4 поступают на модуляционный вход радиопередатчика 5 канала передачи данных, с выхода которого поступают на вход передающей антенны канала связи 6 и излучаются. Радиопередатчик 5, передающая антенна 6, расположенные на мини-БЛА, приемная антенна 7 и второй радиоприемник 8, расположенные на земле, образуют канал передачи данных с мини-БЛА на наземную часть комплекса контроля ЭМО. Дальность связи этого канала невелика, в пределах 20-300 м. Рабочая частота канала связи выбирается таким образом, чтобы она была выше рабочего диапазона частот анализируемого ЭМП. Например, если анализируется ЭМП в полосе частот средств радиосвязи объекта, то верхняя частота анализа составляет 1,5 ГГц. Тогда рабочую частоту канала связи следует выбрать выше 2 ГГц.

Высокочастотное напряжение $u_{c+ш}(t)$ сигналов, шумов и помех, наводимое в приемной антенне 7, подается на вход второго радиоприемника 8, в котором осуществляется фильтрация, усиление, демодуляция и преобразование наведенного напряжения в низкочастотный сигнал - обозначим его как $U_{c+ш}(t)$. Радиоприемник устанавливается в режим телефонии. Напряжение $u_{c+ш}(t)$ пропорционально уровню напряженности поля

в соответствующих узлах сетки анализируемого пространства:

$$U_{c+ш}(t_i) = K_{АНТ} K_{ПД} E_{X,Y,Z}(t_i, x_j, y_j, z_j),$$

где $K_{АНТ}$ - действующая длина измерительной антенны;

$K_{ПД}$ - суммарный коэффициент передачи канала передачи данных от входа первого радиоприемника до выхода второго радиоприемника 8.

С низкочастотного выхода радиоприемника 8 напряжение подается на вход второго аналого-цифрового преобразователя 9, в котором производится оцифровка аналогового сигнала и его кодирование.

В ПЭВМ 10 производится обработка принятых с мини-БЛА сигналов следующим образом:

1) Определяются составляющие напряженности ЭМП в каждой точке анализируемого пространства с текущими координатами (x_j, y_j, z_j) как функция текущего времени (t_i) и координат мини-БЛА (x_j, y_j, z_j) следующим образом:

$$E_{X,Y,Z}(t_i, x_j, y_j, z_j) = \frac{U_{c+ш}(t_i)}{K_{АНТ} K_{ПД}}$$

2) Определяется модуль напряженности ЭМП в каждой точке анализируемого пространства с текущими координатами (x_j, y_j, z_j) как функция текущего времени (t_i) и координат мини-БЛА (x_j, y_j, z_j) следующим образом:

$$E(t_i, x_j, y_j, z_j) = \sqrt{E_X^2(t_i, x_j, y_j, z_j) + E_Y^2(t_i, x_j, y_j, z_j) + E_Z^2(t_i, x_j, y_j, z_j)}.$$

3) Определяются спектры сигналов напряженности ЭМП в каждой точке анализируемого пространства с текущими координатами (x_j, y_j, z_j) в анализируемой полосе частот в виде коэффициентов преобразования Фурье следующим образом:

$$C_k(x_j, y_j, z_j) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N E_n(t_n, x_j, y_j, z_j) e^{(2\pi i / N)nk},$$

где $n=1 \dots N$ - порядковый номер и общее количество отсчетов напряженности поля в выборке;

$k=1 \dots K$ - порядковый номер коэффициента Фурье и общее количество анализируемых частот в спектре сигнала напряженности поля.

Картинки спектров частот ЭМП в узлах анализируемого пространства позволяют выявлять полосы частот с максимальными уровнями ЭМП.

Данные о координатах полета мини-БЛА, соответствующих координатам узлов измерения ЭМП в анализируемом пространстве, поступают на второй вход ПЭВМ 10. Результаты измерения напряженности ЭМП в анализируемом пространстве выводятся на дисплей 11.

Пример результатов контроля напряженности ЭМП в прямоугольном пространстве в виде функций $E(t_i, x_j, y_j, z_j)$ на отдельных плоскостях анализируемого пространства показан на фиг.4.

Оценим некоторые временные и частотные характеристики комплекса контроля электромагнитного поля. Для примера примем объем анализируемого пространства по координатным осям $\Delta X=10$ м, $\Delta Y=5$ м, $\Delta Z=2$ м равным 100 м³. Дискрет измерения $\Delta x=\Delta y=\Delta z=0,5$ м. При этом количество узлов пространства, в которых необходимо произвести измерения напряженности ЭМП, составит

$$K = \left(\frac{\Delta X}{\Delta x} + 1\right) \left(\frac{\Delta Y}{\Delta y} + 1\right) \left(\frac{\Delta Z}{\Delta z} + 1\right) = 1155.$$

Для примера мы хотим получить картину напряженности ЭМП в полосе частот до $f_B=300$ МГц. Тогда в соответствии с теоремой Котельникова временной дискрет при

5 взятии выборки уровней напряженности поля составит $\Delta t = \frac{1}{2f_B} = 1,7$ нс. Время

взятия выборки соответствует периоду наименьшей анализируемой частоты в спектре сигнала. При наименьшей частоте $f_H=1$ МГц ее период и, следовательно, время взятия
10 выборки составит 1 мкс. За это время будет получено 600 отсчетов уровней напряженности ЭМП. Таким образом, в каждом узле анализируемого пространства будет получена выборка из 600 отсчетов уровней ЭМП.

Оценим требуемую пропускную способность канала передачи данных с мини-БЛА на наземную часть комплекса контроля ЭМО. Будем предполагать, что скорость полета
15 мини-БЛА такова, что продолжительность полета между узлами пространства составляет 1 с. При расстоянии между узлами 0,5 м это соответствует невысокой скорости полета 0,5 м/с или 30 м/мин или 1,8 км/час. Каждую секунду необходимо передавать данные, соответствующие 600 отсчетам уровня напряженности ЭМП. При
20 3-х координатной антенне и 12-ти разрядном АЦП это будет соответствовать потоку данных со скоростью 21,6 кбит/с. Такой объем информации с данными контроля напряженности ЭМП может передаваться в полосе телефонного канала 4,5-5,0 кГц. Современные эффективные методы модуляции типа OFDM обеспечивают скорость передачи данных в полосе телефонного канала до 25 кбит/с. При этом общее время измерения картины ЭМП в анализируемом пространстве составит 19,2 мин.

25 Техничко-экономический эффект от внедрения заявляемого устройства по сравнению с аналогами и прототипом заключается в повышении точности и сокращении времени измерения картины напряженности электромагнитного поля в ограниченной области пространства

При получении такой же 3-х мерной картины ЭМП с помощью устройства-прототипа,
30 когда измерительная антенна последовательно устанавливается в каждый узел анализируемого пространства и производятся измерения, общее время измерения будет значительно больше: если время установки измерительной антенны в каждый узел пространства и измерения уровня напряженности составляет не менее 2-3 мин, то
35 соответствующий выигрыш во времени проведения контроля в ограниченном пространстве составит 120-180 раз. При этом точность измерения напряженности ЭМП увеличивается на порядок за счет соответствующего уменьшения габаритов носителя измерительной антенны.

Литература

1. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. «Санитарные правила и нормы. Электромагнитные
40 излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Госкомсанэпиднадзор РФ, 1996.

2. ГОСТ 12.1.006-76. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.

3. Руководящий документ РД5Р.8713-93. «Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Методы оценки электромагнитных полей и средства защиты личного состава судов от
45 облучения».

4. Пашкевич А.А., Катанович А.А. и др. Автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки. Патент РФ на полезную модель №68214 от 10.11.2007 г.

5. Попов В.А., Федутинов Д.В. Развитие направления миниатюрных беспилотных летательных аппаратов за рубежом. Труды ФГУП «ГосНИИАС», 2002 г.

6. Леоновец Ю. Реальность и перспективы использования беспилотных летательных аппаратов. «Армия», №1, 2010 г.

5 7. Олегов С. Кибер-насекомые в мундирах. http://jtdigest/narod/m/dig3_04/insect.htm.

8. Каталог фирмы ЗАО «НЕЛК»: Технические системы обеспечения безопасности, 2010 г. Часть 8. «Колибри - комплекс воздушного мониторинга».

9. Дональд Уайт. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып.3. Измерение электромагнитных помех и измерительная
10 аппаратура. Изд. «Советское радио», М. 1979 г.

10. Романов Э.Ю., Иванкович М.В. Универсальный приемник на основе высокоскоростного аналого-цифрового преобразования группового сигнала. Электросвязь, №6, 2008 г.

15 (57) Реферат

Автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки (ЭМО) относится к области электрорадиотехники, а именно к средствам контроля напряженности электромагнитного поля (ЭМП) в помещениях и ограниченных объемах пространства, например, на верхней палубе корабля, и может быть использован в
20 составе измерительных комплексов и испытательных стендов в период проведения испытаний (проверок) кораблей и стационарных узлов связи на обеспечение безопасности личного состава.

Технико-экономический эффект от внедрения заявляемого устройства по сравнению с аналогами и прототипом заключается в повышении точности и сокращении времени
25 измерения картины напряженности электромагнитного поля в ограниченной области пространства за счет размещения измерительной части комплекса на миниатюрном беспилотном летательном аппарате. Выигрыш во времени проведения контроля в ограниченном пространстве составит 120 - 180 раз. При этом точность измерения напряженности ЭМП увеличивается на порядок за счет соответствующего уменьшения
30 габаритов носителя измерительной антенны.

35

40

45

Реферат

Автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки (ЭМО) относится к области электрорадиотехники, а именно к средствам контроля напряженности электромагнитного поля (ЭМП) в помещениях и ограниченных объемах пространства, например, на верхней палубе корабля, и может быть использован в составе измерительных комплексов и испытательных стендов в период проведения испытаний (проверок) кораблей и стационарных узлов связи на обеспечение безопасности личного состава.

Технико-экономический эффект от внедрения заявляемого устройства по сравнению с аналогами и прототипом заключается в повышении точности и сокращении времени измерения картины напряженности электромагнитного поля в ограниченной области пространства за счет размещения измерительной части комплекса на миниатюрном беспилотном летательном аппарате. Выигрыш во времени проведения контроля в ограниченном пространстве составит 120 – 180 раз. При этом точность измерения напряженности ЭМП увеличивается на порядок за счет соответствующего уменьшения габаритов носителя измерительной антенны.

Автоматизированный комплекс контроля
электромагнитной обстановки

201118313



Кл. Н04 В 17/00

Изобретение относится к области электрорадиотехники, а именно к средствам контроля напряженности электромагнитного поля (ЭМП) в помещениях и ограниченных объемах пространства, например, на верхней палубе корабля, и может быть использована в составе измерительных комплексов и испытательных стендов в период проведения испытаний (проверок) кораблей и стационарных узлов связи на обеспечение безопасности личного состава.

Автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки (ЭМО) предназначен для измерения напряженности ЭМП в дискретных точках ограниченного объема пространства, при этом измерительная антенна располагается на миниатюрном беспилотном летательном аппарате (мини-БЛА). Путем обработки результатов измерения напряженности ЭМП получают на дисплее визуальное 3-х мерное изображение ЭМП в анализируемом пространстве, определяют области пространства (опасные зоны), в которых напряженность ЭМП превышает предельно допустимые величины, приведенные в «Санитарных нормах» [1 - 2]. Должны быть приняты меры для исключения нахождения персонала в опасных зонах.

Как правило, контроль ЭМО осуществляют путем измерения вектора напряженности электромагнитного поля в отдельных точках (узлах) пространства на ряде фиксированных частот с помощью измерительных радиоприемников с калиброванной антенной типа ПЗ-15, ПЗ-16, ПЗ-17 [3]. Для убыстрения процесса измерения напряженности ЭМП в полосе частот в качестве измерительных радиоприемников используются сканирующие радиоприемники.

Известны сканирующие радиоприемники, предназначенные для решения широкого круга задач радиоконтроля: см., например, Проспект фирмы «НЕЛК», - 2004, Раздел сканирующие приемники, Бюллетень ВИНТИ «Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале

государств – участников СНГ и технических средствах его выявления». Серия: «Технические средства разведывательных служб зарубежных государств» № 12, М. – 2005 стр. 27 - 37. Типы сканирующих приемников: IC-PCR1000, IC-R8500, AR-3000A, AR-5000A, AR-8200 и т.п.

Известны тестовые приемники (анализаторы спектра) R&S ESPI фирмы Rohde & Schwarz (см. Проспект фирмы Rohde & Schwarz, 2006, Бюллетень ВИНТИ «Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств – участников СНГ и технических средствах его выявления». Серия: «Технические средства разведывательных служб зарубежных государств» № 6, М. – 2006 стр. 41 - 48.

Измерители напряженности ЭМП на основе сканирующих (тестовых) приемников состоят из калиброванной измерительной антенны, входного аттенюатора, аналоговой высокочастотной части супергетеродинного приемника с двойным или тройным преобразованием частоты (тюнера), устройства цифровой обработки сигналов (ЦОС), подключаемого к выходу промежуточной частоты тюнера, и управляющей ПЭВМ со специальным программным обеспечением. В интересах повышения быстродействия приемников используются широкополосные тюнеры, имеющие полосы пропускания от 200 кГц до единиц МГц.

При измерении напряженности ЭМП в некотором пространстве измерительная антенна последовательно переносится в отдельные точки пространства и устанавливается на различных высотах относительно поверхности (пола в помещении, надстройки или палубы корабля). При этом антенна может устанавливаться или на специальном держателе типа треноги, или удерживаться в руках оператора. Недостатками подобных измерителей напряженности ЭМП являются недостаточная точность измерения напряженности ЭМП вследствие искажения этого поля держателем или человеком, а также большое время анализа ЭМП вследствие последовательной установки измерительной антенны в отдельные точки анализируемого пространства и проведения измерений напряженности ЭМП в этих точках.

Наиболее близким к заявляемому устройству является автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки, описанный в патенте на полезную модель № 68214 от 10.11.2007 г. [4].

Комплекс состоит из последовательно соединенных антенны, антенного разветвителя, радиоприемника, аналого-цифрового преобразователя, ПЭВМ и дисплея.

Как аналоги, так и прототип предназначены в основном для измерения наведенных напряжений ЭМП в антеннах, стационарно расположенных на объекте. При измерении же напряженности поля в некотором ограниченном пространстве они обладают следующими недостатками:

1) недостаточная точность измерения напряженности электромагнитного поля вследствие искажения этого поля специальным держателем или человеком, удерживающим измерительную антенну;

2) большое время анализа ЭМП вследствие последовательной установки измерительной антенны в отдельные точки анализируемого пространства и проведения измерений напряженности ЭМП в этих точках.

Как показал опыт проведения измерений напряженности ЭМП в отдельных помещениях корабля, подводной лодки или на стационарных узлах связи, колебания напряженности ЭМП при различных относительных положениях человека или треноги и измерительной антенны по отношению друг к другу и окружающим приборам и надстройкам составляют $\pm(8-10)$ дБ. Такие ошибки в измерении напряженности ЭМП недопустимы при решении конкретных задач, которыми могут быть:

- определение областей пространства нахождения личного состава, в которых напряженность ЭМП превышает предельно допустимую величину;

- определение мест размещения ретрансляторов в помещениях корабля (подводной лодки), при которых исключаются «мертвые» зоны при приеме (передаче) сигналов подвижной радиосвязи в помещениях корабля.

Целью полезной модели является повышение точности и снижение времени измерения картины напряженности ЭМП в ограниченной области пространства.

Поставленная цель достигается тем, что в автоматизированном комплексе контроля электромагнитной обстановки (ЭМО), включающем измерительное устройство, состоящее из последовательно соединенных измерительной антенны, первого радиоприемника и первого аналого-цифрового преобразователя, и устройство обработки и отображения данных, состоящее из последовательно соединенных персональной электронно-вычислительной машины и дисплея, измерительное устройство располагается на миниатюрном беспилотном летательном аппарате (мини-БЛА), кроме того, в него дополнительно введен канал передачи данных, состоящий из расположенных на мини-БЛА последовательно соединенных сигнального процессора, радиопередатчика и передающей антенны, а также расположенных на земле последовательно соединенных приемной антенны, второго радиоприемника и второго аналого-цифрового преобразователя, выход которого соединен с первым входом данных персональной электронно-вычислительной машины, на второй вход которой подаются данные о координатах мини-БЛА с пульта дистанционного управления мини-БЛА, при этом вход сигнального процессора соединен с выходом первого аналого-цифрового преобразователя.

На фиг. 1 показана блок-схема автоматизированного комплекса контроля ЭМО.

Она состоит из следующих элементов:

- 1 – измерительная антенна;
- 2 – первый радиоприемник;
- 3 – первый аналого-цифровой преобразователь;
- 4 – сигнальный процессор;
- 5 – радиопередатчик;
- 6 – передающая антенна;
- 7 – приемная антенна;
- 8 – второй радиоприемник;
- 9 – второй аналого-цифровой преобразователь;
- 10 – персональная электронно-вычислительная машина;
- 11 – дисплей;

С целью уменьшения влияния измерительной антенны на картину электромагнитного поля в ограниченном пространстве предложено разместить ее на миниатюрном беспилотном летательном аппарате. Сегодня разработаны новые технологии, позволяющие создавать миниатюрные летательные аппараты длиной не более 15 см, весом в 110 г, несущие полезную нагрузку в 56 г и развивающие скорость до 32 км/ч [5-8]. Пример такого мини-БЛА, уместяющегося на ладони, показан на ¹фиг. 2.

В настоящее время общее количество различных беспилотных летательных аппаратов, которые разработаны, разрабатываются или находятся в серийном производстве, насчитывает около тысячи типов. При этом общее количество различных типов БЛА за последние четыре года увеличилось в два раза. БЛА начинают использоваться не только в военном деле, но и для решения широкого круга народнохозяйственных задач. В изобретении предлагается использовать мини-БЛА для контроля напряженности электромагнитного поля в ограниченных пространствах, например, в помещениях или на палубе корабля. Использование мини-БЛА вместо типовых держателей измерительной антенны позволит уменьшить искажение электромагнитного поля ориентировочно на порядок (во столько раз мини-БЛА меньше по размерам типового держателя измерительной антенны) и сократит время измерения картины поля в пространстве за счет реализации возможности автоматизации процесса измерения ЭМП.

Автоматизированный комплекс контроля ЭМО работает следующим образом.

Мини-БЛА осуществляет полет в ограниченном пространстве по специальной программе, последовательно проходя точки, в которых производятся измерения напряженности ЭМП. Для организации программы полета БЛА анализируемая область пространства разбивается на ряд горизонтальных плоскостей с расстоянием между ними Δz . На каждой плоскости наносится сетка с расстоянием между узлами сетки Δx и Δy . Управление мини-БЛА осуществляется с пульта дистанционного управления оператором.

Пример траектории полета мини-БЛА в ограниченном пространстве приведен на фиг. 3.

В качестве измерительной антенны 1, установленной на мини-БЛА, могут использоваться следующие антенны в зависимости от диапазона частот, в котором измеряется ЭМП [9]:

- короткие вибраторные (стержневые) антенны при измерениях в диапазоне частот от 14 кГц до 300 МГц; длина антенны может составлять 10 - 20 см;

- коническая логарифмическая спиральная антенна при измерениях в диапазоне от 200 МГц до 1,0 ГГц.

Поляризация электромагнитного поля в помещениях с аппаратурой и на объектах с множественными конструкциями непредсказуема вследствие переотражений радиоволн. С целью измерения вектора напряженности ЭМП следует использовать в качестве измерительной антенны три коротких вибратора для измерения трех составляющих напряженности ЭМП, как это показано на фиг. 1. В вибраторах наводятся напряжения, пропорциональные составляющим напряженности ЭМП в 3-х координатах: горизонтальной продольной – E_X , горизонтальной поперечной – E_Y , и вертикальной – E_Z .

В каждом узле сетки анализируемого пространства с координатами (x_j, y_j, z_j) в течение времени взятия выборки производится измерение нескольких значений составляющих напряженности ЭМП, образующих выборку значений напряженности поля в последовательные моменты времени $t_i = t_0 + i\Delta t$:

$$E_X(t_i, x_j, y_j, z_j), \quad E_Y(t_i, x_j, y_j, z_j),$$

$$E_Z(t_i, x_j, y_j, z_j).$$

Выборки необходимы для последующего определения спектров сигналов напряженности ЭМП.

Напряжения с выходов антенны 1 поступают на входы многоканального цифрового радиоприемника, представляющего собой последовательно соединенные первый радиоприемник 2 (многоканальный) и аналого-цифровой преобразователь 3. Современная цифровая элементная база позволяет реализовы-

вать аналого-цифровое преобразование широкополосного группового сигнала на радиочастоте без предварительного усиления и частотного преобразования. Известны 14-разрядные аналого-цифровые преобразователи, например, фирмы Texas Instrument ADS5474, которые позволяют в диапазонах частот до 1,5 ГГц преобразовывать групповой сигнал радиоэфира полосой до 200 МГц в цифровую форму напрямую без предварительного частотного преобразования [10]. При использовании таких аналого-цифровых преобразователей первый радиоприемник может отсутствовать.

Выходные сигналы аналого-цифрового преобразователя 3 в виде цифровых кодов назовем как «данные контроля напряженности электромагнитного поля». Обобщенный поток данных контроля напряженности электромагнитного поля поступает в сигнальный процессор 4, где производится канальное кодирование данных с целью обеспечения требуемой помехоустойчивости в канале передачи данных. Кодированные цифровые сигналы с выхода сигнального процессора 4 поступают на модуляционный вход радиопередатчика 5 канала передачи данных, с выхода которого поступают на вход передающей антенны канала связи 6 и излучаются. Радиопередатчик 5, передающая антенна 6, расположенные на мини-БЛА, приемная антенна 7 и второй радиоприемник 8, расположенные на земле, образуют канал передачи данных с мини-БЛА на наземную часть комплекса контроля ЭМО. Дальность связи этого канала невелика, в пределах 20 – 300 м. Рабочая частота канала связи выбирается таким образом, чтобы она была выше рабочего диапазона частот анализируемого ЭМП. Например, если анализируется ЭМП в полосе частот средств радиосвязи объекта, то верхняя частота анализа составляет 1,5 ГГц. Тогда рабочую частоту канала связи следует выбрать выше 2 ГГц.

Высокочастотное напряжение $u_{c+ш}(t)$ сигналов, шумов и помех, наводимое в приемной антенне 7, подается на вход второго радиоприемника 8, в котором осуществляется фильтрация, усиление, демодуляция и преобразование наведенного напряжения в низкочастотный сигнал – обозначим его как $U_{c+ш}(t)$. Радиоприемник устанавливается в режим телефонии. Напряжение

$U_{c+u}(t)$ пропорционально уровню напряженности поля в соответствующих узлах сетки анализируемого пространства:

$$U_{c+u}(t_i) = K_{АНТ} K_{ПД} E_{X,Y,Z}(t_i, x_j, y_j, z_j),$$

где $K_{АНТ}$ - действующая длина измерительной антенны;

$K_{ПД}$ - суммарный коэффициент передачи канала передачи данных от входа первого радиоприемника до выхода второго радиоприемника 8.

С низкочастотного выхода радиоприемника 8 напряжение подается на вход второго аналого-цифрового преобразователя 9, в котором производится оцифровка аналогового сигнала и его кодирование.

В ПЭВМ 10 производится обработка принятых с мини-БЛА сигналов следующим образом:

1) Определяются составляющие напряженности ЭМП в каждой точке анализируемого пространства с текущими координатами (x_j, y_j, z_j) как функция текущего времени (t_i) и координат мини-БЛА (x_j, y_j, z_j) следующим образом:

$$E_{X,Y,Z}(t_i, x_j, y_j, z_j) = \frac{U_{c+u}(t_i)}{K_{АНТ} K_{ПД}}$$

2) Определяется модуль напряженности ЭМП в каждой точке анализируемого пространства с текущими координатами (x_j, y_j, z_j) как функция текущего времени (t_i) и координат мини-БЛА (x_j, y_j, z_j) следующим образом:

$$E(t_i, x_j, y_j, z_j) = \sqrt{E_X^2(t_i, x_j, y_j, z_j) + E_Y^2(t_i, x_j, y_j, z_j) + E_Z^2(t_i, x_j, y_j, z_j)}.$$

3) Определяются спектры сигналов напряженности ЭМП в каждой точке анализируемого пространства с текущими координатами (x_j, y_j, z_j) в анали-

зируемой полосе частот в виде коэффициентов преобразования Фурье следующим образом:

$$C_k(x_j, y_j, z_j) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N E_n(t_n, x_j, y_j, z_j) e^{(2\pi i/N)k},$$

где $n = 1 \dots N$ - порядковый номер и общее количество отсчетов напряженности поля в выборке;

$k = 1 \dots K$ - порядковый номер коэффициента Фурье и общее количество анализируемых частот в спектре сигнала напряженности поля.

Картинки спектров частот ЭМП в узлах анализируемого пространства позволяют выявлять полосы частот с максимальными уровнями ЭМП.

Данные о координатах полета мини-БЛА, соответствующих координатам узлов измерения ЭМП в анализируемом пространстве, поступают на второй вход ПЭВМ 10. Результаты измерения напряженности ЭМП в анализируемом пространстве выводятся на дисплей 11.

Пример результатов контроля напряженности ЭМП в прямоугольном пространстве в виде функций $E(t_i, x_j, y_j, z_j)$ на отдельных плоскостях анализируемого пространства показан на фиг. 4.

Оценим некоторые временные и частотные характеристики комплекса контроля электромагнитного поля. Для примера примем объем анализируемого пространства по координатным осям $\Delta X = 10$ м, $\Delta Y = 5$ м, $\Delta Z = 2$ м равным 100 м^3 . Дискрет измерения $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0,5$ м. При этом количество узлов пространства, в которых необходимо произвести измерения напряженности ЭМП, составит $K = \left(\frac{\Delta X}{\Delta x} + 1\right) \left(\frac{\Delta Y}{\Delta y} + 1\right) \left(\frac{\Delta Z}{\Delta z} + 1\right) = 1155$.

Для примера мы хотим получить картину напряженности ЭМП в полосе частот до $f_B = 300$ МГц. Тогда в соответствии с теоремой Котельникова временной дискрет при взятии выборки уровней напряженности поля составит

$\Delta t = \frac{1}{2f_B} = 1,7$ нс. Время взятия выборки соответствует периоду

наименьшей анализируемой частоты в спектре сигнала. При наименьшей частоте $f_H = 1$ МГц ее период и, следовательно, время взятия выборки составит 1 мкс. За это время будет получено 600 отсчетов уровней напряженности ЭМП. Таким образом, в каждом узле анализируемого пространства будет получена выборка из 600 отсчетов уровней ЭМП.

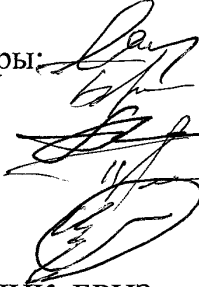
Оценим требуемую пропускную способность канала передачи данных с мини-БЛА на наземную часть комплекса контроля ЭМО. Будем предполагать, что скорость полета мини-БЛА такова, что продолжительность полета между узлами пространства составляет 1 с. При расстоянии между узлами 0,5 м это соответствует невысокой скорости полета 0,5 м/с или 30 м/мин или 1,8 км/час. Каждую секунду необходимо передавать данные, соответствующие 600 отсчетам уровня напряженности ЭМП. При 3-х координатной антенне и 12-ти разрядном АЦП это будет соответствовать потоку данных со скоростью 21,6 кбит/с. Такой объем информации с данными контроля напряженности ЭМП может передаваться в полосе телефонного канала 4,5 – 5,0 кГц. Современные эффективные методы модуляции типа OFDM обеспечивают скорость передачи данных в полосе телефонного канала до 25 кбит/с. При этом общее время измерения картины ЭМП в анализируемом пространстве составит 19,2 мин.

Технико-экономический эффект от внедрения заявляемого устройства по сравнению с аналогами и прототипом заключается в повышении точности и сокращении времени измерения картины напряженности электромагнитного поля в ограниченной области пространства

При получении такой же 3-х мерной картины ЭМП с помощью устройства-прототипа, когда измерительная антенна последовательно устанавливается в каждый узел анализируемого пространства и производятся измерения, общее время измерения будет значительно больше: если время установки измерительной антенны в каждый узел пространства и измерения уровня напряженности составляет не менее 2-3 мин, то соответствующий выигрыш во времени прове-

дения контроля в ограниченном пространстве составит 120-180 раз.
При этом точность измерения напряженности ЭМП увеличивается на порядок за счет соответствующего уменьшения габаритов носителя измерительной антенны.

Авторы:



Елисеев В.Н.
Ивченко Б.П.
Катанович А.А.
Пашкевич Л.А.
Передин Ю.Г.

НАЧАЛЬНИК БРИЗ

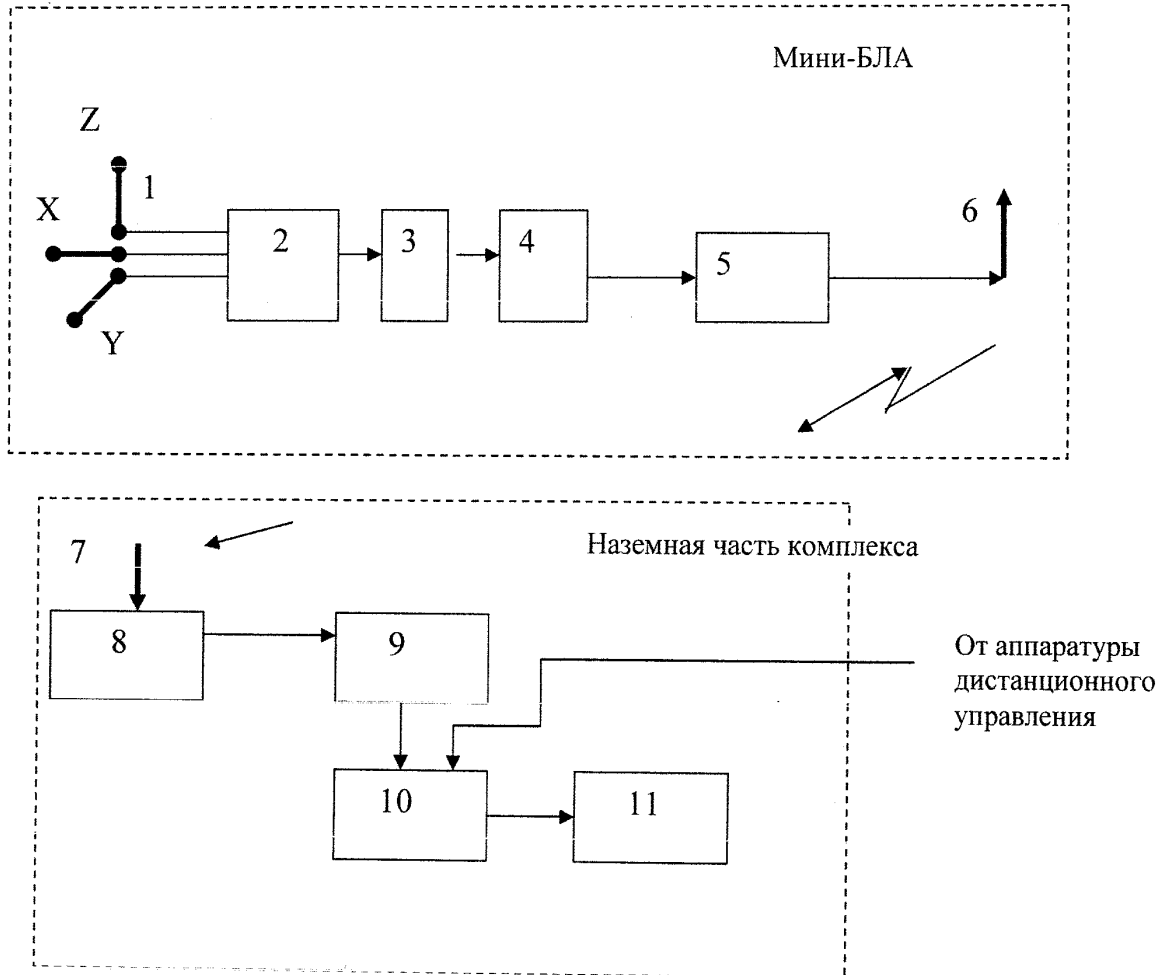


Н. КУЛИНА

Литература

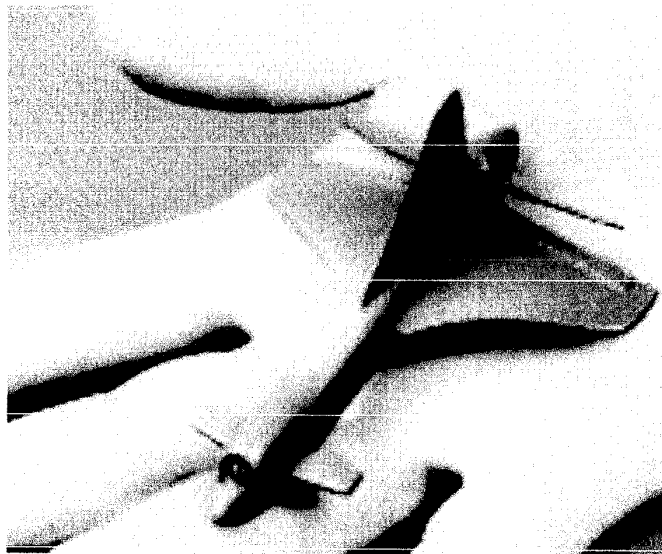
1. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. «Санитарные правила и нормы. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Госкомсанэпиднадзор РФ, 1996.
2. ГОСТ 12.1.006-76. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
3. Руководящий документ РД5Р.8713-93. «Аппаратура радиосвязи и радиолокации. Методы оценки электромагнитных полей и средства защиты личного состава судов от облучения».
4. Пашкевич А.А., Катанович А.А. и др. Автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки. Патент РФ на полезную модель № 68214 от 10.11.2007 г.
5. Попов В.А., Федутинов Д.В. Развитие направления миниатюрных беспилотных летательных аппаратов за рубежом. Труды ФГУП «ГосНИИАС», 2002 г.
6. Леоновец Ю. Реальность и перспективы использования беспилотных летательных аппаратов. «Армия», № 1, 2010 г.
7. Олегов С. Кибер-насекомые в мундирах. http://jtdigest/narod/ru/dig3_04/insect.htm.
8. Каталог фирмы ЗАО «НЕЛК»: Технические системы обеспечения безопасности, 2010 г. Часть 8. «Колибри – комплекс воздушного мониторинга».
9. Дональд Уайт. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 3. Измерение электромагнитных помех и измерительная аппаратура. Изд. «Советское радио», М. 1979 г.
10. Романов Э.Ю., Иванкович М.В. Универсальный приемник на основе высокоскоростного аналого-цифрового преобразования группового сигнала. Электросвязь, № 6, 2008 г.

Автоматизированный комплекс контроля электромагнитной обстановки



Фиг. 1

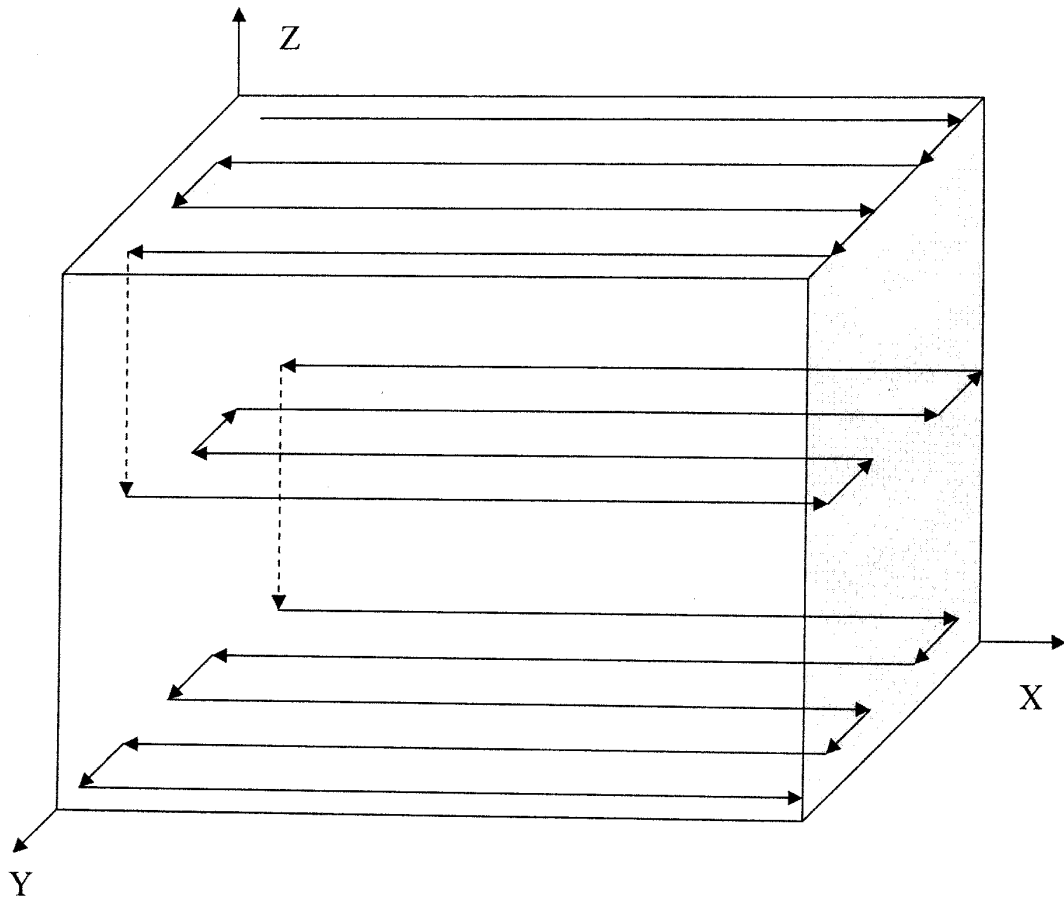
Авторы: Елисеев В.Н.
 Катанович А.А.
 Пашкевич Л.А.
 Передин Ю.Г.
 Ивченко Б.П.



Фиг. 2.

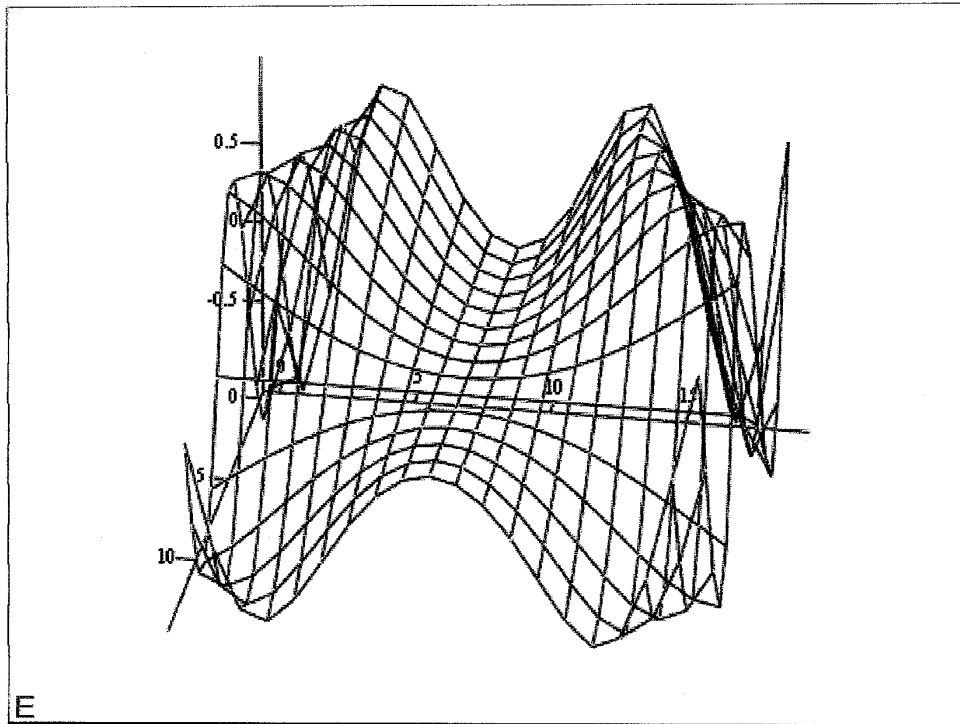
Авторы: Елисеев В.Н.
Катанович А.А.
Пашкевич Л.А.
Передин Ю.Г.
Ивченко Б.П.

Пример траектории полета мини-БЛА

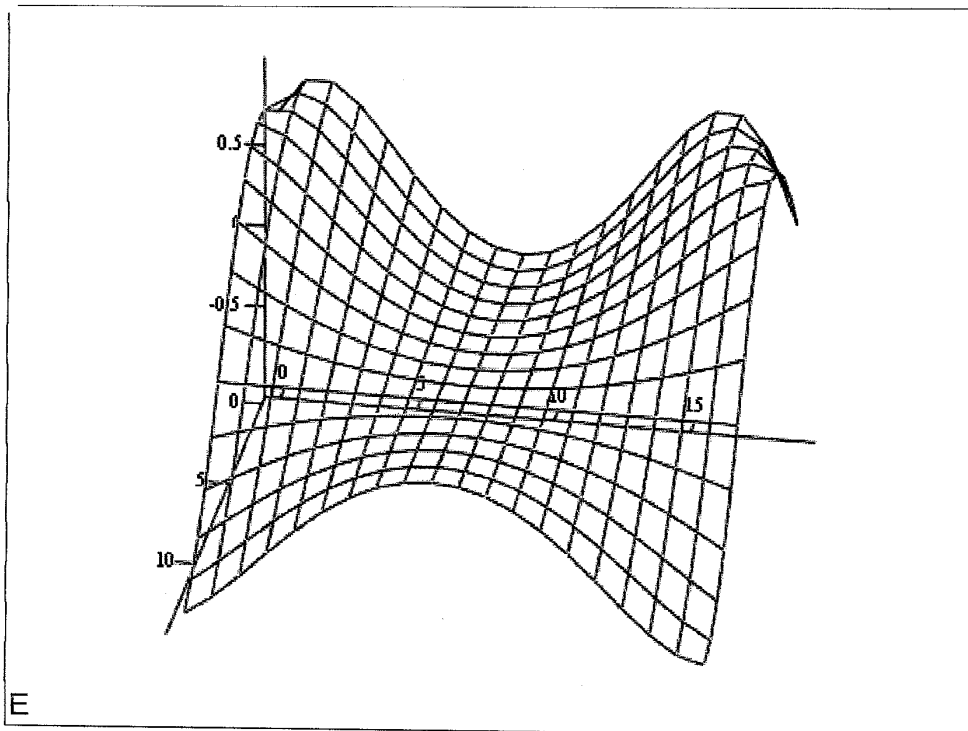


Фиг. 3.

Авторы: Елисеев В.Н.
Катанович А.А.
Ивченко Б.П.
Пашкевич Л.А.
Передин Ю.Г.



a)



в)

Фиг.4