



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК

[H01Q 19/02 \(2006.01\)](#)

[H04B 7/00 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

[H01Q 19/02 \(2019.08\)](#)

[H04B 7/00 \(2019.08\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 18.03.2020)

(21)(22) Заявка: [2019125539](#), 13.08.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
13.08.2019

Дата регистрации:  
18.03.2020

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 13.08.2019

(45) Опубликовано: [18.03.2020](#) Бюл. № [8](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2361364 C2, 10.07.2009. RU  
119962 U1, 27.08.2012. US 6674970 B1,  
06.01.2004. RU 177661 U1, 05.03.2018.

Адрес для переписки:  
634050, Томская обл., г. Томск, пр-кт  
Ленина, 30, Отдел правовой охраны  
результатов интеллектуальной  
деятельности, ФГАОУ ВО "НИ ТПУ",  
Агафонникова Елена Викторовна

(72) Автор(ы):

**Мышкин Вячеслав Фёдорович (RU),  
Хорохорин Дмитрий Михайлович (RU),  
Хазан Виталий Львович (RU),  
Баладин Сергей Флавиевич (RU),  
Хан Валерий Алексеевич (RU),  
Донченко Валерий Алексеевич (RU),  
Абрамова Евгения Сергеевна (RU),  
Абрамов Сергей Степанович (RU),  
Павлов Иван Иванович (RU),  
Павлова Мария Сергеевна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

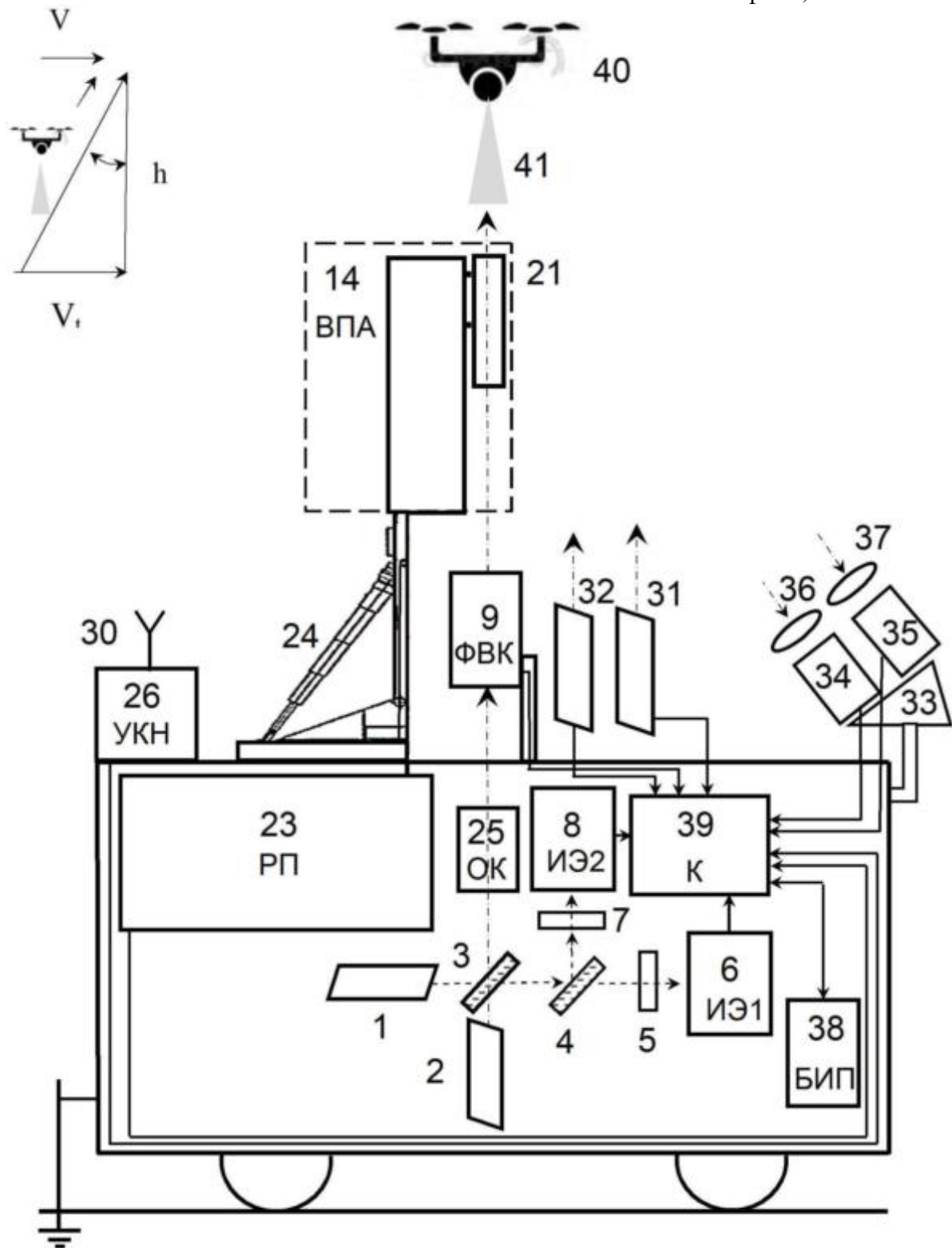
**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Национальный  
исследовательский Томский  
политехнический университет" (RU)**

(54) СПОСОБ СОЗДАНИЯ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНОЙ - НИЗКОЧАСТОТНОЙ  
ПЕРЕДАЮЩЕЙ АНТЕННЫ И УСТАНОВКА ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области систем радиосвязи сверхнизкочастотного – низкочастотного диапазонов. Техническим результатом является создание мобильной передающей антенны сверхнизкочастотного – низкочастотного диапазона. Установка для создания антенны содержит передвижную платформу, на оптическом столе которой закреплены неодимовый и ультрафиолетовый лазеры, светоделительные пластины поляризационные светофильтры и измерители энергии. На оптическом столе закреплен электродвигатель, к выступающему концу его вала, прикреплена рама в виде параллелепипеда, две боковые противоположные стороны которого являются зеркалами. Остальные стороны рамы открыты. Первое зеркало прикреплено к концу вала электродвигателя. Труба из диэлектрического материала закреплена на гидравлическом механизме подъёма, который размещен на платформе и заземлен. На нижнюю часть трубы намотана металлическая спираль. На верхнюю часть трубы надет первый полый металлический цилиндр, к нижней части которого подсоединен один конец спирали, другой конец которой соединен с выходом радиопередатчика, расположенного на платформе. В трубу на уровне спирали вставлен магнитопроводящий стержень. Параллельно первому цилиндру, с зазором,

прикреплен второй полый металлический цилиндр диаметром в 10 – 12 раз меньше диаметра первого цилиндра так, что второй полый цилиндр расположен над электродвигателем, соосно ему и так, что на оптической оси ультрафиолетового лазера последовательно расположены первая светоделительная пластина, оптический коллиматор и первое зеркало. При этом на платформе установлены аргонный лазер, ветровой лидар, опорно-поворотное устройство с расположенными на нем двумя фотоэлектронными умножителями и двояковыпуклыми линзами, компьютер. К радиоприемному устройству подключены вольтметр и аттенуатор, который соединен с антенной.



Фиг. 1

Изобретения относятся к области систем радиосвязи с использованием излучения, а именно к комбинированным конструкциям из первичных активных антенных элементов и узлов со вторичными оптическими устройствами, формирующими требуемую диаграмму направленности антенны и могут быть использованы в технике связи сверхнизкочастотного – низкочастотного диапазонов.

Известна антенна сверхнизкочастотной – низкочастотной радиостанции «Голиаф», которая представляет собой несимметричную реализацию вертикального шлейф-

вибратора с тремя вертикальными элементами-шлейфами (центральными трубчатыми мачтами), соединенными между собой электрически многопроводной квазигоризонтальной частью («полотном») [[https://ru.wikipedia.org/wiki/Голиаф\\_\(радиостанция\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Голиаф_(радиостанция))]. «Полотно» также выполняет функции емкостной нагрузки, а его снижение, выполненное из трех групп проводников в центре конструкции, является активным (четвертым) элементом: снижение подходит к точке возбуждения, располагающейся в центральном антенном павильоне. Центральные мачты установлены на изоляторах. Основания мачт соединены с развитой системой заземления через удлинительные индуктивные катушки. Катушки выполнены из литцендрата и намотаны пятью параллельно идущими проводниками диаметром 10 мм каждый. Высота катушек составляет 5 м, диаметр - 3,2 м. Катушки расположены в антенных павильонах у основания центральных мачт. Заземление выполнено из оцинкованных стальных лент сечением 10×2 мм, радиально расходящихся вокруг каждой из центральных мачт и вокруг центрального павильона. Общая длина уложенного в землю провода составляет 350 км.

Центральные мачты выполнены высотой 210 метров. Углы антенны закреплены на пятнадцати решетчатых мачтах высотой 170 метров. Каждое антенное полотно, в свою очередь, состоит из шести правильных треугольников со стороной 400 м и представляет из себя систему стальных тросов в подвижной алюминиевой оболочке. Натяжение антенного полотна производится 7-тонными противовесами.

Известно антенное устройство сверхнизкочастотной радиостанции «Зевс», включающее в себя два разнесённых на 10 км радиопередающих модуля — основной и резервный, каждый со своей антенной. К устройству относятся два больших заземляющих электрода, проникающих глубоко в землю, и подключённая к этим электродам антенная линия, подобная воздушной линии электропередачи, длиной около 60 км. Каждый передающий модуль содержит СНЧ-генератор, низкопотенциальный выход которого подключен к рабочему заземлителю антенны, а высокопотенциальный - к входу согласующего устройства, соединенного с антенной, конец которой также заземлен. Наличие двух заземлителей является характерной особенностью СНЧ-антенны, так как возбуждение ненагруженной антенны технически нереализуемо из-за большой величины ее входного сопротивления.

Реактивная составляющая сопротивления заземленной антенны имеет индуктивный характер и для ее компенсации используется согласующее устройство емкостного типа, представляющее собой дискретно-перестраиваемый конденсатор.

Согласующее устройство выполнено в виде последовательно-параллельного соединения силовых конденсаторных установок, и с помощью ключей, имеющих внешнее управление, может изменять свою структуру таким образом, что емкостное сопротивление согласующего устройства на каждой рабочей частоте будет равным индуктивному сопротивлению антенны. При этом последовательный колебательный контур, образованный антенной и согласующим устройством, оказывается настроенным в резонанс [[https://ru.wikipedia.org/wiki/Зевс\\_\(радиопередатчик\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Зевс_(радиопередатчик))].

Недостатками известных антенн сверхнизкочастотных – низкочастотных передающих антенн является их стационарное исполнение и, вследствие этого, низкая живучесть из-за очень больших размеров.

Известен способ создания лазерной плазменной антенны [US 3404403 А, МПК H01Q1/36, H01Q3/44, H01S3/00, опубл. 01.10.1968], выбранный в качестве прототипа, основанный на использовании лазерного излучения, в котором излучающим элементом является ионизированный столб воздуха, создаваемый лазерным пучком и аналогичный излучающему металлическому стержню. Способ включает следующие операции: формирование импульса лазерного излучения, формирование ионизированного воздушного канала и одновременно формирование радиоимпульса, излучение радиоимпульса вдоль ионизированного канала, распространение радиоимпульса вдоль ионизированного канала и формирование диаграммы направленности антенны.

Известна установка для создания лазерной плазменной антенны [US 3404403 А, МПК H01Q1/36, H01Q3/44, H01S3/00, опубл. 01.10.1968], выбранная в качестве прототипа, основанная на использовании лазерного излучения, в котором излучающим элементом является ионизированный плазменный канал, создаваемый лазерным пучком. Установка предназначена для создания очень низкочастотной – низкочастотной лазерной плазменной антенны мощным лазером для генерации, по меньшей мере, одного лазерного пучка. Лазер соединен с управляющим устройством, которое подает импульс на включение лазера в течение заданных промежутков

времени и с заданной частотой повторения. Лазерный пучок проходит через систему оптических линз, имеющих переменную фокусировку, и фокусируется в определенной точке, в которой воздух ионизируется. В свою очередь, система оптических линз с переменной фокусировкой соединена с управляющим устройством, так чтобы фокусное расстояние менялось синхронно с включением лазера. В течение работы лазера, когда лазер излучает первый импульс, управляющее устройство изменяет фокусировку оптической системы и точка фокуса пучка смещается и ионизируют воздух в точке рядом с предыдущей точкой ионизации плазмы. Затем, управляющее устройство уже в третий раз дает управляющий импульс фокусирующей системе изменить свое фокусное расстояние на заданную величину, чтобы в течение следующего периода включения импульса лазера, пучок сфокусировался в точке, расположенной рядом с предыдущей точкой фокусировки. Таким образом, этот процесс повторяют до тех пор, пока не будет получен ионизированный плазменный канал заданной высоты. После того как ионизированный плазменный канал сформирован один раз, оптическую систему с переменным фокусным расстоянием возвращают в исходное положение, чтобы повторить ионизацию воздуха во всех последовательных фокусных точках для поддержания ионизации указанного ионизационного плазменного канала. Частота повторения включения указанного лазера определяется временем жизни ионов, образующихся в каждой фокусной точке лазерного пучка, и управляющее устройство регулируется соответствующим образом, чтобы поддерживалось равновесное состояние плотности ионизированной плазмы.

Ионизированный плазменный канал заданной высоты создают с использованием двух разнесённых в пространстве лазеров (рубиновым 0,6934 мкм или неодимовым ~1,062 мкм), каждый из которых содержит систему оптических линз с переменным фокусным расстоянием, позволяющих фокусировать излучение от двух лазеров в различных точках на одной прямой, в одно и то же время синхронно и попеременно, чтобы тем самым ионизировать канал воздуха между лазерными источниками для последующего использования в качестве антенны.

Недостатками этого способа и устройства являются:

- недостаточная высота антенны (до 400-500 метров), исключающая её использование в качестве СНЧ антенны;
- большие энергозатраты на формирование ионизированного канала, которые получаются из-за необходимости создания в воздушном канале избыточной ионизации;
- в связи с небольшим временем релаксации ионизированный канал сравнительно быстро (единицы, десятки микросекунд) нейтрализуется,
- сложная и в высокой степени точная по времени система синхронизации, настройка оптических элементов и отдельных узлов установки;
- большие габариты устройства, реализующего способ, что исключает его мобильное исполнение.

Единым техническим результатом, достигаемым при осуществлении заявленной группы изобретений, является создание мобильной сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны.

Предложенный способ создания сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны, также как в прототипе, включает использование двух лазеров для формирования ионизированного воздушного канала, с помощью которого передают радиосигнал.

Согласно изобретению над местом с заданными географическими координатами измеряют горизонтальную компоненту скорости ветра через каждые 100 м по высоте от уровня земли, определяют среднюю скорость ветра, определяют угол полета  $\alpha$  летательного аппарата, с учетом которого запускают летательный аппарат, с которого в процессе набора заданной высоты распыляют над заданным местом твердотельный аэрозоль с размером частиц менее 1 мкм и с расходом более 100 г/км. Совмещают пучки излучения лазера, генерирующего импульсы на длине волны 1,06 – 10,6 мкм, длительностью 2 - 10 нс с интенсивностью  $(0,5 - 3) \times 10^9$  Вт/м<sup>2</sup>, ультрафиолетового лазера, генерирующего импульсы с длиной волны 0,355 мкм, пиковой мощностью 700 - 7000 Вт, длительностью 0,6 – 6 нс, с частотой повторения импульсов 0,1 - 20 кГц, и направляют в облако распыленного твердотельного аэрозоля в антенном колебательном контуре на заданной частоте передаваемого электромагнитного сигнала, получаемого от радиопередатчика, формируя при этом проводящий ионизированный канал в виде слаборасходящегося конуса с частотой 50 Гц.

Угол полета  $\alpha$  летательного аппарата определяют из выражения

$$\operatorname{tg}(\alpha) = Vt/h,$$

где  $V$  - скорость ветра;

$t$  - время подъема летательного аппарата на высоту  $h$ .

Установка для создания сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны, также как в прототипе, содержит неодимовый лазер и электродвигатель.

Согласно изобретению на оптическом столе передвижной платформы, закреплены неодимовый и ультрафиолетовый лазеры так, что их оптические оси взаимно перпендикулярны, а в точке их пересечения, под углом  $45^\circ$  к ним, закреплена первая светоделительная пластина. На оптической оси неодимового лазера последовательно закреплены первая светоделительная пластина, параллельно ей вторая светоделительная пластина, первый поляризационный светофильтр и первый измеритель энергии. Напротив второй светоделительной пластины, под углом  $45^\circ$  к ней, последовательно закреплены второй поляризационный светофильтр и второй измеритель энергии. На оптическом столе закреплен электродвигатель так, что к выступающему концу его вала, ориентированному вертикально вниз, прикреплена рама в виде наклонного под углом  $45^\circ$  параллелепипеда, две боковые противоположные стороны которого являются зеркалами, отражающие поверхности которых направлены внутрь рамы. Остальные стороны рамы открыты. Первое зеркало своей внешней стороной симметрично прикреплено к концу вала электродвигателя под углом  $45^\circ$  относительно его оси. Труба из диэлектрического материала закреплена на гидравлическом механизме подъема, который, размещен на платформе и заземлен. На нижнюю часть трубы намотана металлическая спираль. На верхнюю часть трубы надет первый полый металлический цилиндр, к нижней части которого подсоединен один конец спирали, другой конец которой соединен с выходом радиопередатчика, расположенного на платформе. В трубу на уровне спирали вставлен магнитопроводящий стержень. Параллельно первому цилиндру, с зазором, прикреплен второй полый металлический цилиндр диаметром в 10 – 12 раз меньше диаметра первого цилиндра так, что второй полый цилиндр расположен над электродвигателем, соосно ему и так, что на оптической оси ультрафиолетового лазера последовательно расположены первая светоделительная пластина, оптический коллиматор и первое зеркало. При этом на платформе установлены аргоновый лазер, ветровой лидар, опорно-поворотное устройство, с расположенными на нем двумя фотоэлектронными умножителями, перед каждым из которых размещена двояковыпуклая линза. К радиоприемному устройству подключены вольтметр и аттенуатор, который соединен с антенной. Компьютер соединен с неодимовым лазером, ультрафиолетовым лазером, двумя измерителями энергии лазерных импульсов, выходными клеммами обмотки электродвигателя, радиопередатчиком, аттенуатором, вольтметром, аргоновым лазером, ветровым лидаром, опорно-поворотным устройством, двумя фотоэлектронными умножителями.

Использование ультрафиолетового лазера, излучение которого совмещают с излучением неодимового лазера и выводят в атмосферу на трассу высотой в 1 – 1,1 км, обеспечивает большую энергию квантов, которые образуют свободные электроны в процессе ступенчатой двух квантовой ионизации молекул кислорода  $O_2$ , не нагревая газ до высокой температуры, что делает процесс ионизации стабильным и менее энергозатратным, так как фотоионизация атмосферы на длинных лазерных трассах возникает только в области ближнего ультрафиолета ( $\lambda \sim 0,2-0,38$  мкм). Таким образом, неодимовый лазер используется для испарения частиц в канале пучка, а ультрафиолетовый лазер - для ионизации паров испаренного вещества. Поглощение ультрафиолетового излучения в этой области компонентами воздуха происходит без ионизации и приводит лишь к слабой фотодиссоциации молекул кислорода  $O_2$ .

Величины сечений поглощения ультрафиолетового излучения основными компонентами воздуха при этом составляют  $\sigma(O_2) \sim 5 \times 10^{-20} \text{ м}^2$ ,  $\sigma(N_2) \sim 0$ . В области дальнего ультрафиолета ( $\lambda = 0,1$  мкм) сечение поглощения кислорода достигает значений  $\sigma(O_2) \sim (1,5-54) \times 10^{-14} \text{ м}^2$ , что ограничивает распространение пучка ультрафиолетового лазера уже на коротком промежутке трассы ( $10^{-2}-1$  м).

Вертикальный профиль ионизации в канале пучка ультрафиолетового лазера при наличии паров легкоионизируемых примесей описывается выражением [Савченко А.В., Смирнов В.В. // Труды экспериментальной метеорологии. – М.: Гидрометеиздат, 1976. – Вып. 14(59). – С. 3–20]:

$$N_i = N_e = \left\{ \frac{I_{0cp}}{\gamma \varepsilon_i} h \nu \mu_a \exp(-x_0 \mu_a + (\mu_a + \mu_s) x_i) \right\} (1)$$

где  $N_e$ ,  $N_i$  – средняя концентрация электронов и ионов в канале ультрафиолетового лазера;

$I_{0cp}$  – интенсивность излучения на выходе ультрафиолетового лазера;

$\mu_s$ ,  $\mu_a$  - коэффициенты ослабления излучения ультрафиолетового лазера воздухом и атомами испарённого вещества твердотельного аэрозоля;

$\varepsilon_i$  - потенциал ионизации паров испарённого вещества твердотельного аэрозоля;

$x_0$  - расстояние от ультрафиолетового лазера до паров испарённого вещества твердотельного аэрозоля;

$x_i$  - текущая координата излучения в среде распылённых частиц твердотельного аэрозоля;

$\gamma$  - постоянная тонкой структуры молекул и атомов испарённого вещества твердотельного аэрозоля;

$h$  - постоянная Планка.

Предложенные технические решения позволяют создать мобильную сверхнизкочастотную – низкочастотную передающую антенну в виде слабо расходящегося конуса на высоту 1 – 1,1 км и более.

На фиг. 1 представлена схема установки для создания мобильной сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны.

На фиг. 2 показано устройство блока формирования вертикального канала 9 (ФВК).

На фиг. 3 показана схема вибраторной передающей антенны 14 (ВПА).

На фиг. 4 представлена схема устройства контроля напряженности электромагнитного поля.

На фиг. 5 показано изменение концентрации электронов в зависимости от интенсивности излучения ультрафиолетового лазера (0,355 мкм).

На фиг. 6 приведена зависимость электронной проводимости воздуха в зависимости от интенсивности излучения ультрафиолетового лазера.

Установка для создания сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны содержит передвижную платформу, на оптическом столе которой закреплены неодимовый лазер 1 и ультрафиолетовый лазер 2 так, что их оптические оси взаимно перпендикулярны, а в точке их пересечения, под углом 45° к ним, закреплена первая светоделительная пластина 3 (фиг. 1).

На оптической оси неодимового лазера 1 последовательно закреплены, первая светоделительная пластина 3, параллельно ей вторая светоделительная пластина 4, первый поляризационный светофильтр 5 и первый измеритель энергии 6 (ИЭ1).

Напротив второй светоделительной пластины 4 под углом 45° к ней, последовательно закреплены второй поляризационный светофильтр 7 и второй измеритель энергии 8 (ИЭ2).

Блок формирования вертикального канала 9 (ФВК) содержит электродвигатель 10 (фиг. 2), который закреплен с помощью кронштейна 11 на оптическом столе так, что выступающий конец вала ориентирован вертикально вниз.

На конце вала электродвигателя 10 закреплена рама в виде наклонного под углом 45° параллелепипеда. Две боковые противоположные стороны рамы являются зеркалами 12 и 13, отражающие поверхности которых направлены внутрь рамы, а остальные стороны рамы открыты. Первое зеркало 12 своей внешней стороной симметрично прикреплено к концу вала электродвигателя 10 под углом 45° относительно его оси.

Вибраторная передающая антенна 14 (ВПА) содержит трубу 15 (фиг. 3) из диэлектрического материала, например, из полиэтилена, на нижнюю часть которой намотана спираль 16 из медного провода. На верхнюю часть трубы 15 надет полый цилиндр 17 из металла, например, из меди, к контакту 18 нижней части которого подсоединен один (верхний) конец спирали 16. В трубу 15 на уровне спирали 16 вставлен магнитопроводящий стержень 19, выполненный, например, из ленты магнитомягкого нанокристаллического сплава. К цилиндру 17, параллельно ему, с помощью двух металлических кронштейнов 20 прикреплен второй полый цилиндр 21 из металла, например, из меди, диаметр которого в 10 – 12 раз меньше диаметра первого цилиндра 17. Другой конец спирали 16 через контакт 22 соединен с выходом радиопередатчика 23 (РП) (фиг. 1), расположенного на платформе. Труба 15 с помощью кронштейнов прикреплена к верхней проушине гидравлического механизма

24 подъёма в вертикальное и перевода в горизонтальное положения. Гидравлический механизм 24 нижней проушиной прикреплён к платформе и заземлен.

На оптической оси ультрафиолетового лазера 2 последовательно расположены первая светоделительная пластина 3 (фиг. 1), оптический коллиматор 25 (ОК), зеркало 12 блока формирования вертикального канала 9 (ФВК) так, что над электродвигателем 10 соосно расположен второй полый цилиндр 21 вибраторной передающей антенны 14 (ВПА).

Лазеры 1, 2, светоделительные пластины 3, 4, поляризационные светофильтры 5, 7 и оптический коллиматор 25 (ОК) закреплены на оптическом столе с помощью центрированных прецизионных держателей с блокировкой.

Устройство контроля напряженности электромагнитного поля 26 (УКН), расположенное на платформе, содержит радиоприемное устройство 27 (РУ) (фиг. 4), к которому подключены вольтметр 28 (В) и аттенюатор 29 (А), который соединен с антенной 30 (фиг. 1).

На платформе установлены аргоновый лазер 31, ветровой лидар 32, опорно-поворотное устройство 33, с закрепленными на нем фотоэлектронными умножителями 34 и 35, перед каждым из которых соответственно размещены двояковыпуклые линзы 36 и 37.

Аргоновый лазер 31 закреплен на платформе так, что при вертикальном расположении вибраторной передающей антенны 14 (ВПА), расстояние между оптическими осями аргонового лазера 31 и цилиндра 21 составляет 0,5-1 м.

К блоку источников питания 38 (БИП) подключены неодимовый лазер 1, ультрафиолетовый лазер 2, аргоновый лазер 31, ветровой лидар 32, радиопередатчик 23 (РП), радиоприемное устройство 27 (РУ), опорно-поворотное устройство 33, фотоэлектронные умножители 34 и 35, измерители энергии лазерных импульсов 6 (ИЭ1) и 8 (ИЭ2), электродвигатель 10, компьютер 39 (К).

К компьютеру 39 (К) подключены неодимовый лазер 1, ультрафиолетовый лазер 2, измерители энергии лазерных импульсов 6 (ИЭ1) и 8 (ИЭ2), выходные клеммы обмотки электродвигателя 10, радиопередатчик 23 (РП), аттенюатор 29 (А) и вольтметр 28 (В), аргоновый лазер 31, ветровой лидар 32, опорно-поворотное устройство 33, фотоэлектронные умножители 34 и 35.

В качестве неодимого лазера 1 может быть использован неодимовый лазер NL120, в качестве ультрафиолетового лазера 2 - лазер компании SGR-40-10 с возможностью повышения мощности импульса за счет добавления в резонатор нескольких усилителей, Beamtch Optronics Co., Ltd, China. Может быть использован аргоновый лазер 31 мощностью более 1 Вт с длиной волны 0,44 – 0,55 мкм. Светоделительные пластины 3 и 4 - пластины FF01-360/12-25 Semrock. Первый поляризационный фильтр 5 представляет собой фильтр PVP01-1059/43-25x36, а второй поляризационный фильтр 7 – фильтр PVP01-353/15-25x36 Semrock. В качестве измерителей энергии 6 (ИЭ1) и 8 (ИЭ2) могут быть использованы - FPE80BF-C P/N 7Z02950. Радиоприемное устройство 27 (РУ) представляет собой детекторный приемник на базе низкочастотного маломощного полупроводникового диода Д101. Аттенюатор 29 (А) - потенциометр WH148 с номинальным сопротивлением 1 кОм. Использовано опорно-поворотное устройство 33, например «Генезис ZA-330». Фотоэлектронные умножители 34 и 35 - например, ФЭУ Н 7827, 300-800 нм. Гидравлический механизм 24 выполнен на базе гидроцилиндра КС-45717.63.400. Антенна 30 – телескопическая антенна ASN-13 D7mm S5°220-860mm.

Мобильную передвижную платформу располагают на месте, имеющем заданные географические координаты. Проверяют состояние всех приборов и механизмов установки и при необходимости производят соответствующую настройку их соосности и юстировку.

С помощью гидравлического механизма 24 вибраторную передающую антенну 14 (ВПА) устанавливают в вертикальное положение.

Включают ветровой лидар 32 и с помощью компьютера 39 (К) определяют среднюю скорость ветра, измеряя горизонтальную компоненту скорости ветра через каждые 100 м по высоте от уровня земли.

По команде с компьютера 39 (К) включают опорно-поворотное устройство 33, фотоэлектронные умножители 34 и 35 и аргоновый лазер 31, излучение которого направляют вверх параллельно второму полуму цилиндру 21.

Запускают квадрокоптер 40 под углом  $\alpha$  к оси второго полого цилиндра 21, причем угол  $\alpha$  предварительно определяют с помощью компьютера 39 (К) из выражения:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = Vt/h,$$

где  $V$  - скорость ветра;

$t$  - время подъема квадрокоптера на высоту 1-1,1 км;

$h$  - высота подъема квадрокоптера.

Используют квадрокоптер 40, на котором установлен генератор твёрдого аэрозоля - порошка  $Al_2O_3$  (ТУ 1791-003-36280340-2008) с размером частиц 05-1 мкм, например, генератор аэрозоля Solid Aerosol Generator SAG 410.

При подъеме квадрокоптера 40 на высоту, например, на 1 - 1,1 км, включают генератор аэрозоля и с его помощью распыляют твердый аэрозоль 41. При ветровом сносе распылённого аэрозоля 41 над установкой за счет излучения вверх аргонового лазера 31 возникают сигналы рассеяния, которые регистрируют фотоэлектронными умножителями 34, 35 с наведёнными линзами 36, 37 на начало и конец трассы подъема квадрокоптера 40.

Сигналы от фотоэлектронных умножителей 34, 35 поступают в компьютер 39 (К), который вырабатывает соответствующий сигнал для запуска неодимового 1 и ультрафиолетового 2 лазеров, и электродвигателя 10, который приводит во вращение раму с зеркалами 12 и 13.

Пучки излучения от неодимового 1 и ультрафиолетового 2 лазеров, с помощью светоделительной пластины 3, совмещаются, проходят через оптический коллиматор 25 (К), попадают на отражающие поверхности вращающихся зеркал 12 и 13, после отражения от которых, образуют единый канал, проходящий через второй полый медный цилиндр 21.

Спираль (индуктивная катушка) 16, образованная намотанным на трубу 15 медным проводом, в который вставлен магнитопроводящий стержень 19, создает переменное магнитное поле, причем магнитопроводящий стержень 19 многократно увеличивает индуктивность, которая принимает результирующее значение  $L$ . Объемная емкость  $C$  первого цилиндра 17, расположенного над индуктивной катушкой, создает радиально расходящееся переменное электрическое поле. Одновременно созданные переменное магнитное и электрическое поля в одной и той же точке пространства, синхронно изменяются с одной и той же частотой и позволяют результирующему электромагнитному полю излучаться в открытое воздушное пространство. Токпроводящий контакт 18 электрически соединяет провод 16 индуктивной катушки и первый полый цилиндр 17, формируя колебательный контур с резонансной частотой

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

[Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Высшая школа, 1988. С. 208-209].

Излучение неодимового 1 и ультрафиолетового 2 лазеров при прохождении через второй полый цилиндр 21, в который попали распыленные частицы твердотельного аэрозоля, обеспечивают контакт второго полого цилиндра с ионизированным воздушным каналом, образуя вибратор сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны, что в итоге формирует выходящий вертикально вверх в атмосферу проводящий канал ионизации в виде слаборасходящегося конуса высотой 1–1,1 км.

Включают радиопередатчик 23 (РП) в режиме излучения несущего колебания и устройство контроля напряженности электромагнитного поля 26 (УКН), который настроен на частоту сигнала, излучаемого радиопередатчиком 23 (РП). От выхода сверхнизкочастотного – низкочастотного радиопередатчика 23 сигнал через нижний токпроводящий контакт 22 индуктивной катушки поступает на второй полый цилиндр 21.

Антенна 30 является проводником и находится в переменном электромагнитном поле, создаваемом сверхнизкочастотным – низкочастотным радиопередатчиком 23 (РП), в результате чего из-за магнитной индукции на антенне 30 наводится ЭДС, которая поступает на аттенюатор 29 (А) и затем на вход радиоприемного устройства 27 (РУ) и регистрируется вольтметром 28 (В).

Интенсивность излучения лазеров выражается формулой

$$I = \frac{E_i}{\tau_i S_p \theta_i},$$

где:  $E_i$  – энергия лазерного импульса;

$\tau_i$  - длительность лазерного импульса;

$S_p$  - площади пучка излучения лазера;

$\theta_i$  - телесный угол расходимости пучка излучения лазера.



Изменение энергии лазеров 1 и 2 позволяет изменять длину зоны ионизации в канале пучка, то есть высоту антенны, необходимую для согласования с частотой электромагнитной энергии, вводимой в канал.

Длина зоны ионизации и высота ионизированного канала выполняют роль вариометра, так как с их изменением меняется величина объемной емкости и резонансная частота настройки антенны. Увеличивая и уменьшая интенсивность лазерного пучка неодимового 1 или ультрафиолетового 2 лазеров, фиксируя показания вольтметра 28 (В), подключенного к выходу радиоприемного устройства 27 (РП), добиваются максимального значения напряженности электромагнитного поля, согласовывая сверхнизкочастотную – низкочастотную передающую антенну с радиопередатчиком 23 (РП).

После завершения согласования сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны с радиопередатчиком 23 (РП), его переводят в режим передачи сигнала.

Высоту проводящего канала ионизации атмосферы изменяют за счет изменения высоты положения квадрокоптера 40, управляемого с Земли. После завершения передачи полезного сигнала, радиопередатчик 23 (РП), неодимовый 1, ультрафиолетовый 2 и аргоновый 31 лазеры, ветровой лидар 32, измеритель энергии 6 (ИЭ1) излучения неодимового лазера 1, измеритель энергии 8 (ИЭ2) излучения ультрафиолетового лазера 2, устройство контроля напряженности электромагнитного поля 26 (УКН), опорно-поворотное устройство 33, с закрепленными на нем фотоэлектронными умножителями 34 и 35, электродвигатель 10, компьютер 39 и блок источников питания 38 (БИП) выключают, квадрокоптер 40 опускают на землю, вибраторную передающую антенну 14 (ВПА) с помощью гидравлического механизма 24 переводят из вертикального положения в горизонтальное и, при необходимости установку, транспортируют в другое место.

При использовании частиц аэрозоля в виде  $Al_2O_3$  если длительность импульса неодимового лазера 1 составляет  $\tau_i = 2 \times 10^{-9} C$ , фактор эффективности поглощения материалом частицей  $K_a = 0,5$ , то полная энергия испарения частиц в пучке лазера сечением  $1 \text{ см}^2$  определяется из выражения:

$$E_{\text{исп}} = 4/3 \pi R_{\text{ч}}^3 \rho_{\text{ч}} N_{\text{ч}} \gamma_{\text{исп}} N_{\text{тр}},$$

где  $R_{\text{ч}}$  - радиус облучаемых частиц аэрозоля  $Al_2O_3$ ;

$N_{\text{ч}}$  - концентрация частиц;

$\rho_{\text{ч}}$  - плотность вещества частиц;

$\gamma_{\text{исп}}$  - удельная теплота испарения;

$N_{\text{тр}}$  – высота канала ионизации.

Для  $R_{\text{ч}} = 3 \times 10^{-4} \text{ см}$ ,  $\rho_{\text{ч}} = 3 \text{ г/см}^3$ ,  $N_{\text{ч}} = 10 \text{ част/см}^3$ ,  $N_{\text{тр}} = 1000 \text{ м}$ ,  $\gamma_{\text{исп}} = 9200 \text{ Дж/г}$ , плотность энергии в пучке неодимового лазера 1, необходимая для испарения частиц аэрозоля, находящихся в канале составляет:

$$E_{\text{исп}} = 1,04 \text{ Дж/см}^2.$$

Для неодимового лазера 1 интенсивность

$$I = 1,04 \text{ Дж} \times \text{см}^{-2} / 2 \times 10^{-9} \text{ С} = 0,5 \times 10^9 \text{ Вт/см}^2.$$

Если длительность лазерного импульса  $\tau_i = 2 \times 10^{-9} \text{ С}$ , а энергия в импульсе  $E_i = 10 \text{ Дж}$ , то мощность импульса неодимового лазера 1 составляет:

$$N_i = 10 \text{ Дж} / 2 \times 10^{-9} \text{ С} = 5 \times 10^9 \text{ Вт}.$$

Средняя интенсивность для диаметра  $D_0 = 30 \text{ мм}$  пучка неодимового лазера 1 после оптического коллиматора 25 (ОК) составляет:

$$I_i = 5 \times 10^9 \text{ Вт} / 3,14 \times 1,5^2 \text{ см}^2 = 0,7 \times 10^9 \text{ Вт/см}^2.$$

Для веществ с потенциалом ионизации 2-5 эВ, в канале пучка ультрафиолетового лазера 2 при интенсивности  $10^8 \text{ Вт/см}^2$  достигается электронная концентрация  $10^{12} \text{ см}^{-3}$  (фиг. 5) [Савченко А.В., Смирнов В.В.// Современные методы искусственной ионизации облачной среды.- Труды экспериментальной метеорологии.- 1976.- М., Гидрометеиздат.- Вып.14(59).- С.3-20; Хиптерреггер Х.Е.// Предварительные результаты наблюдения далёкого ультрафиолетового спектра Солнца в верхней атмосфере.-1962.- В сб.: «Ультрафиолетовое излучение Солнца и межпланетная

среда».- М.- ИЛ.- С. 47-64; Schidt-Ott A, Siegmain H.C.// Appl. Phys. Lett.- 1978.- V.32 (1).- №6.- P. 710-713; Brandon H. M., Kooser.- 1956.- Pat. № 2756097, U299-28].

Для достижения средней проводимости, соответствующей проводимости, например, тлеющего разряда, которая может быть использована в качестве среды способной проводить и излучать электромагнитные волны, необходима интенсивность ультрафиолетового излучения  $10^8$ - $10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup> (фиг. 6).

Таким образом, с помощью искусственной фотоионизации с использованием излучения неодимового 1 и ультрафиолетового 2 лазеров в атмосфере создается высоко ионизированный проводящий канал, а использование соединения твердотельного аэрозоля Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, обладающего инертными свойствами и низким значением потенциала ионизации, увеличивает электрическую проводимость ионизационного канала в воздухе, который является удлинителем вибраторной передающей 14 (ВПА) антенны, формируя совместно с ней мобильную сверхнизкочастотную – низкочастотную передающую антенну.

#### Формула изобретения

1. Способ создания сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны, включающий использование двух лазеров для формирования ионизированного воздушного канала, с помощью которого передают радиосигнал, отличающийся тем, что надместом с заданными географическими координатами измеряют горизонтальную компоненту скорости ветра через каждые 100 м по высоте от уровня земли, определяют среднюю скорость ветра, определяют угол полета  $\alpha$  летательного аппарата, с учетом которого запускают летательный аппарат, с которого в процессе набора заданной высоты распыляют над заданным местом твердотельный аэрозоль с размером частиц менее 1 мкм и с расходом более 100 г/км, совмещают пучки излучения лазера, генерирующего импульсы на длине волны 1,06 – 10,6 мкм, длительностью 2 - 10 нс с интенсивностью  $(0,5 - 3) \times 10^9$  Вт/м<sup>2</sup>, ультрафиолетового лазера, генерирующего импульсы с длиной волны 0,355 мкм, пиковой мощностью 700 - 7000 Вт, длительностью 0,6 – 6 нс, с частотой повторения импульсов 0,1 - 20 кГц, и направляют в облако распыленного твердотельного аэрозоля в антенном колебательном контуре на заданной частоте передаваемого электромагнитного сигнала, получаемого от радиопередатчика, формируя при этом проводящий ионизированный канал в виде слаборасходящегося конуса с частотой 50 Гц.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что определяют угол полета  $\alpha$  летательного аппарата из выражения:

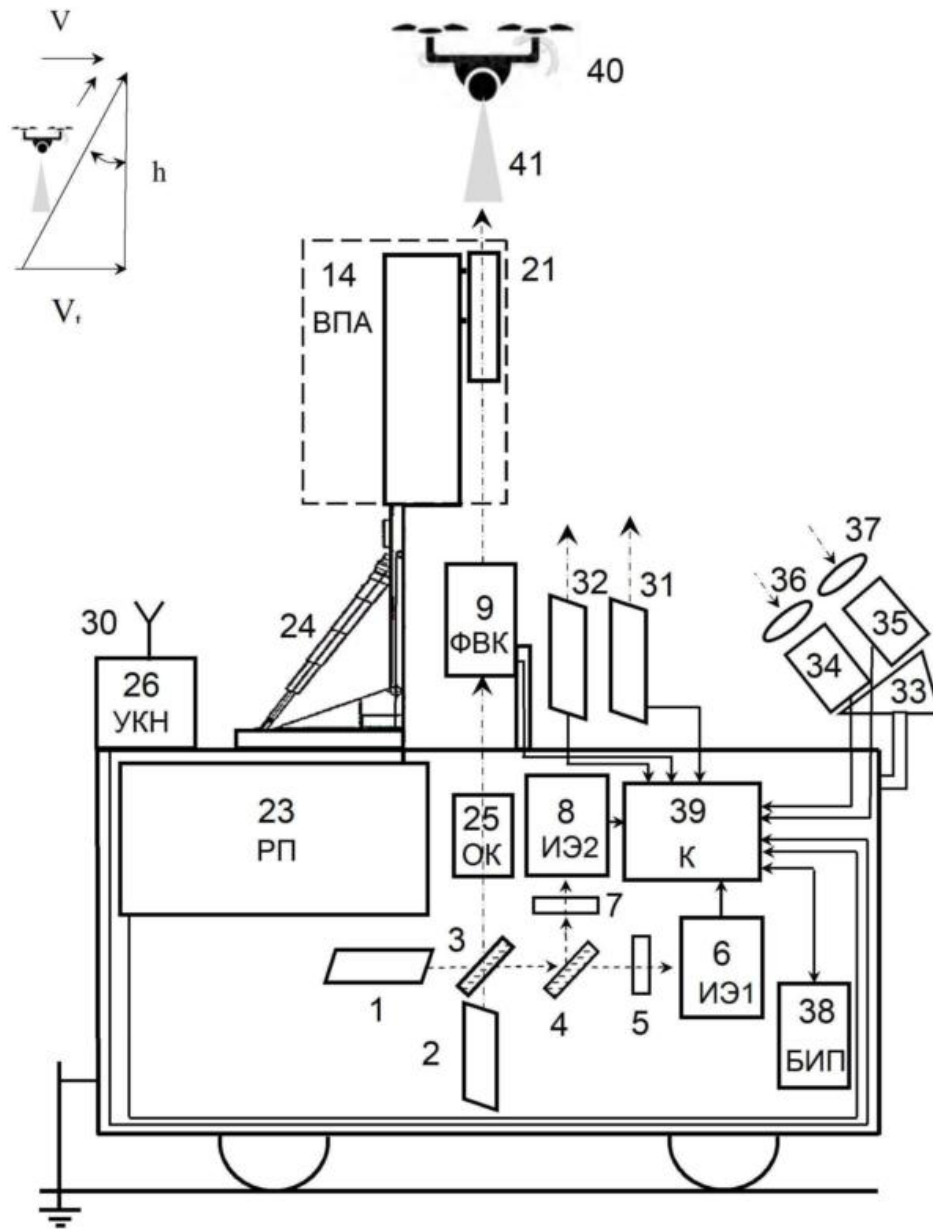
$$\text{Tg}(\alpha) = Vt/h,$$

где V - скорость ветра;

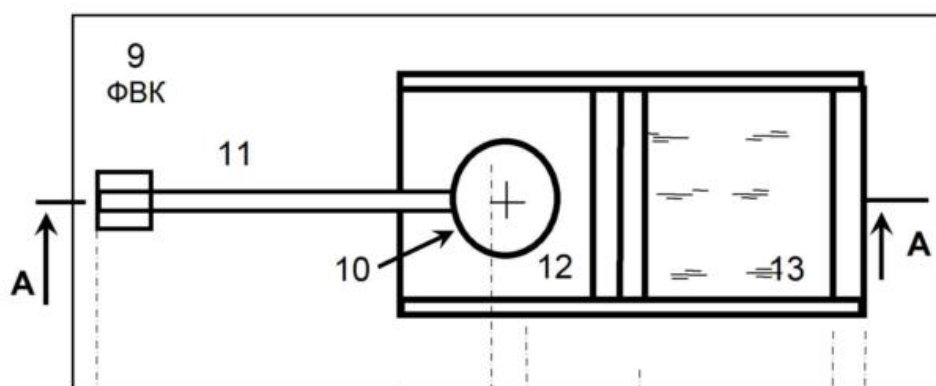
t - время подъема летательного аппарата на высоту h.

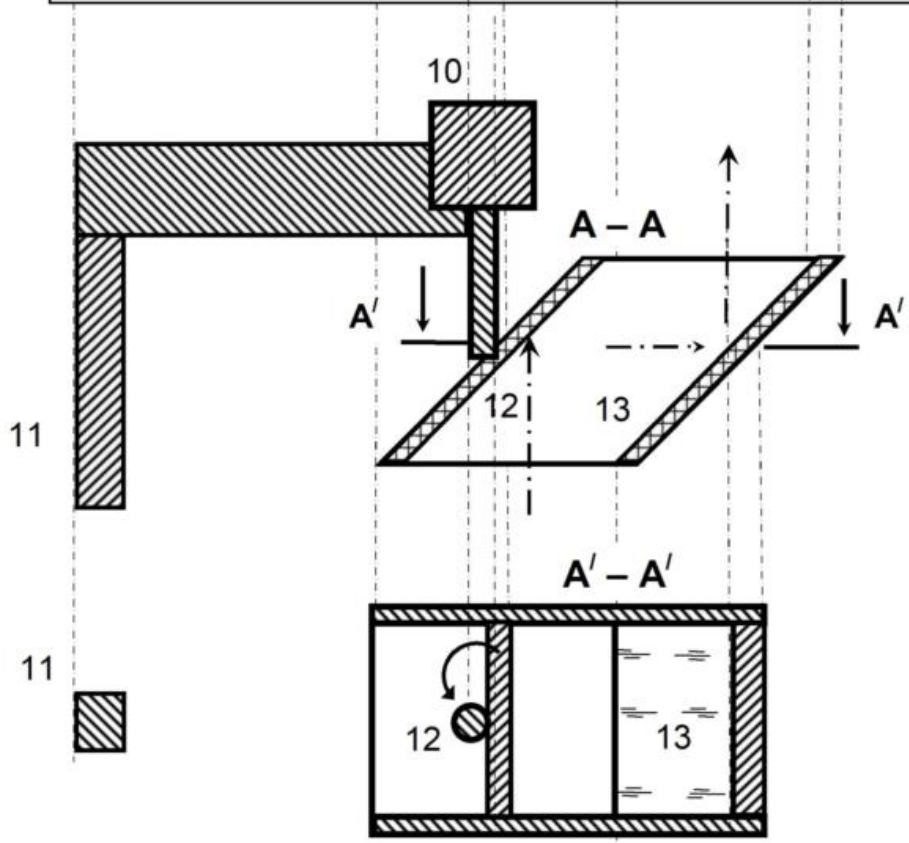
3. Установка для создания сверхнизкочастотной – низкочастотной передающей антенны, содержащая неодимовый лазер, электродвигатель, отличающаяся тем, что на оптическом столе передвижной платформы, закреплены неодимовый и ультрафиолетовый лазеры так, что их оптические оси взаимно перпендикулярны, а в точке их пересечения, под углом 45° к ним, закреплена первая светоделительная пластина, причем на оптической оси неодимового лазера последовательно закреплены первая светоделительная пластина, параллельно ей – вторая светоделительная пластина, первый поляризационный светофильтр и первый измеритель энергии, а напротив второй светоделительной пластины, под углом 45° к ней, последовательно закреплены второй поляризационный светофильтр и второй измеритель энергии; на оптическом столе закреплен электродвигатель так, что к выступающему концу его вала, ориентированному вертикально вниз, прикреплена рама в виде наклонного под углом 45° параллелепипеда, две боковые противоположные стороны которого являются зеркалами, отражающие поверхности которых направлены внутрь рамы, а остальные стороны рамы открыты, причем первое зеркало своей внешней стороной симметрично прикреплено к концу вала электродвигателя под углом 45° относительно его оси, труба из диэлектрического материала закреплена на гидравлическом механизме подъема, который, размещен на платформе и заземлен, причем на нижнюю часть трубы намотана металлическая спираль, а на верхнюю часть трубы надет первый полый металлический цилиндр, к нижней части которого подсоединен один конец спирали, другой конец которой соединен с выходом радиопередатчика, расположенного на платформе, в трубу на

уровне спирали вставлен магнитопроводящий стержень, параллельно первому цилиндру, с зазором, прикреплен второй полый металлический цилиндр диаметром в 10 – 12 раз меньше диаметра первого цилиндра так, что второй полый цилиндр расположен над электродвигателем, соосно ему, и так, что на оптической оси ультрафиолетового лазера последовательно расположены первая светоделительная пластина, оптический коллиматор и первое зеркало; при этом на платформе установлены аргоновый лазер, ветровой лидар, опорно-поворотное устройство с расположенными на нем двумя фотоэлектронными умножителями, перед каждым из которых размещена двояковыпуклая линза, к радиоприемному устройству подключены вольтметр и аттенюатор, который соединен с антенной, компьютер соединен с неодимовым лазером, ультрафиолетовым лазером, двумя измерителями энергии лазерных импульсов, выходными клеммами обмотки электродвигателя, радиопередатчиком, аттенюатором, вольтметром, аргоновым лазером, ветровым лидаром, опорно-поворотным устройством, двумя фотоэлектронными умножителями.

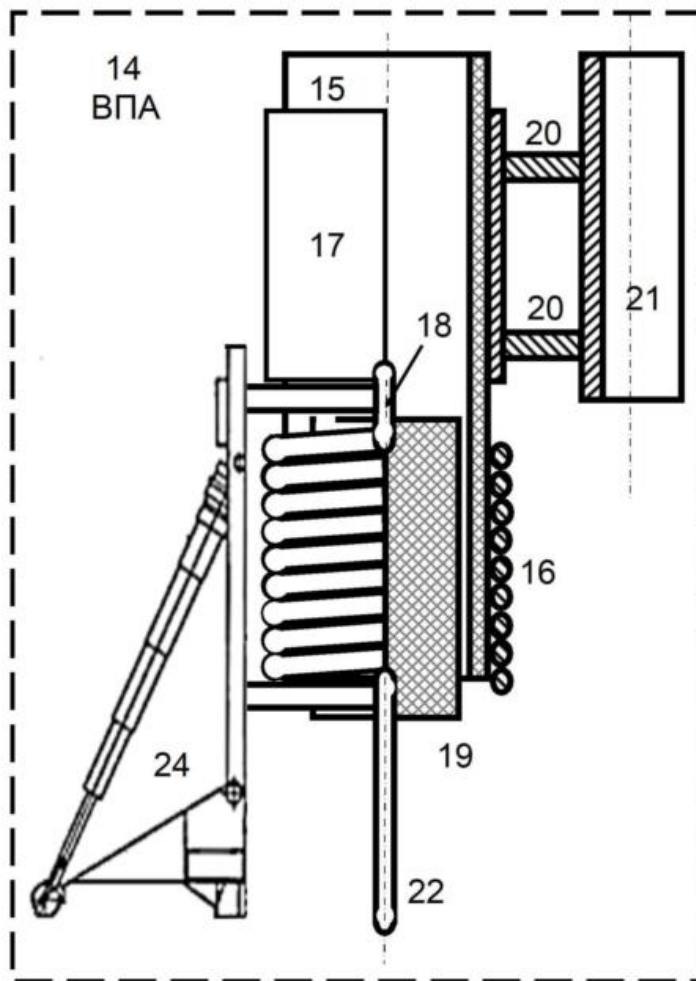


Фиг. 1

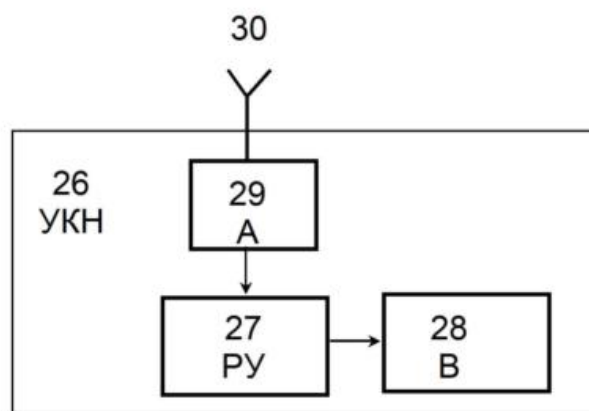




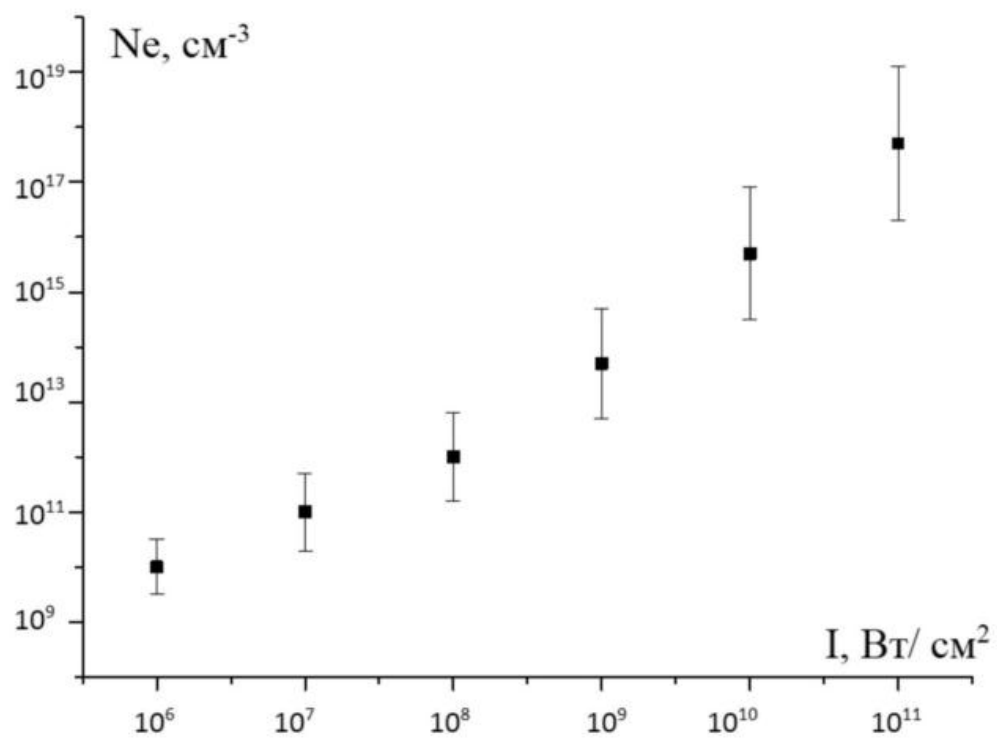
Фиг. 2



Фиг. 3

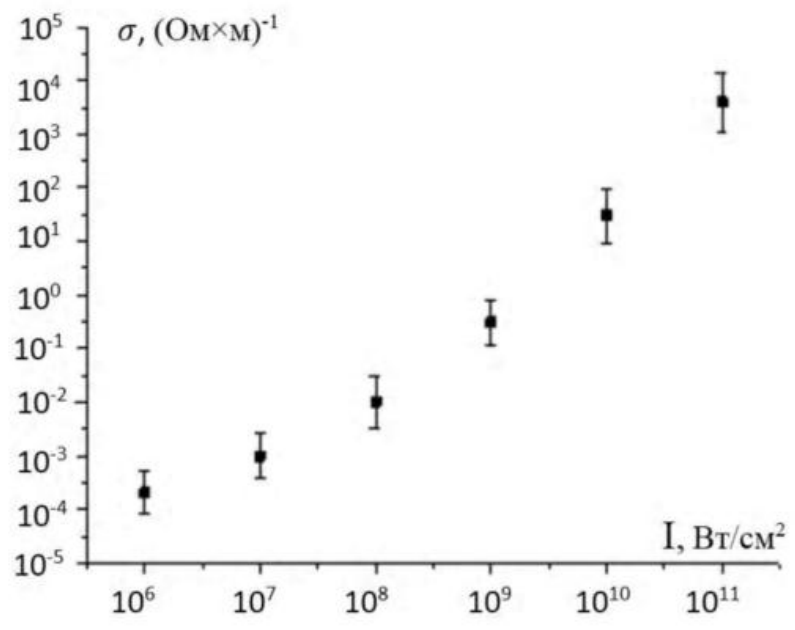


Фиг. 4



Фиг. 5





Фиг. 6