



(51) МПК
H01Q 21/00 (2006.01)
H01Q 13/18 (2006.01)
H01Q 23/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01Q 13/18 (2021.08); H01Q 23/00 (2021.08); H01Q 21/00 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2020142136, 21.12.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 21.12.2020

Дата регистрации:
 17.12.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2020

(45) Опубликовано: 17.12.2021 Бюл. № 35

Адрес для переписки:
 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Центр
 интеллектуальной собственности, Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

Абдуллин Ренат Рашидович (RU),
 Тиунова Татьяна Сергеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Уральский федеральный
 университет имени первого Президента
 России Б.Н. Ельцина" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2701877 C2, 02.10.2019. RU
 2677496 C1, 17.01.2019. RU 176019 U1, 26.12.2017.
 Статья: "Моноимпульсная волноводно-
 щелевая антенная решетка с частотным
 сканированием", Труды МАИ. Выпуск номер
 86. RU 2677496 C1, 17.01.2019. CN 103594806 A,
 19.02.2014.

(54) КОНСТРУКЦИЯ ИЗОГНУТОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ СВЧ

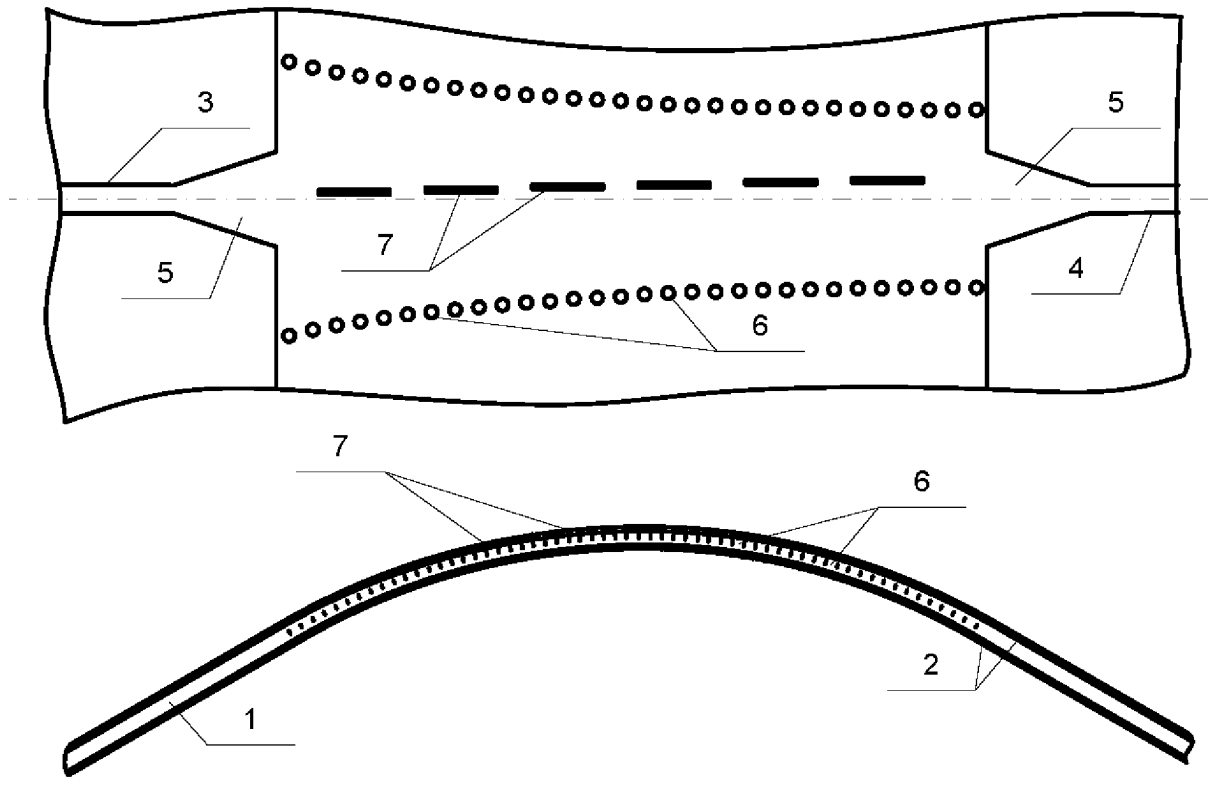
(57) Реферат:

Изобретение относится к антенной технике сверхвысоких частот и может быть использовано в составе бортовых радиолокационных систем. Сущность заявленного решения заключается в том, что в конструкции изогнутой антенной решетки СВЧ, содержащей изогнутый по дуге и заполненный диэлектриком прямоугольный волновод, на внешней стороне изгиба которого вырезаны прямоугольные щели, ширина волновода уменьшается по его длине в направлении распространения сигнала возбуждения, а сам волновод образован двумя симметрично сходящимися друг к другу линиями круглых металлизированных отверстий

непосредственно внутри диэлектрика, выполненного в виде плоского однородного листа и металлизированного с двух сторон, при этом расположенные на поверхности волновода щели ориентированы продольно его оси и имеют поперечное смещение, определяемое требуемым амплитудным распределением. Техническим результатом при реализации заявленного решения является оптимизация конструкции дуговой антенны, уменьшение ее ГМХ, а также полная автоматизация управления лучом антенны в широком секторе сканирования с высоким быстродействием. 1 ил.

RU 2 762 320 C1

RU 2 762 320 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01Q 21/00 (2006.01)
H01Q 13/18 (2006.01)
H01Q 23/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H01Q 13/18 (2021.08); H01Q 23/00 (2021.08); H01Q 21/00 (2021.08)

(21)(22) Application: **2020142136, 21.12.2020**

(24) Effective date for property rights:
21.12.2020

Registration date:
17.12.2021

Priority:
(22) Date of filing: **21.12.2020**

(45) Date of publication: **17.12.2021 Bull. № 35**

Mail address:
620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, Tsentralnaya intellektualnoy sobstvennosti, Marks T.V.

(72) Inventor(s):
**Abdullin Renat Rashidovich (RU),
Tiunova Tatiana Sergeevna (RU)**

(73) Proprietor(s):
**Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education Ural Federal
University named after the first President of
Russia B.N.Yeltsin (RU)**

(54) **DESIGN OF A CURVED UHF ANTENNA ARRAY**

(57) Abstract:

FIELD: antenna equipment.

SUBSTANCE: invention relates to ultra-high frequency antenna equipment and can be used as part of on-board radio location systems. The substance of the claimed solution consists in the fact that in the design of a curved UHF antenna array containing a rectangular waveguide curved in an arc and filled with a dielectric, wherein rectangular slits are cut on the outer side of the curve of said waveguide, the width of the waveguide decreases along the length thereof in the direction of propagation of the excitation signal, and the waveguide itself is formed by two symmetrically converging lines of circular metallised holes directly

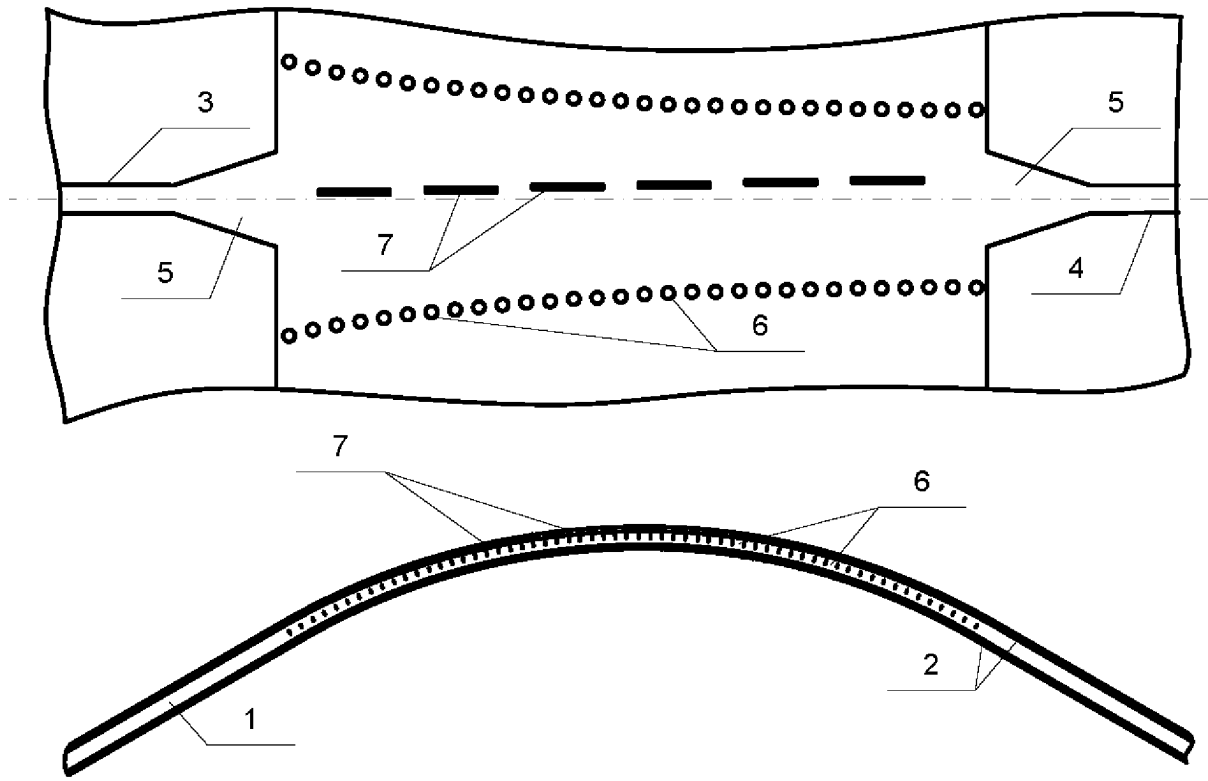
inside the dielectric made in the form of a flat uniform sheet and metallised on both sides, wherein the slits located on the surface of the waveguide are oriented longitudinally along the axis thereof and have a transverse displacement determined by the required amplitude distribution.

EFFECT: optimised design of an arc antenna, reduction in the weight and size characteristics (WSC) thereof, and complete automation of the control of the antenna beam in a wide scanning sector with high operating speed.

1 cl, 1 dwg

RU 2 762 320 C1

RU 2 762 320 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к антенной технике сверхвысоких частот (СВЧ) и может быть использовано в составе радиолокационных систем (РЛС) бокового обзора, как с реальными, так и синтезированными апертурами, устанавливаемых на борту летательных аппаратов (ЛА) радиолокационной разведки, в том числе беспилотных.

5 Основной проблемой при реализации остронаправленного излучения антенн бортовых РЛС является минимизация их габаритно-массовых характеристик (ГМХ) в сочетании с требованием сохранения общих аэродинамических свойств ЛА. Необходимость в повторении антенным полотном формы того объекта, на котором оно должно быть расположено, предполагает индивидуальное управление диаграммами
10 направленности (ДН) отдельных элементов антенны. Это связано с тем, что для получения концентрированного потока энергии в едином для системы направлении, все излучающие элементы, находясь в различных точках криволинейной поверхности, должны обладать различным наклоном максимумов своих ДН относительно этой поверхности.

15 Решение данной задачи заключается в подборе фазового распределения возбуждения по длине антенны, то есть в подборе фазы сигнала, подводимого к отдельным участкам антенны. Так, например, в антенных решетках с параллельным питанием положение луча определяется разностью фаз возбуждения между соседними излучателями. Это приводит к тому, что для повторения криволинейной поверхности крыльев или
20 фюзеляжа ЛА, антенна РЛС должна состоять из множества плоских подрешеток минимум из двух элементов каждая. Поэтому вследствие неравномерной направленности реальных излучателей использование параллельной схемы питания позволяет осуществлять только кусочно-линейную аппроксимацию поверхности ЛА, что приводит к ухудшению его аэродинамических свойств.

25 В то же время в антенных решетках с последовательным питанием фаза возбуждения различных частей антенны зависит от фазовой скорости волны, распространяющейся внутри структуры этой антенны. Направление излучения в этом случае определяется разностью не между фазами отдельных элементов, а между фазовыми скоростями
30 внутри антенны и снаружи нее. Это позволяет управлять излучением каждого элемента индивидуально независимо от ширины его ДН, а значит идеально повторить требуемую форму поверхности ЛА.

К антеннам с последовательным питанием относятся щелевые антенные решетки, представляющие собой совокупность отверстий, вырезанных в проводящей поверхности произвольной формы и обеспечивающих электромагнитную связь СВЧ линии передачи
35 с внешним пространством. Результирующая диаграмма направленности определяется по принципу суперпозиции в соответствии с теоремой перемножения ДН линейной излучающей системы, см. кн. Д.М. Сазонов «Антенны и устройства СВЧ», Москва, Изд. Высшая школа, стр. 243–246.

При конструировании антенной решетки на изогнутом основании, как параллельная, так и последовательная схемы питания требуют построения специальных
40 диаграммообразующих цепей, позволяющих реализовать распределения фазы и амплитуды возбуждения между отдельными элементами антенны, необходимые для заданного направления общего излучения и ширины ДН соответственно.

Известна конструкция волноводно-щелевой дуговой решетки с последовательным возбуждением и дискретно коммутируемыми фазовращателями, см. кн. «Антенны и устройства СВЧ» под ред. Д.Н. Воскресенского, Москва, Радио и связь, 1981, стр.103. Недостатками конструкции являются ее громоздкость, сложность конструкции фазовращателей, также сложность их настройки.

В качестве прототипа изобретения выбрана конструкция антенной решетки СВЧ с частотным сканированием (патент RU 2 701 877 C2, опубл. 02.10.2019), представляющая собой изогнутый по дуге прямоугольный волновод, который по своей длине частично заполнен диэлектриком переменной толщины, а на внешней стороне изгиба содержит поперечные щели.

Недостаток конструкции заключается в малой надежности соединения между диэлектриком и нижней поверхностью волновода, а также больших ГМХ, непригодных для использования в составе бортовых РЛС легких беспилотных ЛА.

Технической задачей изобретения является оптимизация конструкции дуговой антенны, уменьшение ее ГМХ, а также полная автоматизация управления лучом антенны в широком секторе сканирования с высоким быстродействием.

Технический результат достигается за счет использования прямоугольного волновода переменной ширины, интегрированного в металлизированный с двух сторон изогнутый лист диэлектрика; оптимизации размеров и положения излучающих щелей на его внешней поверхности.

Поставленная задача решается тем, что в конструкции изогнутой антенной решетки СВЧ, содержащей изогнутый по дуге и заполненный диэлектриком прямоугольный волновод, на внешней стороне изгиба которого вырезаны прямоугольные щели, ширина волновода уменьшается по его длине в направлении распространения сигнала возбуждения, а сам волновод образован двумя симметрично сходящимися друг к другу линиями круглых металлизированных отверстий непосредственно внутри диэлектрика, выполненного в виде плоского однородного листа и металлизированного с двух сторон, при этом расположенные на поверхности волновода щели ориентированы продольно его оси и имеют поперечное смещение, определяемое требуемым амплитудным распределением.

На чертеже (см. фиг. 1) представлена конструкция волноводно-щелевой дугообразной антенной решетки, на которой обозначено:

- 1 – лист диэлектрика;
- 2 – слой металлизации;
- 3 – микрополосковая линия (МПЛ), подводящая сигнал от генератора;
- 4 – МПЛ, отводящая излишки мощности в согласованную нагрузку;
- 5 – согласующие элементы;
- 6 – металлизированные отверстия;
- 7 – волноводные щели.

Микрополосковые линии с согласующими элементами на входе и выходе волновода показаны условно, радиус изгиба волновода также условен.

Основой конструкции является лист диэлектрика 1, который условно состоит из центрального изогнутого по дуге участка и двух крайних прямолинейных участков. Лист диэлектрика 1 покрыт тонким слоем металлизации 2: изогнутый участок – с двух сторон, прямолинейные участки – со стороны, примыкающей к внутренней поверхности изгиба изогнутого участка. На противоположной стороне прямолинейных участков нанесены МПЛ 3 и 4, служащие для подключения генератора и согласованной нагрузки соответственно, а также трапецевидные согласующие элементы 5. Изогнутая часть листа диэлектрика 1 и покрывающие ее слои металлизации 2 содержат общие сквозные металлизированные отверстия 6, образующие прямоугольный волновод переменной ширины. Во внешнем слое металлизации 2 изогнутой части листа диэлектрика 1 прорезаны продольные прямоугольные щели 7.

По сути, заявляемая антенная решетка является волноводно-щелевой антенной,

формирование направленного излучения которой происходит за счет продольного изменения фазовой скорости возбуждения внутри ее структуры. Это позволяет обеспечить сонаправленность максимумов парциальных ДН одиночных излучателей (прямоугольных щелей 7), находящихся в разных точках криволинейной поверхности.

5 Изменение фазовой скорости внутри волновода со щелями 7 реализуется путем постепенного уменьшения ширины волновода вдоль его длины.

Реализация волновода переменной ширины в стандартном металлическом исполнении является трудозатратной процедурой и требует применения высокоточного оборудования, способного повторить профиль изменения ширины по непрерывной
10 длине волновода, включая все промежуточные точки. Поэтому волновод с изменяющейся шириной предлагается интегрировать в лист однородного диэлектрика 1, покрытый слоем металлизации 2 с каждой стороны. Слои металлизации 2 играют роль широких (верхней и нижней) стенок стандартного металлического волновода. Роль узких (боковых) стенок выполняют две линии круглых металлизированных отверстий 6,
15 выполненных по технологии, используемой при изготовлении печатных плат. Линии металлизированных отверстий 6 симметрично сходятся друг к другу, обеспечивая уменьшение ширины волновода по его длине. Расстояние между соседними отверстиями одной линии не должно более чем в 2,5 раза превышать их диаметр (Xu F., Wu K. "Guided-Wave and Leakage Characteristics of Substrate Integrated Waveguide," IEEE Trans. Microwave
20 Theory and Techniques, vol. 53, no. 1, pp. 66–73, 2005). Среднее значение расстояния между линиями отверстий определяется длиной волны.

Факт того, что ширина узкой стенки волновода, интегрированного в лист диэлектрика, оказывается много меньше ширины узкой стенки стандартного
25 металлического волновода, не имеет значения, так как фазовая скорость основной волны волновода определяется только размером его широкой стенки, см. кн. С.И. Баскаков «Электродинамика и распространение радиоволн», М., изд. Высшая школа, 1992 г., стр. 160–163. Изготовление металлизированных отверстий в листе диэлектрика является отработанным технологическим процессом, а точность их
30 позиционирования требуется лишь в некоторых дискретных сечениях волновода. Таким образом, производство предлагаемой конструкции по сложности и времени сопоставимо с производством печатной платы СВЧ. При этом волновод переменной ширины и заполняющий его диэлектрик оказываются конструктивно объединены, а соединение между ними – неразъемным. Это существенно увеличивает надежность устройства при оказании на него вибрационного воздействия в условиях движения ЛА.

35 Металлизированный лист диэлектрика 1 с интегрированным в него волноводом изгибается по дуге, повторяя ту часть поверхности ЛА, на которой он расположен. Для связи волновода с внешним пространством и, соответственно, возбуждения во внешнем пространстве электромагнитного поля, на внешней стороне изгиба выполнены
40 прямоугольные щели 7, ориентированные параллельно продольной оси волновода.

Количество щелей, их индивидуальные геометрические размеры и положение (расстояние между щелями, величина смещения относительно центральной оси волновода) выбираются из условия корректной аппроксимации амплитудного
45 распределения, причем управление лучом антенны по углу места осуществляется с помощью изменения частоты генератора.

Ко всем щелям излучателей последовательно подводятся сигналы одинаковой структуры с различными начальными фазами и амплитудой, экспоненциально
убывающей по длине волновода.

Возбуждение антенной решетки осуществляется при помощи генератора через МПЛ

3, расположенную со стороны широкой части волновода. Расположенная со стороны узкой части волновода МПЛ 4 предназначена для отвода в согласованную нагрузку излишков мощности, не излученных антенной решеткой. Для согласования волновых сопротивлений МПЛ и волновода используются трапецевидные согласующие

5 элементы 5.

Таким образом, предложена антенная решетка СВЧ, предназначенная для размещения на криволинейной поверхности и выполненная в виде прямоугольного волновода переменной ширины с продольными щелями в широкой стенке, интегрированного в металлизированный с двух сторон лист диэлектрика и затем

10 изогнутого в плоскости вектора E основной волны волновода.

Диаграмма направленности предлагаемой антенной решеткой, имеющей N излучателей, определяется произведением ДН одиночного излучателя и множителя направленности, определяемого выражением (Д.М. Сазонов «Антенны и устройства СВЧ», Москва, Изд. Высшая школа, стр. 273–274):

$$15 \quad f_{\Sigma}(\theta) = \sum_{n=1}^N I_n \exp(j\Phi_n) \exp(j\beta_n z_n \cos\theta),$$

где I_n и Φ_n – амплитуда и фаза возбуждения излучателя с номером n ,

20 β_n – коэффициент фазы, определяющий фазовую скорость возбуждения в окрестности щели с номером n ,

$z_n \cos\theta$ – разность хода лучей, идущих из начала общей системы координат и из точки расположения излучателя с номером n .

Изменение ширины волновода вдоль его длины позволяет настроить фазовое распределение в раскрытии фазированной антенной решетки без использования громоздких и сложных в настройке фазовращателей и управляемых линий задержки. Интеграция волновода в металлизированный лист диэлектрика позволяет существенным образом упростить процесс получения заданного профиля волновода по его ширине

30 и радиусу изгиба, уменьшить его ГМХ, повысить надежность конструкции.

Закон изменения ширины волновода рассчитывается с использованием метода функций Джорджа Грина, см. кн. Н.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев «Справочник по математике», М., изд. Наука, 1965 г., стр. 436, 488, 545, который связывает двойной интеграл по некоторой плоской области с криволинейным интегралом по границе этой

35 области.

Предлагаемая конструкция антенны позволяет:

– значительно снизить ее ГМХ и надежность за счет реализации фазовращателей в виде волновода переменной ширины, интегрированного в металлизированный лист диэлектрика и совмещения их в едином конструктиве с антенными излучателями в виде щелей,

40 – увеличить угол сканирования и разрешающую способность,

– снизить себестоимость,

– обеспечить простоту настройки и эксплуатации,

– выбрать форму антенной решетки (кривизну) по месту установки в фюзеляже

45 самолета таким образом, чтобы она совпадала с его кривизной, следовательно, самолет не имеет выступающих частей, что приводит к улучшению его электродинамических качеств.

(57) Формула изобретения

Конструкция изогнутой антенной решетки СВЧ, содержащая изогнутый по дуге и
заполненный диэлектриком прямоугольный волновод, на внешней стороне изгиба
которого вырезаны прямоугольные щели, отличающаяся тем, что ширина волновода
уменьшается по его длине в направлении распространения сигнала возбуждения, а сам
5 волновод образован двумя симметрично сходящимися друг к другу линиями круглых
металлизированных отверстий непосредственно внутри диэлектрика, выполненного в
виде плоского однородного листа и металлизированного с двух сторон, при этом
расположенные на поверхности волновода щели ориентированы продольно его оси и
имеют поперечное смещение, определяемое требуемым амплитудным распределением.

10

15

20

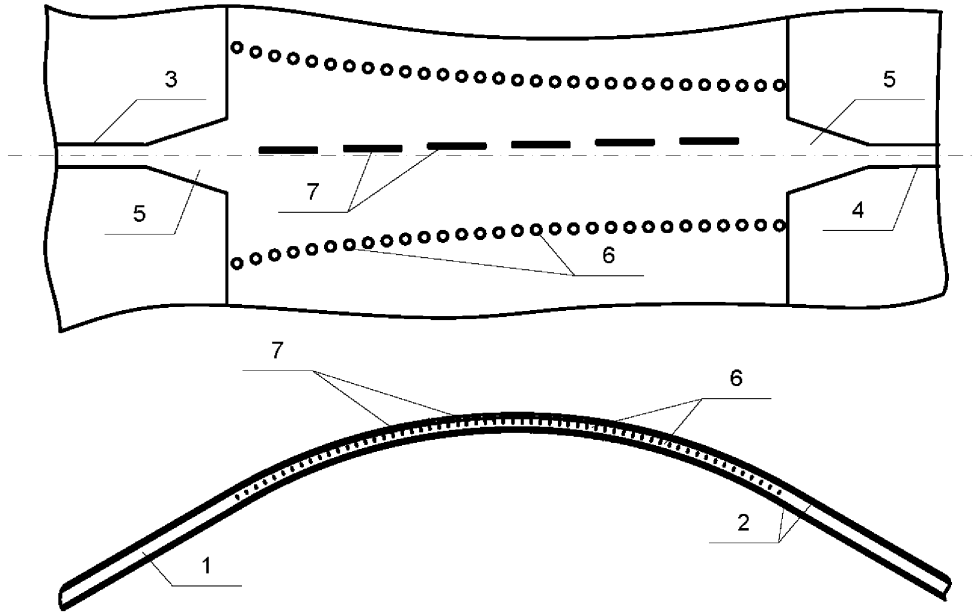
25

30

35

40

45



Фиг. 1