



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013133751/08, 19.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.07.2013

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2015 Бюл. № 3

(45) Опубликовано: 10.07.2015 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 6064352 A1, 16.05.2000. RU 2158820 C1, 10.06.2001. RU 2266592 C1, 20.12.2005. RU 2480386 C2, 27.04.2013. US 6919863 B2, 19.07.2005. US 6975282 B2, 13.12.2005

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС (для НОЦ
НМКН)

(72) Автор(ы):

**Нелюб Владимир Александрович (RU),
Буянов Иван Андреевич (RU),
Бородулин Алексей Сергеевич (RU),
Чуднов Илья Владимирович (RU),
Попов Александр Алексеевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

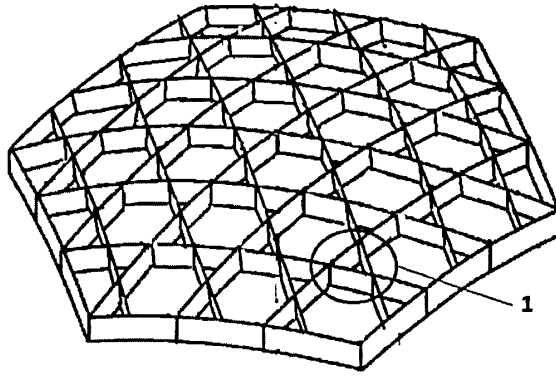
**федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
им. Н.Э. Баумана) (RU)**

**(54) КАРКАС КОНСТРУКЦИИ АНТЕННОГО РЕФЛЕКТОРА ИЗ ПОЛИМЕРНОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к космической технике, в частности к созданию прецизионных антенных рефлекторов с высокоточными отражающими поверхностями сложной геометрии, искривленными в двух измерениях, для эксплуатации в условиях космического орбитального полета. Технический результат - повышение жесткости и температурной размеростабильности, минимизация массы каркаса конструкции космического антенного рефлектора. Для этого каркас конструкции антенного рефлектора включает тонкую оболочку сложной геометрической формы, подкрепленную со своей тыльной стороны ребрами жесткости в виде сетчатой структуры, которая собрана из трех комплектов параллельных ребер жесткости, расположенных относительно друг друга под углами 60 градусов

и приклеенных к тыльной стороне оболочки рефлектора. Каждое из ребер имеет пазы, обеспечивающие сборку ребер в единую сетку для последующего склеивания друг с другом и совместно с оболочкой в единое целое, причем продольные плоскости всех ребер ориентированы параллельно фокусной оси рефлектора. При этом сетка выполнена в виде гибридной треугольно-гексагональной структуры, состоящей из трехгранных и шестигранных ячеек, и образована из изогридной треугольной структуры при эквидистантном смещении одного из трех комплектов параллельных ребер, при этом для увеличения узловой жесткости в местах стыка ребер друг с другом полости образованных трехгранных ячеек заливают клеевым компаундом с последующим отверждением. 3 з.п. ф-лы, 6 ил.



Фиг.1

RU 2556424 C2

RU 2556424 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013133751/08, 19.07.2013

(24) Effective date for property rights:
19.07.2013

Priority:

(22) Date of filing: 19.07.2013

(43) Application published: 27.01.2015 Bull. № 3

(45) Date of publication: 10.07.2015 Bull. № 19

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS (dlja NOTs
NMKN)

(72) Inventor(s):

Neljub Vladimir Aleksandrovich (RU),
Bujanov Ivan Andreevich (RU),
Borodulin Aleksej Sergeevich (RU),
Chudnov Il'ja Vladimirovich (RU),
Popov Aleksandr Alekseevich (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)
(RU)

(54) **FRAME OF STRUCTURE OF ANTENNA REFLECTOR FROM POLYMER COMPOSITE MATERIAL**

(57) Abstract:

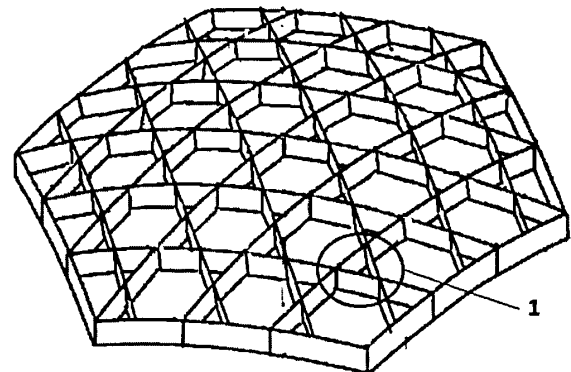
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: invention relates to space engineering, namely to creation of precision antenna reflectors with high-accuracy reflecting surfaces of complex geometry, which are curved in two dimensions, for operation under conditions of a space orbital flight. An antenna reflector structure frame includes a thin cover of complex geometrical shape, which is reinforced on its rear side with stiffeners in the form of a net structure that consists of three sets of parallel stiffeners located relative to each other at angles of 60 degrees and bonded to the rear side of the reflector cover. Each stiffener has slots providing assembly of stiffeners into a common net for further bonding to each other and together with the cover into one unit; with that, longitudinal planes of all stiffeners are oriented parallel to the focal axis of the reflector. With that, the net is made in the form of a hybrid triangular and hexagonal structure consisting of three-edged and six-edges cells and made from an isogrid triangular structure at equidistant displacement of one of the three sets of

parallel stiffeners; with that, in order to increase nodal stiffness at attachment points of stiffeners to each other, cavities of the formed three-edges cells are filled with an adhesive compound with further hardening.

EFFECT: increasing stiffness and temperature stability; minimising the weight of the frame of the space antenna reflector structure.

4 cl, 6 dwg



Фиг.1

Область техники

Изобретение относится к космической технике, в частности к созданию прецизионных антенных рефлекторов с высокоточными отражающими поверхностями сложной геометрии, искривленными в двух измерениях, например параболическими, выполненными из высокомолекулярных полимерных композиционных материалов (ПКМ) с минимальными массовыми характеристиками для эксплуатации в условиях космического орбитального полета.

Уровень техники

В настоящее время антенные рефлекторы различного конструктивного оформления широко используются в системах связи, дистанционного зондирования и природного мониторинга. Одними из таких антенных рефлекторов являются неразворачиваемые антенны с жесткой параболической отражающей поверхностью. Подобные конструкции обладают небольшим диаметром, позволяющим разместить антенну под обтекателем ракеты-носителя. Основные требования, предъявляемые к антенным отражателям для космоса, - это высокая жесткость, низкий вес и термически стабильные компоненты. При этом отклонение профилей отражающих поверхностей от теоретических должно быть не более 0,02...0,05 мм.

Из существующего уровня техники известен антенный отражатель, выполненный в виде многослойной сотовой клееной конструкции, состоящей из углепластиковых обшивок и алюминиевого сотового заполнителя, выполненной путем склеивания обшивок с сотовым заполнителем пленочным клеем (патент РФ 2168820, МПК H01Q 15/16, опубл. 10.06.2001).

К недостаткам данного технического решения можно отнести следующее. Температурный градиент по толщине сот очень велик. Подобные конструкции испытывают предельные термомеханические напряжения из-за экстремальных тепловых флуктуаций, особенно в космосе. Это, прежде всего, происходит из-за несоответствия материалов обшивки и сот, а также переменной толщины сотовой конструкции рефлектора из-за кривизны его формы. Все это приводит к значительному разбросу термомеханических свойств устройства, что усложняет задачу получения изделия с высокими требованиями к точности и размеростабильности геометрических параметров рабочей поверхности отражателя.

Указанный недостаток частично устраняют в конструкции отражателя, где для подкрепления обшивок отражателя применяют не алюминиевые соты, а оребренные вертикальные элементы в виде сетки или решетки (англоязычный термин - grid (грид)), в первую очередь, изогридные треугольные структуры, где ребра формируют ячейки сетки в виде повторяющихся треугольников (например, см. патент США 6064352, МПК H01Q 1/28; H01Q 15/14; H01Q 15/16, опубл. 16.05.2000). Данная структура благодаря использованию углеволокнистых ПКМ, ориентированных вдоль ребер, имеет высокую жесткость и прочность. А при совместной работе с общей оболочкой отражателя эффективность такой структуры резко возрастает. Изогридные конструкции даже с одной оболочкой (или обшивкой) могут успешно соперничать с оптимизированными сотовыми трехслойными конструкциями с точки зрения структурной эффективности, т.е. отношения жесткости и прочности к массе. Это, прежде всего, связано с тем, что оболочка и подкрепляющая оребренная сетка (решетка) выполнены из единого квазиизотропного материала, коэффициент термического расширения которого близок к нулю, вследствие чего изменения геометрических параметров изделия при перепаде температур минимальны. Температурный градиент по толщине (в отличие от сотовой конструкции) сведен к минимуму. Все это ведет к минимизации искажений

геометрической формы в результате температурных перепадов при функционировании в условиях смены света и тени космического пространства.

5 Сетчатые оребренные конструкции можно отнести к классу космических конструкций, которые не испытывают значительных нагрузок ни при выводе на орбиту, ни в процессе эксплуатации в космосе. Такие конструкции должны обладать необходимой жесткостью и минимальной массой. Поэтому для аэрокосмических конструкций изогридная сетка для подкрепления отражателя является более предпочтительной, чем соты. Совокупная жесткость оболочки отражателя и подкрепляющей ее оребренной сетки должна обеспечивать вывод рефлектора на космическую орбиту без нарушения геометрии его
10 отражающей поверхности.

Другие известные сетчатые оребренные структуры, например ортосетчатые, где сетка имеет квадратную или прямоугольную формы, являются менее жесткими, чем изогридные треугольные при той же толщине ребер. А для увеличения их жесткости ребра в ортогридной структуре должны быть более толстыми, чем в изогридной
15 треугольной, что приводит к увеличению их массы. По этой причине ортогридная структура является менее предпочтительной для работы в космосе.

Следует отметить, что при изготовлении каркаса конструкции космического антенного отражателя из указанного и принятого в качестве прототипа патента США 6064352 (кстати, другой близкий аналог такой структуры антенны для наземных
20 применений описан в более раннем патенте США 4439774 (МПК H01Q 15/16; H01Q 15/14, опубл. 27.03.1984), используют клеесборочную технологию (в описании изобретения использовано слово bonded - сцепленный, склеенный - как производное от слова bond, а одно из значений слова bond - слой клея - см. англо-русский словарь строительных терминов). Применение клеесборочной технологии полимерных композиционных
25 материалов, прежде всего, связано с тем, что подобные монолитные интегральные конструкции из ПКМ (см., например, патент США 4086378 (МПК В29D 22/00; E04C 2/32; В32В 3/00, опубл. 25.04.1978)) имеют завышенные массовые характеристики и более склонны к поводкам и короблениям, чем сборные клееные. Также повышенными массовыми характеристиками обладает и изогридный каркас, полученный сборкой
30 плетением волоконных нитей из углепластика (патент США 4137354 (МПК В29С 53/56; В29С 53/58; В29С 53/82; В29С 53/00; В29С 70/04; В29С 70/34; В29С 70/10; В29С 70/38; В29С 70/24; В29D 28/00; В31D 3/02, опубл. 30.01.1979). В последние годы для повышения точности сборки изогридных треугольных каркасов из ПКМ с оболочкой предлагают применять более сложные технологии со специальными треугольными технологическими
35 вставками (см. патенты США 8435375, 8236124, 7871487, 7479201, 8007628).

Прототипный каркас конструкции антенного рефлектора из патента США 6064352 включает тонкую оболочку сложной геометрической формы, образованную материалом из углепластика, подкрепленную со своей тыльной стороны ребрами жесткости в виде сетчатой структуры, которую формируют из множества сборных ребер, выполненных
40 также из углепластика. Ребра образуют сетку из равносторонних треугольников, приклеенную к тыльной стороне оболочки отражателя, сетка образована тремя наборами параллельных линий ребер, расположенных относительно друг друга под углами примерно 60 градусов. Каждое из ребер имеет пазы (щели), находящиеся в общих точках пересечения трех ребер друг с другом, обеспечивая их сборку в единую
45 сетку для последующего склеивания друг с другом и совместно с оболочкой в единое целое. Причем продольные плоскости всех ребер ориентированы параллельно фокусной оси рефлектора.

Однако и клеесборный прототипный каркас конструкции космического антенного

отражателя имеет свои недостатки. Изогридная треугольная сетка формируется системой пластин из композита, которые собираются и фиксируются друг с другом через пазы, образуя ребра, расположенные по схеме, которая определяет изогридную структуру. Но присутствие пазов в пластинах ребер приводит к разрушению части

5 высокомодульных армирующих волокон в композите и ослаблению узлового взаимодействия изогридной сетки в местах пересечения ребер. Это в свою очередь снижает жесткость и прочность отражателя, а следовательно, существенно влияет на размеростабильность геометрических характеристик конструкции. В рассматриваемой прототипной конструкции каждое ребро в точке пересечения может иметь пазы (прорези)

10 до $2/3$ своей ширины, и, следовательно, может терять примерно до $2/3$ своей прочности (наглядно это представлено на фиг.2 в аналоге-патенте США 4439774), а следовательно, имеет и меньшую жесткость. Для повышения жесткости в прототипном изобретении по патенту США 6064352 предлагают на собранную изогридную ребренную структуру дополнительно присоединять (очевидно, приклеивать) вторую (заднюю) укрепляющую

15 оболочку из углепластика - сплошную или сетчатую (по образцу реберной сетки) оболочку с треугольными отверстиями, сделанными для частичного снижения увеличенной за счет задней оболочки общей массы каркаса конструкции.

Раскрытие изобретения

Задача, на решение которой направлено заявленное изобретение, заключается в

20 реализации устройства, отвечающего современным требованиям по высокой жесткости, минимизируемой массе и высокой температурной размеростабильности каркаса конструкции космического антенного рефлектора.

Соответствующий технический результат достигается за счет того, что каркас конструкции антенного рефлектора из полимерного композиционного материала

25 включает тонкую оболочку сложной геометрической формы, образованную материалом из углепластика, подкрепленную со своей тыльной стороны ребрами жесткости в виде сетчатой структуры, которая собрана из трех комплектов параллельных ребер жесткости, выполненных также из углепластика, расположенных относительно друг друга под углами примерно 60 градусов и приклеенных к тыльной стороне оболочки

30 рефлектора. Каждое из ребер имеет пазы, находящиеся в точках пересечения ребер друг с другом, обеспечивая их сборку в единую сетку для последующего склеивания друг с другом и совместно с оболочкой в единое целое, причем продольные плоскости всех ребер ориентированы параллельно фокусной оси рефлектора. При этом сетка выполнена в виде гибридной треугольно-гексагональной структуры, состоящей из

35 трехгранных и шестигранных ячеек, структура образована из изогридной треугольной структуры при эквидистантном смещении одного из трех комплектов параллельных ребер. В треугольно-гексагональной сеточной структуре все ребра пересекаются друг с другом только попарно, отчего пазы в них имеют относительные размеры по глубине меньшие, чем в изогридной треугольной схеме изобретения-прототипа, и, следовательно,

40 прочность (и жесткость) сетки становится относительно большей (при одинаковых геометрических параметрах и основных характеристиках материалов). Дополнительно для увеличения узловой жесткости в местах стыка ребер друг с другом полости образованных трехгранных ячеек заливают клеевым компаундом с последующим отверждением.

45 При относительно больших размерах этих трехгранных ячеек их жесткость дополнительно обеспечивают установкой с небольшим натягом внутрь каждой ячейки тонкостенной втулки (круглой или соответствующей трехгранной формы) из того же ПКМ. Перед этим на внешнюю поверхность втулки наносят клей, а для большего

увеличения узловой жесткости пустоты в углах между стенками ребер и втулкой заполняют также клеевым компаундом.

После склеивания сетки с оболочкой на внешние свободные торцевые поверхности ребер гибридной треугольно-гексагональной сетки вдоль ребер также дополнительно могут приклеивать узкие полоски из того же материала, что и ребра, после чего ребра становятся Т-образными с дополнительно увеличенной жесткостью.

Оболочка, ребра и полоски могут изготавливаться из таких высокомодульных ПКМ, как углепластик или кевлар.

В результате анализа, проведенного авторами известной патентной и научно-технической литературы, предложенное сочетание существенных признаков заявляемого технического решения в известных источниках информации не обнаружено и, следовательно, является новым ввиду технологичности изготовления - промышленно применимым.

Перечень фигур

Фиг.1 - предлагаемая гибридная треугольно-гексагональная сетчатая структура.

Фиг.2 - типовая треугольная ячейка узла жесткости, образованная пересекающимися ребрами, собранными пазовым методом.

Фиг.3 - треугольная ячейка, заполненная только клеевым компаундом.

Фиг.4 - ячейка, усиленная круглой тонкостенной втулкой из ПКМ и заполненная по углам клеевым компаундом перед сборкой.

Фиг.5 - ячейка, усиленная треугольной тонкостенной втулкой из ПКМ, обработанной снаружи и в углах ребер клеевым компаундом перед сборкой.

Фиг.6 - типовой вариант торцевого крепления ребер жесткости к оболочке промазкой углов клеевым компаундом в виде клеевого жгута.

Осуществление изобретения

На фигурах обозначены: 1 - типовая треугольная (трехгранная) ячейка узла жесткости; 2 - пересекающиеся ребра гибридной треугольно-гексагональной структуры; 3 - клеевой компаунд; 4 - круглая втулка из ПКМ; 5 - треугольная втулка из ПКМ; 6 - клеевой жгут.

Отражатель антенного рефлектора выполнен из тонкой оболочки (на чертежах не показана) сложной геометрической формы, подкрепленной с тыльной стороны ребрами жесткости 2, имеющими вид сетки, представляющей собой гибридную треугольно-гексагональную структуру, состоящую из треугольных ячеек 1 и шестиугольников (шестигранников) за счет эквидистантного смещения одного из трех комплектов параллельных ребер (типовой вариант эквидистантного смещения на половинное расстояние - с образованием практически равносторонних треугольников и равносторонних шестиугольников). Для повышения жесткости конструкции треугольные ячейки 1 в одном случае залиты клеевым компаундом 3, в другом - внутри ячеек 1 на клею установлены тонкостенные втулки 4 из ПКМ, а пустоты в углах между стенками ребер и втулкой также заполнены клеевым компаундом, в третьем - внутри ячеек 1 установлены треугольные втулки жесткости 5 из ПКМ, обработанные снаружи и в углах ребер клеевым компаундом перед сборкой. Выдавленный в местах сопряжения ребер 2 с оболочкой клей оформляется в виде треугольного клеевого жгута 6 для дополнительного повышения прочности стыка ребер с оболочкой.

При нагружении отражателя рефлектора, например, термомеханическими или динамическими нагрузками эти нагрузки воспринимаются треугольно-гексагональной структурой ребер, жестко закрепленной на оболочке отражателя. Замкнутые треугольные и шестиугольные ячейки в данной гибридной сетчатой структуре благодаря

использованию высокомодульных углеволоконистых ПКМ, ориентированных в направлении ребер, имеют высокую жесткость и прочность. А при совместной работе с оболочкой отражателя эффективность данной структуры возрастает, так как каждое ребро жестко связано с отражателем и с другими ребрами конструкции. Таким образом, значительно повышается жесткость и прочность отражателя, а следовательно, возрастают допустимые нагрузки, воспринимаемые антенной. Подобное повышение жесткости каркаса в свою очередь позволяет уменьшить массу отражающей панели в целом.

Приклеиваемые торцы ребер гибридной сетки из ПКМ могут иметь любую криволинейную поверхность, что позволяет конструктору-разработчику самому выбирать нужную кривизну поверхности оболочки отражателя. Данная сетчатая конструкция, в узлах жесткости заполненная клеевым компаундом, даже с однослойной оболочкой из того же ПКМ может успешно конкурировать с оптимизированными сотовыми трехслойными конструкциями с точки зрения структурной эффективности, т.е. отношения жесткости к весу (массе), а также прочности к весу (массе). Расстояние между ребрами может варьироваться в зависимости от особых требований жесткости и прочности. Например, иногда требуется большая прочность в центральной зоне, чем по краям. При этом ребра могут иметь разную толщину. Обычно толстые ребра желательно равномерно распределять вблизи центральной оси сборки.

Воскокомодульный волокнистый углепластик был использован в качестве основного строительного материала в данной конструкции. Допускается также использовать другие сопоставимые по основным характеристикам с углепластиком материалы как, например, типа Kevlar, или подобные им материалы.

Предложенный базовый вариант изобретения в основном предназначен для полетов в открытом космосе. Однако данная конструкция может быть использована и в наземных условиях. При этом масса антенного рефлектора перестает быть критически важным определяющим фактором. Но в любом случае выбранные материалы рефлектора должны быть такими, чтобы обеспечить соответствующую жесткость и прочность конструкции при эксплуатации и в наземных условиях.

Изготовление предлагаемого отражателя антенного рефлектора осуществляют следующим образом. Оболочку отражателя собирают путем единовременной укладки слоев углеродного волокна, пропитанного эпоксидной смолой, с последующим отверждением при повышенных температуре и давлении. Подкрепляющие ребра формируют отдельно. Гибридную сетку формируют системой пластин-ребер из углепластика, которые фиксируют друг с другом через пазы, согласно фиг.2, образуя ребра по схеме, которая и определяет сетчатую структуру отражателя. Ребра могут быть как одинаковой высоты, так и каждое ребро может быть вырезано из материала ламината с криволинейными торцевыми поверхностями, одна из которых должна точно соответствовать криволинейной форме тонкой оболочки (чаще всего параболической). Затем торцы собранного сетчатого каркаса прикрепляют к оболочке отражателя при помощи клея, а образовавшиеся треугольные ячейки в сетке заливают клеевым компаундом с последующим отверждением. Преимущество данной конструкции заключается в том, что все ребра можно вырезать в одно время из отвержденного слоистого углепластика, произвести подгонку по длине и высоте перед приклейкой к оболочке, а пазы для сборки делать позднее, что позволит значительно сэкономить время изготовления изделия.

Благодаря тому, что оболочка и подкрепляющий каркас выполнены из квазиизотропного материала, коэффициент термического расширения которого близок

к нулю, изменения геометрических параметров изделия при больших перепадах температуры минимальны.

В рамках НИР спроектирован опытный образец такого каркаса конструкции антенного рефлектора из ПКМ общим диаметром 1 м, радиусом сферы кривизны параболической поверхности 2,525 м, размером ребер в среднем 1×20 мм, толщиной обшивки примерно 0,9...1,0 мм, удельной массой поверхности 2,3 кг/м² при плотности материала 1550 кг/м³.

Предложенное авторами техническое решение обеспечивает реализацию высококачественного устройства каркаса конструкции антенного рефлектора космического аппарата.

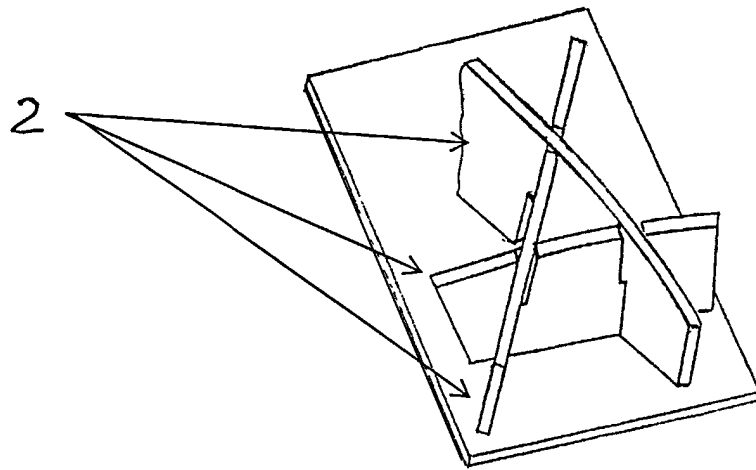
Формула изобретения

1. Каркас конструкции антенного рефлектора из полимерного композиционного материала, включающий тонкую оболочку сложной геометрической формы, образованную из углепластика, подкрепленную со своей тыльной стороны ребрами жесткости в виде сетчатой структуры, которая собрана из трех комплектов параллельных ребер жесткости, выполненных также из углепластика, расположенных относительно друг друга под углами 60 градусов и приклеенных к тыльной стороне оболочки рефлектора; каждое из ребер имеет пазы, находящиеся в точках пересечения ребер друг с другом, обеспечивая их сборку в единую сетку для последующего склеивания друг с другом и совместно с оболочкой рефлектора в единое целое, причем продольные плоскости всех ребер ориентированы параллельно фокусной оси рефлектора, отличающийся тем, что сетка выполнена в виде гибридной треугольно-гексагональной структуры, состоящей из трехгранных и шестигранных ячеек, которая образована из изогридной треугольной структуры при эквидистантном смещении одного из трех комплектов параллельных ребер, в гибридной треугольно-гексагональной структуре все ребра пересекаются друг с другом только попарно, а в местах стыка ребер друг с другом полости образованных трехгранных ячеек заливают клеевым компаундом с последующим отверждением.

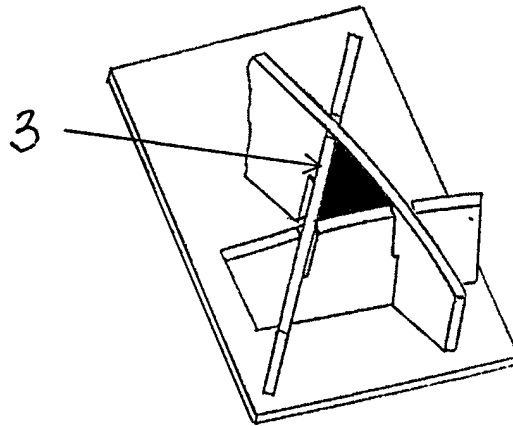
2. Каркас по п. 1, отличающийся тем, что при относительно больших размерах указанных трехгранных ячеек в них установлены с натягом тонкостенные втулки круглой или соответствующей трехгранной формы из полимерного композиционного материала с нанесенным клеевым компаундом, пустоты в углах между стенками ребер и втулкой также заполнены клеевым компаундом.

3. Каркас по п. 1 или 2, отличающийся тем, что на внешние свободные торцевые поверхности ребер гибридной треугольно-гексагональной сетки, склеенной с оболочкой рефлектора, вдоль ребер приклеены узкие полоски из того же материала, что и ребра.

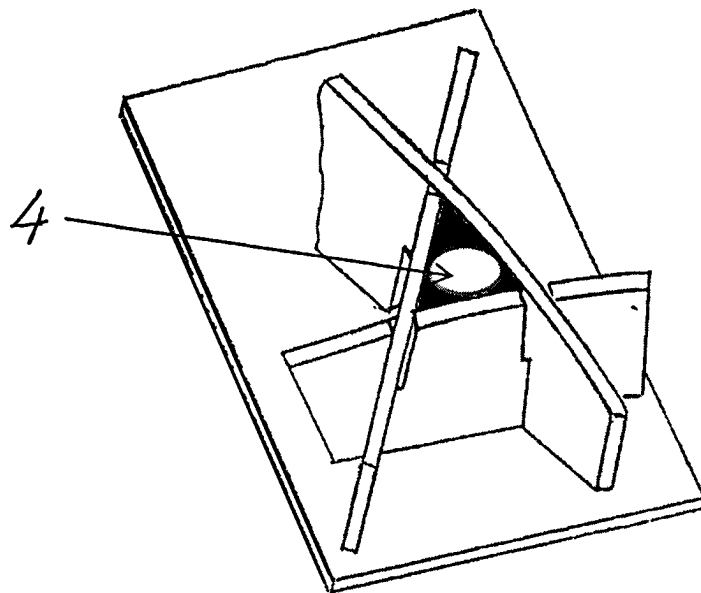
4. Каркас по п. 1 или 3, отличающийся тем, что оболочка рефлектора, ребра и полоски изготовлены из таких высокомодульных композитных материалов, как углепластик или кевлар.



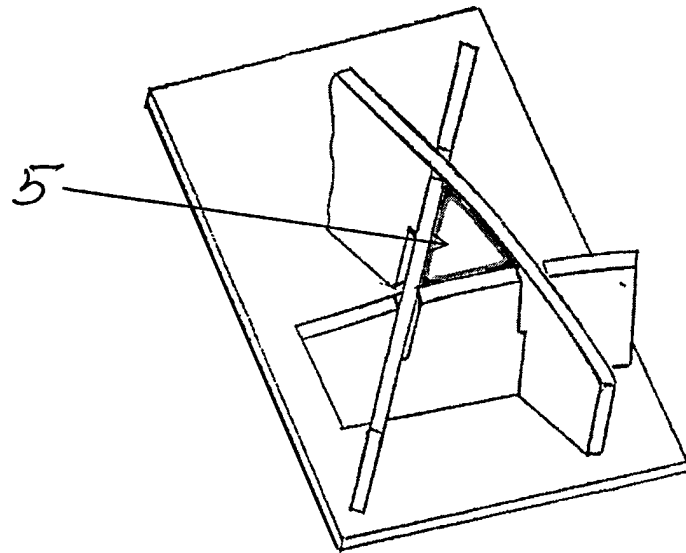
Фиг. 2



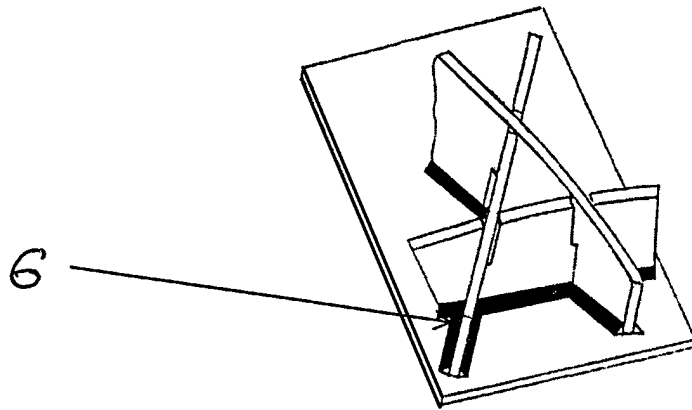
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6