



ОКТАБРЯ
13-15



выставка-форум
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

itCOM

- Информационные технологии и телекоммуникации для бизнеса
- IT и телекоммуникации для дома и отдыха

itCOM-2015:

Более 7000 посетителей, в том числе специалисты из 585 компаний ИТ-отрасли из разных регионов России

Приглашаем принять участие!



Организатор –
ВК «Красноярская ярмарка»

Официальная
поддержка:



г. Красноярск, МВДЦ «Сибирь»
ул. Авиаторов, 19, тел.: (391) 22-88-611
www.krasfair.ru

Издательский дом

МЕДИА ПАБЛИШЕР

Заказ журналов:

- по каталогу "Роспечать" (индекс 80714)
- в редакции (t-comm@yandex.ru)

Региональные подписные агентства
<http://www.media-publisher.ru/raspr.shtml>

Периодичность выхода — 12 номеров в год
Стоимость одного экземпляра 500 руб.

Целевая аудитория по распространению

- Телекоммуникационные компании
- Дистрибьюторы телекоммуникационного оборудования и услуг
- Разработчики и производители абонентского оборудования
- Энергетические компании
- Автотранспортные предприятия
- Компании, занимающиеся железнодорожными, воздушными и морскими перевозками
- Провайдеры охранно-поисковых услуг
- Геодезические и картографические организации
- Государственные ведомства и организации;
- Строительные компании
- Профильные учебные заведения

Тираж 3000 экз. + Интернет-версия

Адрес редакции

111024, Россия, Москва,
ул. Авиамоторная, д. 8, стр. 1, офис 512-514
e-mail: t-comm@yandex.ru
Тел.: +7 (495) 957-77-43

РЕДАКЦИЯ

Издатель

Светлана Дымкова (ds@media-publisher.ru)

Директор отдела развития и рекламы

Ольга Дорошквич (ovd@media-publisher.ru)

Отдел распространения и подписки

info@media-publisher.ru

Предпочтательная подготовка

ООО "ИД Медиа Паблшер"

Поддержка Интернет-портала

Сергей Алексанян

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС77-27364.
Язык публикации: русский, английский.

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет

Материалы, опубликованные в журнале — собственность ООО "ИД Медиа Паблшер". Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается

© ООО "ИД Медиа Паблшер", 2016

Издательство

(495) 957-77-43
(926) 218-82-43
info@media-publisher.ru



ПОЛНЫЙ ЦИКЛ ПОДГОТОВКИ КНИГ, ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ И РЕКЛАМНОЙ ПРОДУКЦИИ — ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИЗАЙН

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ЛИТЕРАТУРНОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕДАКТИРОВАНИЕ

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ ОФСЕТНАЯ И ЦИФРОВАЯ ПЕЧАТЬ В КРАТЧАЙШИЕ СРОКИ

ДОСТАВКА ГОТОВОГО ТИРАЖА

Индексирование журнала T-Comm

научно-технический журнал
T-Comm
Телекоммуникации и Транспорт



ISSN 2072-8735 (Print) ISSN 2072-8743 (Online)



Подписной индекс Агентства "Роспечать" — 80714

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОНИКА. РАДИОТЕХНИКА

Симонов В.П., Чебыкин А.Е., Сайгин И.А.,
Нефедов В.Н., Мамонтов А.В.

Отверждения параболических антенн
из полимерных композиционных
материалов с использованием
микроволнового излучения 5

Смирнов Е.В.

Исследование трехканальной модели
произвольных приемных антенн 9

Волков Р.В., Саяпин В.Н., Севидов В.В.

Модель измерения временной задержки
и частотного сдвига радиосигнала,
принятого от спутника-ретранслятора при
определении местоположения земной
станции 14

СВЯЗЬ

Абрамов В.А., Касьянов А.А.,
Попов О.Б., Терехов А.Н.

Повышение эффективности
использования канала СПРС при
передаче сигнала звукового вещания 19

Мирошникова Н.Е.

Применение адаптивной фильтрации
в задаче оценки ионосферного канала 24

Степанов С.Н., Саламех Немер.

Построение и анализ двухпоточковой
модели звена с конечным числом
абонентов и возможностью
внутренних блокировок 30

Сперанский В.С., Абрамов С.В.,
Клинецов О.И., Шувалов В.М.

Особенности аналоговой и цифровой
передачи радиосигналов по волокну 38

ИНФОРМАТИКА

Костин Д.В., Шелухин О.И.

Сравнительный анализ алгоритмов
машинного обучения для проведения
классификации сетевого
зашифрованного трафика 43

УПРАВЛЕНИЕ

Кордюков Р.Ю., Сергиенко С.В.,
Шароглазов В.Б., Ягольников Д.В.,
Керницкий А.Г.

Метод оперативного управления
процессом ввода в строй объектов
информационной системы воздушно-
космической обороны 53

ПУБЛИКАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

МАТЕМАТИКА

Крюковский А.С., Скворцова Ю.И.

Лучи и каустики в координатно-
импульсных подпространствах
предканонического оператора Маслова
при распространении радиоволн
в ионосферной плазме 57

Кюркчан А.Г., Маненков С.А.

Новый метод решения задачи обтекания
потокком несжимаемой жидкости
компактного тела вращения
и периодически неровной поверхности 66

СВЯЗЬ

Углов И.В.

Анализ проблем подключения
коллекторских агентств
к сети оператора связи 73

T • C o m m

Телекоммуникации и транспорт

ТОМ 10. №9-2016

Журнал включен в перечень периодических научных изданий, рекомендуемый ВАК Минобрнауки России для публикации научных работ, отражающих основное научное содержание кандидатских и докторских диссертаций.

Учредитель

ООО "Издательский дом Медиа Паблшер"

Главный редактор

Тихвинский Валерий Олегович

Издатель

Дымкова Светлана Сергеевна
ds@media-publisher.ru

Редакционная коллегия

Аджемов Артём Сергеевич

(д.т.н., профессор МТУСИ), Россия

Бугаев Александр Степанович

(академик РАН), Россия

Буслаев Александр Павлович

(д.ф.-м.н., профессор МТУСИ), Россия

Вааль Альберт

(д.т.н., старший научный сотрудник Ганноверского университета им. Лейбница на кафедре коммуникационной техники), Германия

Головачев Юлиус

(управляющий консультант
Delecon International GmbH), Германия

Дулкейтс Эрик

(д.т.н., старший исполнительный директор корпорации Delecon), Силиконовая долина, США

Елизаров Андрей Альбертович

(д.т.н., профессор МИЭМ, НИУ ВШЭ), Россия

Зубарев Юрий Борисович

(д.т.н., член-корреспондент РАН,
заслуженный деятель науки РФ), Россия

Кирхгесснер Юрий

(д.т.н., Директор IncotologyLtd.), Великобритания

Корбетт Ровэлл

(д.т.н., директор по исследованиям в научно-исследовательском центре China Mobile Research Institute, профессор университета Назарбаева), Гон-Конг (Китай), США

Кузовкова Татьяна Алексеевна

(д.э.н., декан экономического факультета МТУСИ), Россия

Кюркчан Александр Гаврилович

(д.ф.-м.н., профессор МТУСИ), Россия

Сеилов Шахмаран Журсинбекович

(д.э.н., Президент Казахской академии инфокоммуникаций), Казахстан

Сысоев Николай Николаевич

(д.ф.-м.н., декан физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова), Россия

Шарп Майкл

(д.э.н., вице-президент европейского института стандартизации – ETSI), Великобритания

Яшина Марина Викторовна

(д.т.н., профессор, МТУСИ), Россия

www.media-publisher.ru

The journal is included in the list of scientific publications, recommended Higher Attestation Commission Russian Ministry of Education for the publication of scientific works, which reflect the basic scientific content of candidate and doctoral theses.

Founder
"Media Publisher", Ltd.

Publisher
Dymkova Svetlana Sergeevna
ds@media-publisher.ru

Editor in Chief
Dr. Valery Tikhvinskiy

Editorial board

Adzhemov Artem S.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Bugaev Alexander S.
Academician of the RAS, Russia

Buslaev Alexander P.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Corbett Rowell
Full Professor: Electronic & Electrical Engineering Nazarbayev University, Hong Kong (China), USA

Golovachyov Julius
Managing Consultant Detecon International GmbH, Germany

Dulkeys Eric
Ph.D., chief executive officer of the corporation Detecon, USA

Kirhgessner Yuri
Ph.D., Director Incotelogy Ltd., United Kingdom

Kuzovkova Tatyana A.
PhD, Dean of the Faculty of Economics MTUCI, Russia

Kyurkchan Alexander G.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Seilov Shakhmaran Zh.
PhD, President of the Kazakh Academy of Infocomm, Kazakhstan

Sharpe Michael
PhD, vice-president of the European Standards Institute – ETSI, United Kingdom

Sysoev Nikolai N.
Doctor of sciences, Dean of the Faculty of Physics of Moscow State University, Lomonosov, Russia

Waal Albert
Ph.D., Senior Research Fellow University of Hanover. Leibniz at the Department of Communications Technology, Germany

Yashina Marina V.
Doctor of sciences, Professor MTUCI, Russia

Yelizarov Andrey A.
Doctor of sciences, Professor MIEM, HSE, Russia

Zubarev Yuri B.
Ph.D., corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of Russia, Russia

All articles and illustrations are copyright. All rights reserved. No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher Joint-Stock Company

© "Media Publisher", 2016

CONTENT

ELECTRONICS. RADIO ENGINEERING

Simonov V.P., Chebykin A.E., Saygin I.A., Nefedov V.N., Mamontov A.V.

Thermal hardening of parabolic polymer composite antennas with the use of microwave radiation

5

Smimov E.V.

Study three-channel model of arbitrary receiving antenna

Volkov R.V., Saypin V.N., Sevidov V.V.

Model measuring the time delay and frequency shift of the radio signal received from the satellite repeater in locating ground terminal

14

COMMUNICATIONS

Abramov V.A., Kas'janov A.A., Popov O.B., Terekhov A.N.

Raising of efficiency of using a mobile radio system channel while transferring a sound broadcasting signal

19

Miroshnikova N.E.

Adaptive filtering for HF channel estimation

24

Stepanov S.N., Salameh Nemer.

The construction and analysis of the two-flow link model with finite number of subscribers and the possibility of inner blocking

30

Speranski V.S., Abramov S.V., Klintsov O.I., Shuvalov V.M.

The characteristics of radio-over fiber transmission

38

COMPUTER SCIENCE

Kostin D.V., Sheluhin O.I.

Comparison of machine learning algorithms for encrypted traffic classification

43

MANAGEMENT

Kordyukov R.Yu., Sergiyenko S.V., Sharoglazov V.B., Yagolnikov D.V., Kernitckiy A.G.

Method of the operational management input process in the system of objects of information system aerospace defense

53

PUBLICATIONS IN ENGLISH

MATHEMATICS

Kryukovsky A.S., Skvortsova Yu.I.

Rays and caustics in the coordinate-pulse subspaces precanonical Maslov operator for propagation in ionospheric plasma

57

Kyurkchan A.G., Manenkov S.A.

A new method for solving the problem of a flow by ideal liquid stream of a compact body of revolution and periodically rough surface

66

COMMUNICATIONS

Uglov I.V.

Analysis of issues with connecting debt collection agencies to communications provider network

73

ОТВЕРЖДЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АНТЕНН ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Симонов Валентин Павлович,

профессор, "Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ), Москва, Россия, vsimonov@hse.ru

Чебыкин Алексей Евгеньевич,

магистрант 1-го года обучения, "Национальный исследовательский
университет "Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ),
Москва, Россия, leksei932@rambler.ru

Сайгин Илья Александрович,

студент, "Национальный исследовательский университет "Высшая школа
экономики" (НИУ ВШЭ), Москва, Россия, saiginilya95@mail.ru

Нефедов Владимир Николаевич,

профессор, "Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ), Москва, Россия, 6034348@mail.ru

Мамонтов Александр Владимирович,

доцент, "Национальный исследовательский университет "Высшая школа
экономики" (НИУ ВШЭ), Москва, Россия, a.mamontov@hse.ru

Ключевые слова: микроволновая технология, электродинамическая система, источник СВЧ-энергии, распределение температуры, композиционный материал.

Представлены теоретические результаты отверждения параболической антенны из полимерных композиционных материалов с использованием в качестве источника тепла энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот. Показаны преимущества микроволнового метода тепловой обработки антенн из углеродного волокна с эпоксидным термоотверждающим связующим по сравнению с традиционными методами. Приведены результаты теоретических исследований по ускоренному отверждению антенн из полимерных композиционных материалов в микроволновой установке лучевого типа в периодическом режиме. Разработана микроволновая установка лучевого типа для полимеризации антенн из композиционных материалов, диаметром 1200 мм, толщиной 3 мм при температуре +180°C на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц и выходной микроволновой мощностью 4,8 кВт. Микроволновая установка позволяет сократить энергетические затраты на технологический процесс ускоренного отверждения антенны из полимерного композиционного материала, увеличить производительность и улучшить условия труда обслуживающего персонала. Представлены основные выражения и результаты расчёта распределения температуры по толщине антенны из полимерного композиционного материала. Длительность нагрева антенны от +20°C до +200°C, весом 5,4 кг, составляет 160 секунд. Отклонение температуры от номинального значения температуры по поверхности антенны отсутствует, а по толщине антенны не превышает 2°C.

В результате проведенных исследований показана перспективность использования микроволнового излучения для технологических процессов, связанных с ускоренным отверждением параболических антенн из полимерных композиционных материалов. В настоящее время ведутся работы по исследованию прочностных характеристик полимерных антенн, предполагая, что равномерный нагрев антенн по объёму ведёт к отсутствию внутренних напряжений и других дефектов структуры материала антенны.

Для цитирования:

Симонов В.П., Чебыкин А.Е., Сайгин И.А., Нефедов В.Н., Мамонтов А.В. Отверждения параболических антенн из полимерных композиционных материалов с использованием микроволнового излучения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – №9. – С. 5-8.

For citation:

Simonov V.P., Chebykin A.E., Saygin I.A., Nefedov V.N., Mamontov A.V. Thermal hardening of parabolic polymer composite antennas with the use of microwave radiation. T-Comm. 2016. Vol. 10. No.9, pp. 5-8. (in Russian)

Введение

В настоящее время в различных отраслях промышленности всё более широкое применение получают материалы на основе углеродного волокна в качестве материала обшивки самолётов-невидимок, для изготовления космических антенн, деталей двигателей, а также для изготовления арматуры бетонных плит. Композиционные материалы на основе углеродных волокон отличаются высокими значениями таких технических характеристик, как прочность, жесткость и низкий удельный вес.

В связи с потребностью использования телекоммуникационных спутниковых систем и спутников ретрансляторов все более возрастает интерес к антенным рефлекторам, работающим в условиях открытого космоса.

Основными требованиями, предъявляемыми к таким конструкциям антенн, помимо радиотехнических, являются: высокая точность изготовления антенны, термическая стабильность конструкции антенны, стабильность термомеханических и теплофизических свойств материала, малая масса при высокой жёсткости и прочности её конструкции.

Сочетание вышеперечисленных характеристик в наибольшей степени обеспечивает применение для изготовления антенны полимерного композиционного материала на основе углеродного волокна и эпоксидного термостойкого связующего. Рабочая температура антенны при её эксплуатации лежит в диапазоне от минус 160°C до плюс 140°C.

Традиционные методы отверждения антенн из полимерных композиционных материалов связаны с решением следующих технологических процессов:

- нагрев антенн из композиционных материалов до заданной температуры с использованием электрических нагревателей – тэнов;

- поддержание заданной температуры материала антенны в течение времени, которое необходимо до отверждения полимерного композиционного материала с учётом теплоотдачи в окружающую среду.

Традиционные технологические процессы нагрева антенн из полимерных композиционных материалов связаны с учётом теплопроводности и сопровождается большими затратами энергии и времени.

Малая скорость отверждения антенн из полимерных композиционных материалов связана с процессом нагрева внешних слоёв материала антенны и передачей тепла за счёт малой теплопроводности композиционного материала к внутренним слоям антенны. Во время нагрева возникают внутренние напряжения между внешними и внутренними слоями материала антенны из композиционного полимерного материала, что в дальнейшем может приводить к различным дефектам структуры материала и может снизить прочностные характеристики антенны.

Микроволновый метод [1-4], по сравнению с традиционными методами тепловой обработки антенн из полимерных композиционных материалов имеет следующие основные преимущества:

- микроволновое излучение проникает мгновенно вглубь обрабатываемого материала и ускоряет протекание реакции полимеризации;

- за счёт объёмного характера нагрева антенны из полимерных композиционных материалов происходит ускорение технологических процессов в несколько раз;

- объёмный характер нагрева антенны из композиционного материала не зависит от его теплопроводности и не приводит к появлению внутренних напряжений и других механических дефектов внутренней структуры изделий;

- технологический процесс тепловой обработки антенн из полимерных композиционных материалов не обладает инерционностью, что позволяет достаточно точно его регламентировать;

- микроволновое излучение не нагревает окружающее пространство – воздух, что позволяет существенно экономить энергетические затраты;

- если обрабатываемый материал расположен в оправке, выполненной из радиопрозрачного и теплоизоляционного материала, например, фторопласта, то можно не учитывать теплоотдачу в окружающее пространство, что также существенно приводит к экономии энергетических затрат на поддержание в материале антенны заданной температуры до её отверждения из-за эффекта термоса.

Таким образом, применение микроволнового излучения позволяет значительно интенсифицировать процесс тепловой обработки изделий из полимерных композитных материалов, уменьшить площадь, занимаемую нагревательными установками, повысить экономические показатели технологического процесса.

Основная часть

Для отверждения антенны из полимерного композиционного материала предложено использовать конструкцию в виде микроволновой установки лучевого типа.

Рабочая камера микроволновой установки периодического действия имеет следующие габаритные размеры: диаметр микроволновой установки 1500 мм, диаметр антенны 1200 мм, толщина антенны 3 мм, высота рабочей камеры 600 мм. Антенна выполнена из углеродного волокна с эпоксидным термостойким связующим.

Параметры композиционного материала: действительная часть относительной диэлектрической проницаемости материала антенны ($\epsilon' = 4,5$) при температуре +180°C, мнимая часть относительной диэлектрической проницаемости антенны ($\epsilon'' = 0,28$) при температуре +180°C, плотность материала антенны 1600 кг/м³, теплоемкость материала антенны – 0,90 кДж/(кг·°К); масса материала антенны 5,4кг; мощность, необходимая на нагрев антенны из композиционного материала от +20°C до +180°C соответствовала значению 4,8 кВт за время обработки антенны 160 секунд. Антенна расположена на расстоянии 300 мм от верхней крышки рабочей камеры.

Для реализации технологического процесса на рабочей камере расположено 6 источников микроволновой энергии. Максимальная выходная мощность каждого источника микроволновой энергии составляет 0,8кВт.

Антенна из полимерного композиционного материала помещена в оправку из фторопласта, которая вращается с определённой угловой скоростью вокруг своей оси. Материал оправки является радиопрозрачным и теплоизоляционным, чтобы не учитывать теплоотдачу в окружающее пространство и поддерживать заданную температуры для полного отверждения материала антенны.

Рабочая камера микроволновой установки состоит из двух частей. Верхняя часть рабочей камеры включает боковую цилиндрическую поверхность и верхнюю крышку с источниками микроволновой энергии. Нижняя часть включает подставку, дно рабочей камеры с двигателем и стойкой для поддержки оправки из фторопласта с материалом антенны. На дне рабочей камеры расположена пружинная металлическая оплётка, которая при соединении её с верхней частью рабочей камеры предотвращает выход микроволнового излучения из микроволновой установки для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала. Отверждение антенны при температуре +180°C происходит за время 60 секунд.

В качестве источника микроволновой энергии использован источник, созданный на базе зарубежных комплектующих. Источник микроволновой энергии имеет массу 12 кг и габаритные размеры: длина – 400 мм; ширина – 200 мм; высота – 200 мм. Вывод микроволновой энергии из источника осуществляется с использованием волновода, поперечным сечением (72×34) мм на основном типе волны H_{10} , а раскрыв волновода используется в качестве излучающей антенны.

При расчёте диаграммы излучения из раскрыва прямоугольного волновода использован метод Гюйгенса – Кирхгофа. Источники микроволновой энергии расположены на верхней крышке рабочей камеры таким образом, чтобы обеспечить формирование равномерного распределения температуры по поверхности антенны при её движении. Общая площадь поверхности антенны 1,13 м², три источника расположенные под углом 120° обеспечивали равномерный нагрев площади антенны 0,57 м², два источника микроволновой энергии, расположенные под углом 180° обеспечивали равномерный нагрев площади антенны 0,38 м² и один источник обеспечивал равномерный нагрев площади антенны 0,19 м². Таким образом мощность микроволнового излучения, приходящаяся на один квадратный метр площади антенны составляла 4210 Вт/м².

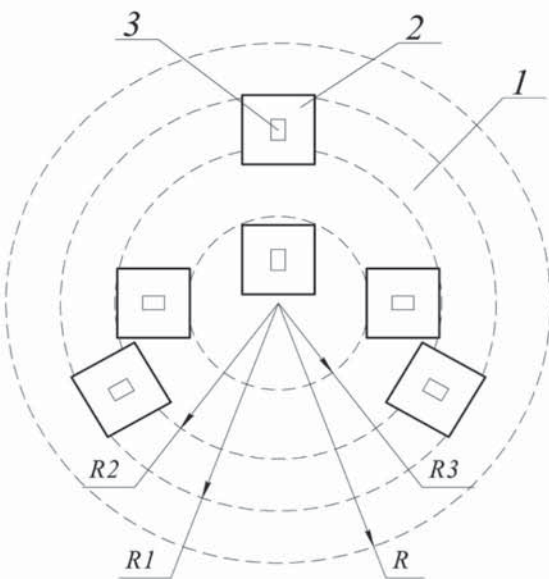


Рис. 1. Расположение источников микроволновой энергии на верхней поверхности рабочей камеры. 1 – верхняя крышка рабочей камеры, 2 – источник микроволновой энергии, 3 – прямоугольный волновод в качестве вывода микроволновой энергии, R – 750 мм, R1 – 600 мм, R2 – 425 мм, R3 – 245 мм

На рисунке 1 показано расположение источников микроволновой энергии на верхней крышке микроволновой установки лучевого типа. Расположение источников микроволновой энергии формирует равномерный нагрев антенны по её площади.

Уровень побочных излучений от микроволновой установки не превышал 10 мкВт/см², что обеспечивало необходимые безопасные санитарные нормы для работы обслуживающего персонала.

На рисунке 2 показано поперечное сечение микроволновой установки лучевого типа.

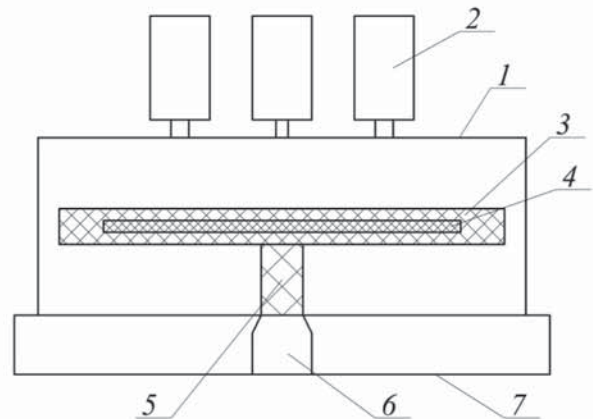


Рис. 2. Поперечное сечение микроволновой установки лучевого типа для отверждения антенны из полимерного композиционного материала: 1 – цилиндрическая рабочая камера; 2 – источник микроволновой энергии; 3 – оправка из фторопласта; 4 – антенна из полимерного композиционного материала; 5 – стойка для оправки из фторопласта; 6 – двигатель; 7 – подставка

Распределения температуры по толщине материала антенны из полимерного композиционного материала можно рассчитать по формуле [1-4]:

$$T(z) = T(0) \cdot e^{-2\alpha \cdot z} \quad (1)$$

Здесь $T(z)$ – температура материала антенны на расстоянии z от её поверхности; $T(0)$ – температура на поверхности антенны +180°C; α – постоянная затухания амплитуды напряжённости электрического поля, которая в первом приближении определяется выражением [1-4]:

$$\alpha = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{\varepsilon''}{\sqrt{\varepsilon'}} \quad (2)$$

Способ размещения источников микроволновой энергии по верхней крышке рабочей камеры состоит в том, чтобы отражённая мощность, попадающая на источник, была минимальной и не отражалась на работе источника микроволновой энергии.

Проведём оценку величины отражённой микроволновой мощности, приходящей на вход источника микроволновой энергии.

Площадь вывода источника микроволновой энергии имеет поперечное сечение волновода (72×34) мм. Площадь вывода энергии источника микроволновой энергии соответствует 0,0024 м², а площадь выводов энергии шести источников микроволновой энергии имеют общую площадь волноводов 0,0144 м².

Общая площадь облучаемой поверхности составляет 1,13 м², тогда площадь поверхности излучающих волноводов составляет 1,27%. В этом случае отражённая мощность, приходящаяся на вход источника микроволновой энергии составляет 0,01кВт и не может оказать существенного влияния на работу микроволновой установки.

Отклонение температуры от номинального значения температуры +180°C по поверхности материала антенны отсутствовало, а по толщине материала антенны не превышало 4°C без учёта отражённой мощности (+176,4°C).

С учётом отражённой мощности от дна рабочей камеры неравномерность нагрева по толщине материала антенны не превышает 2°C.

Тепловую обработку антенны из композиционного материала целесообразно производить до её полного отверждения. Отверждение материала антенны полностью приобретается во время её выдержки при заданной температуре +180°C в рабочей камере микроволновой установки в течение 60 секунд.

Заключение

Разработана микроволновая установка лучевого типа периодического действия для отверждения полимерного композиционного материала антенны, диаметром 1200 мм и толщиной 3 мм на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц, выходной мощностью 4,8 кВт.

Микроволновая установка позволяет сократить энергетические затраты на технологический процесс полимеризации

антенны из полимерного композиционного материала, и улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Отклонение температуры от номинального значения температуры +180°C на поверхности антенны отсутствует, а по толщине материала антенны при её нагреве до температуры +180°C не превышало 2°C.

Уровень побочных излучений от микроволновой установки лучевого типа не превышал 10 мкВт/см², что обеспечивало безопасные санитарные нормы для обслуживающего персонала.

Литература

1. Денисова Л.В., Калинин Д.Ю., Резник С.В. Теоретические и экспериментальные исследования тепловых режимов сетчатых рефлекторов космических антенн // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер техн. наук. – 2011. – № 1(82). – С.92-105.
2. Лоик Д.А., Мамонтов А.В., Назаров И.В., Неведов В.Н. Концепция построения СВЧ устройств равномерного нагрева листовых материалов // Измерительная техника, № 3, 2009. – С.58-59.
3. Мамонтов А.В., Никишин Е.В., Неведов М.В., Неведов В.Н. Распределение температуры материала в СВЧ устройстве лучевого типа // Метрология № 1, 2009. – С.22-28.
4. Мамонтов А.В., Неведов В.Н., Назаров И.В., Потанова Т.А. Микроволновые технологии // ГНУ НИИ ПМТ МИЭМ(ТУ), 2008, 326 с.
5. Холопов Д.В., Потанова Т.А., Неведов В.Н. Моделирование СВЧ – обработки диэлектрических материалов с использованием различных типов излучателей // Материалы международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы электронного приборостроения", Саратов – 2012, изд-во СГТУ, 2012. – С.147-153.

THERMAL HARDENING OF PARABOLIC POLYMER COMPOSITE ANTENNAS WITH THE USE OF MICROWAVE RADIATION

Valentin P. Simonov, National research University "Higher school of Economics" (HSE), professor, Moscow, Russia, vsimonov@hse.ru
Aleksey E., Chebykin, National research University "Higher school of Economics" (HSE), 1st year master student, Moscow, Russia, leksei932@rambler.ru

Il'ya A. Saygin, National research University "Higher school of Economics" (HSE), student, Moscow, Russia, saiginilya95@mail.ru
Vladimir N. Nefedov, National research University "Higher school of Economics" (HSE), professor, Moscow, Russia, 6034348@mail.ru
Alexandr V. Mamontov, National research University "Higher school of Economics" (HSE), professor, Moscow, Russia, a.mamontov@hse.ru

Abstract

Theoretical results of curing antennas made of composite materials using electromagnetic field of superhigh frequencies as a source of heat energy are presented. The advantages of microwave heat treatment of the antenna made of carbon fiber with epoxy binder in comparison with traditional methods are presented. Results of theoretical studies on the accelerated curing of antennas made of composite materials in microwave radiation type installation in the periodic mode are presented. A radial type setup for the polymerization of antennas made of composite materials with a diameter of 1200mm, a thickness of 3mm at a temperature of +180°C with the electromagnetic field frequency oscillations of 2450MHz and a power output of 4.8kW was developed. A set allows to reduce the energy consumption for the technological process of accelerated curing of an antenna made of composite material, increase productivity and improve working conditions of staff. The essential expressions and calculation results of the temperature distribution along the thickness of the antenna made of composite material are presented. The heating duration of the antenna from the temperature of +20°C to a temperature of +200°C, weight 5,4kg, is 160 seconds. The temperature deviation from the nominal value of the temperature on the surface of the antenna is absent, and through the thickness of the antenna does not exceed 2°C. As a result, the research shows the prospects of using microwave radiation for the production processes associated with accelerated curing of parabolic antennas made of composite materials. Currently work is underway to study the strength characteristics of polymer antennas, assuming that the uniform heating of the antenna leads to the absence of internal stresses and other defects of the material structure of the antenna.

Keywords: microwave technology, electrodynamic system, source of microwave energy, the temperature distribution, composite material.

References

1. Denisova L.V., Kalinin D.Yu., Reznik S.V. Theoretical and experimental studies of thermal regimes of mesh reflector antennas for space / Vestnik MGTU im. N. Bauman. CEP tech. Sciences. 2011. No 1(82), pp. 92-105. (In Russian)
2. Loik D.A., Mamontov A.V., Nazarov I.V., Nefedov V.N. The concept of constructing microwave devices for the uniform heating of sheet materials / Measurement techniques, No. 3, 2009, pp. 58-59. (In Russian)
3. Mamontov A.V., Nikishin, E.V., Nefedov, M.V., Nefedov V.N. The temperature distribution of the material in the microwave radiation type device / Metrology No. 1, 2009, pp. 22-28. (In Russian)
4. Mamontov A.V., Nefedov V.N., Nazarov I.V., Potapova T.A. Microwave technology / State Research Institute PMT MIEM(TU), 2008, 326 p. (In Russian)
5. Kholopov D.V., Potapov T.A., Nefedov V.N. Modeling of microwave processing of dielectric materials using various types of transducers / Proceedings of international scientific-technical conference "Actual problems of electronic instrument making", Saratov – 2012, Publishing house of Saratov state technical University, 2012, pp. 147-153. (In Russian)