

Международная академия наук высшей школы  
Академия наук высшей школы Российской Федерации  
Сибирская академия наук высшей школы  
Бурятский, Красноярский, Кузбасский, Новосибирский,  
Омский, Томский научные центры САН ВШ  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

# **Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-26-2020)**

26-я международная  
научно-практическая конференция

24 ноября 2020 г.  
г. Томск, Россия

**ДОКЛАДЫ**  
(Материалы конференции)

Томск  
Издательство ТУСУРа  
2020

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

П77

**Организационный комитет:**

А.А. Шелупанов – президент ТУСУРа (председатель),

Т.Р. Газизов – профессор ТУСУРа (зам. председателя),

Ю.А. Шурьгин, А.М. Кориков, Г.П. Литвинцева,

М.Ю. Катаев, Ю.С. Саркисов

Отв. редактор – Е.В. Прокопчук

**Природные** и интеллектуальные ресурсы Сибири  
П77 (СИБРЕСУРС-26-2020) : доклады (материалы конференции)  
26-й международной научно-практической конференции,  
Томск, 24 ноября 2020 г. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та  
систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 144 с.

ISBN 978-5-86889-

Представлены материалы, отражающие результаты научной деятельности вузов Сибирского региона по эффективному использованию и развитию территориальных ресурсов в интересах экономики России.

Для ученых, специалистов, преподавателей, инженеров, аспирантов и студентов вузов и научных учреждений как в России, так и за рубежом.

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

ISBN 978-5-86889-

© Сибирская академия наук  
высшей школы, 2020

# **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## Секция 2

# ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

---

УДК 621.396.67

М. А. ИНОЗЕМЦЕВ, аспирант каф. ТУ, ТУСУР, Томск

### **ОБЗОР МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ ГЕОРАДАРОВ**

Представлен обзор методов улучшения электромагнитной совместимости (ЭМС) антенных устройств низкочастотных георадаров. Описаны основные факторы, влияющие на ЭМС антенных устройств, и способы улучшения характеристик антенн, направленные на повышение их помехозащищенности и снижения уровня излучения в верхнее полупространство.

Радар подповерхностного зондирования (георадар) – радиотехнический прибор, предназначенный для исследования подповерхностных слоев путем излучения в зондируемое пространство коротких видеоимпульсов и последующей регистрации сигналов, отраженных от границ раздела сред с различными электрофизическими характеристиками. Особенностью георадаров является использование сверхширокополосных сигналов длительностью в единицы – десятки наносекунд. Спектр такого сигнала занимает значительную полосу, в связи с чем в качестве приемных и передающих антенн традиционные узкополосные резонансные антенны не используются. В георадиолокации наиболее широкое применение нашли вибраторные, рупорные и щелевые антенны. Для исследования на глубинах в единицы – десятки метров от поверхности используют низкочастотные радары с центральной частотой спектра зондирующего сигнала, составляющей десятки – сотни мегагерц. Для излучения таких сигналов требуются антенны, обладающие значительными габаритами.

Формирование зондирующего сигнала происходит путем ударного возбуждения антенны перепадом напряжения длительностью единицы – десятки наносекунд. При возбуждении антенны таким импульсом в ней возникают собственные затухающие колебания – «звон» антенны. Эти колебания могут накладываться на полезные отраженные сигналы и существенно затруднять обработку радарограмм. Для уменьшения «звона» используются резистивные нагрузки, повышающие затухание собственных колебаний в антенне. К ним относятся резистивно-нагруженные вибраторные антенны, в которых сопротивление распределено по определенному закону вдоль плеч вибратора [1].

Использование резистивно-нагруженных вибраторных антенн связано с определенными трудностями, к которым, кроме их значительных размеров, можно отнести высокий уровень излучения в верхнее полупространство и малую помехозащищенность. Сигнал, отраженный от различных предметов, расположенных в верхнем полупространстве, не неся полезной информации, поступает на приемную антенну совместно с полезным сигналом, тем самым затрудняя обработку измерений. Проблема помехозащищенности становится еще более актуальной, если работы проводятся в условиях сложной электромагнитной обстановки, например на промышленном объекте с большим количеством разнообразного электрооборудования, являющегося источником помех различной интенсивности. Также следует отметить, что зондирующий импульс радара, излучаемый в верхнее полупространство, может привести к нарушению нормальной работы другого оборудования, особенно в тех случаях, когда изучающая антенна оказывается близко расположенной к нему. Еще одним фактором является прохождение прямого сигнала передающей антенны к приемной. Обладая значительной мощностью, он может препятствовать приему полезных сигналов, поэтому принимаются различные меры по снижению воздействия сигнала прямого прохождения на приемную антенну.

Таким образом, в отдельную задачу можно выделить обеспечение ЭМС антенных устройств георадара. Наиболее простым способом решения этой задачи является экранирование. Однако антенны низкочастотных радаров имеют значительные габариты

и в результате экранирования они получают неконструктивных размеров, что существенно ограничивает возможности экранирования. Отмечается [2], что для высокочастотных радаров из-за небольших габаритов антенн эта задача вполне успешно решена. Поэтому рядом исследователей предложены другие способы обеспечения помехозащищенности антенн.

Предложена конструкция антенны щелевого типа, излучающий элемент которой помещен в экранированный короб из проводящего материала, а внутренний объем короба заполнен резистивным материалом [1]. Автор отмечает, что конструкция антенны такого типа обеспечивает высокую помехозащищенность, узкую диаграмму направленности.

Одно из возможных решений приведено в [2]. Антенна для работы в диапазоне частот 30 – 150 МГц конструктивно представляет собой цилиндрический параболаид из проводящего материала, в фокусе которого размещен резистивно-нагруженный диполь. Параболаид заполнен материалом с высокой диэлектрической проницаемостью. Сообщается, что антенна обладает помехозащищенностью, достаточно узкой диаграммой направленности, а также избирательностью к поляризации излучения за счет применения анизотропного материала.

В [3] описывается конструкция антенны, состоящая из симметричных вибраторов, пирамидально-рупорного рефлектора, которые размещены в металлическом корпусе. Отмечается, что в сравнении с некоторыми другими типами антенн достигнута большая широкополосность и улучшено согласование с исследуемой средой. Кроме того, наличие рефлектора и поглощающего материала внутри корпуса антенны приводит к уменьшению уровня задних и боковых лепестков диаграммы направленности, что положительно сказывается на помехозащищенности радара.

В [4] предлагается конструкция резистивно-нагруженного диполя, особенностью которой является применение резистивной пасты для формирования резистивного слоя. Авторы утверждают, что подобная технология позволяет значительно сократить «звон» антенны по сравнению с традиционной конструкцией с использованием дискретных резисторов.

На основании сделанного обзора можно сделать вывод, что, несмотря на имеющиеся способы улучшения характеристик

антенных устройств георадара, в том числе по обеспечению ЭМС, универсального решения не существует. Для каждого типа антенн в зависимости от требований к габаритам, частотному диапазону и условиям эксплуатации необходимо использовать свои способы обеспечения электромагнитной совместимости, что делает эту задачу актуальной и в настоящее время.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Пат. 2206942 Российская Федерация, МПК H01Q 1/04. Антенное устройство для георадара / Изюмов С. В. : заявитель ООО «Геоспецфизика». №2001114074/09 : заявл. 25.05.01 : опубл. 20.06.03 13 с. Текст : непосредственный.

2. Пат. 2117368 Российская Федерация, МПК H01Q 19/13 (1995.01). Антенна для георадара / О Ен Ден, Резников А. Е. : заявитель О Ен Ден, Резников А. Е. № 97102961/09 : заявл. 27.02.97 : опубл. 10.08.98 8 с. Текст : непосредственный.

3. Пат. 2258281 Российская Федерация, МПК H01Q 1/04. Антенная система подповерхностного радиолокатора / Лукьянов С. П., Семенов А. В. № 2004102974/09 : заявл. 02.02.2004 опубл. : 10.08.2005, Бюл. № 22. 7 с. Текст : непосредственный.

4. Улучшение избирательности антенн георадаров / Ю. А. Брусенцов, И. С. Филатов, М. Ю. Серегин, В. Г. Однолько, И. Г. Проценко // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2009. № 6. С. 111–114.

М. А. Inozemtsev

#### **Review of methods for ensuring electromagnetic compatibility of GPR antennas**

A review of methods for improving electromagnetic compatibility (EMC) of antenna devices of low-frequency ground penetrating radar is carried out. The main factors influencing the EMC of GPR antennas and methods of improving the characteristics of antennas aimed at increasing their noise immunity and reducing the radiation level into the upper half-space are described.

ma87@sibmail.com

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Бакайтис В. И.</i> ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ .....	5
<i>Московченко А. Д.</i> АТОМНАЯ И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АВТОТРОФНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МИРЕ .....	10
<i>Трубченинова И. А.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ .....	17

### СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

#### Секция 1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

<i>Алланина Л. М.</i> АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ ПРАВА .....	23
<i>Жабина Н. А., Михалеико Б. А., Чихирева В. В.</i> ОСОБЕННОСТИ МЕЖПОПУЛЯЦИОННЫХ РИЗОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ «РАСТЕНИЯ – ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ – МИКРООРГАНИЗМЫ» .....	26
<i>Картопольцев В. М., Сипкин В. В., Картопольцев А. В.</i> СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ – ЗАЛОГ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	30
<i>Катаев М. Ю., Bulysheva L. A., ЛОСЕВА Н. В., LI DA XU</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛНЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ .....	35
<i>Катаев М. Ю., Bulyshev A. E.</i> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ .....	44
<i>Колева Г. Ю.</i> ВЫЖИВАНИЕ КАК ПОИСК ТВОРЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ .....	52
<i>Марков Н. Г., Маслов К. А., Токарева О. С.</i> СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ КРОН ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ НА СНИМКАХ С БПЛА .....	56

<i>Мицель А. А., Алимханова А. Н.</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	61
<i>Саркисов Ю. С., Горленко Н. П.</i> ХИМИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ .....	65
<i>Селезнева Е. В., Геращенко А. А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АГРАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	69
<i>Солдаткин В. С., Михальченко Т. С., Шардина А. О., Юлдашова Л.Ш.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ДИОДОВ .....	73
<i>Солдаткин В. С., Шнайдер Е. В., Стасенко Ю. И.</i> СВЕТОСИГНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕЧНОГО И МОРСКОГО ФЛОТА РФ С ФУНКЦИЕЙ РЕТРАНСЛЯЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ .....	77
<i>Орлова В. В., Лобода Ю. О., Кочетков О. В., Глухарева С. В., Ноздреватых Д. О., Рекундаль О. И., Пикалова Л. Р.</i> МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВУЗА С ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ .....	81
<b>Секция 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ</b>	
<i>Иноземцев М. А.</i> ОБЗОР МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ ГЕОРАДАРОВ .....	87
<i>Варзин Е. С., Суровцев Р. С., Носов А. В.</i> УМЕНЬШЕНИЕ ГАБАРИТОВ ЗАЩИТНОЙ МЕАНДРОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ .....	91
<i>Власова Н. О., Белоусов А. О.</i> ПОЛНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРАХ С КРУГОВОЙ СИММЕТРИЕЙ .....	97
<i>Квасников А. А., Куксенко С. П.</i> ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СЛАУ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ .....	103
<i>Клюкин Д. В., Куксенко С. П.</i> ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	107

<i>Максимов А. Е., Куксенко С. П.</i> АДАПТИВНЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ .....	112
<i>Ромашов И. П., Медведев А. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРЯДКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ ТИПОВОЙ СТРУКТУРЫ С ТРЕХКРАТНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ .....	117
<i>Сагиева И. Е.</i> МИКРОПОЛОСКОВАЯ ЛИНИЯ С ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПРОВОДНИКОМ СВЕРХУ, ЗАЩИЩАЮЩАЯ ОТ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ .....	123
<i>Самойличенко М. А.</i> ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ПРОВОДНИКОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ВЫРЕЗЕ ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ ...	127
<i>Хасан А. Алхадж, Газизов Т. Р.</i> ВЛИЯНИЕ СЕГМЕНТАЦИИ И СОГЛАСОВАНИЯ НА ТОК В СВЯЗАННЫХ ПРОВОДАХ .....	134

Научное издание  
ПРИРОДНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ  
(СИБРЕСУРС-26-2020)

26-я международная научно-практическая конференция  
24 ноября 2020 г., г. Томск, Россия

ДОКЛАДЫ

Подписано в печать 00.12.2020. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 8,14. Тираж 80 экз. Заказ 000.

---

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники.  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.  
Тел. (3822) 533018.