

УДК 621.396

АНТЕННЫ И ТЕХНИКА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ В БГУИР

О.А. ЮРЦЕВ, Н.М. НАУМОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 20 января 2014*

Кратко изложены результаты исследований и разработок в области антенн и техники СВЧ, полученные в БГУИР.

Ключевые слова: антенны, техника СВЧ.

Введение

Исследование и разработка устройств СВЧ и антенн – направление в научной и опытно-конструкторской деятельности, которое развивается в МРТИ–БГУИР с момента его создания. В исследованиях по различным аспектам теории и техники антенн и устройств СВЧ приняли участие 5 докторов наук, 18 кандидатов наук, инженеры, студенты, магистранты, аспиранты, сотрудники других организаций при совместном решении различных задач: Аль-Рифаи А., Бахрах Л.Д. (член-корр. РАН), Баты С.П., Березинский Е.Е., Бобков Ю.Ю., Григорьева М.И., Дгали М.М., Демидчик В.И., Докуков И.А., Казарин А.Н., Казарин Б.А., Калашников Н.В., Кизименко В.В., Ковалев И.С. (член-корр. НАН РБ), Дягилев В.Н., Корников М.В., Кравченко И.Т., Лепехин А.В., Литвинко П.А., Лихаческий Д.В., Малевич И.Ю., Мордачев В.И., Москалёв Д.В., Муравьев В.В. (член-корр. НАН РБ), Наумович Н.М., Нешков А.В., Павлов П.Н., Пригода Б.А., Пташинский Г.В., Рунов А.В., Тебекин В.В., Тимошенко В.И., Чекан С.А., Улановский А.В., Юбко А.Ю., Юрцев О.А.

Сложилось несколько направлений исследования и разработок в области теории и техники антенн и устройств СВЧ. Основные из них: полосковые линии передачи, устройства СВЧ и антенны, проволочные антенны, зеркальные антенны; антенные решетки. Далее кратко реферированы работы, связанные непосредственно с анализом и разработкой антенн.

Проволочные антенны

На протяжении нескольких десятков лет исследовались проволочные антенны, разрабатывались методы расчета и новые конструкции. Работа велась в интересах ряда предприятий Москвы и Минска. Основное внимание было уделено спиральным антеннам различного типа, аналогичным по свойствам другим широкополосным и сверхширокополосным антеннам бегущей волны, рамочным и вибраторным антеннам и решеткам таких антенн.

В 60–70-е гг. была разработана теория цилиндрических многозаходных спиральных антенн [1, 2] (рис. 1). В частности, было показано, что коэффициент перекрытия по частоте $Kf = f_{\max} / f_{\min}$ возрастает с увеличением числа заходов M : $Kf \approx M + 1$. Для каждого значения M существует оптимальный угол намотки α (угол между касательной к проводнику спирали и плоскостью $Z = \text{const}$): $\alpha = \arctan\left(\frac{M}{M+2}\right)$. В частности, для двухзаходной спирали $\alpha \approx 30^\circ$.

Интересно, что молекула ДНК представляет собой двухзаходную цилиндрическую спираль с

углом намотки 30° . С точки зрения электродинамики, геометрия спирали ДНК оптимальна для инфракрасного диапазона частот. Хочется надеяться, что это совпадение неслучайно.

В монографии [2] приведены результаты исследования и других спиральных антенн: цилиндрических с переменным шагом, спирально-диэлектрических, импедансных спиральных антенн, конических и плоских спиральных антенн – рис. 2.

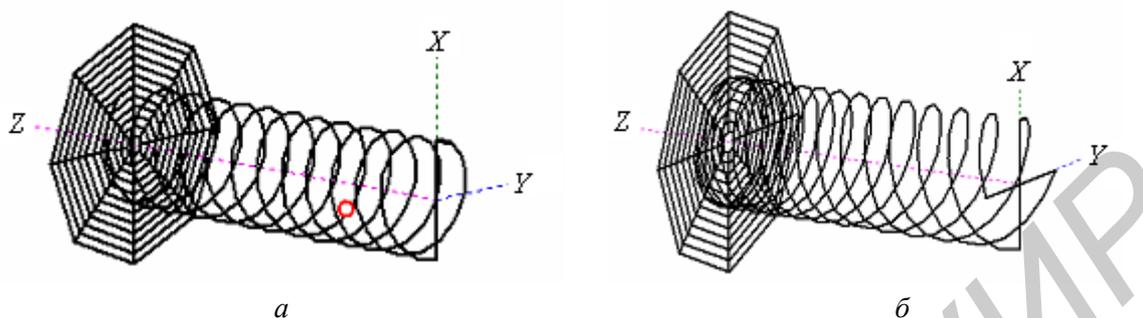


Рис. 1. Спиральные антенны: двухзаходная с постоянным шагом (а); четырехзаходная с переменным шагом (б)

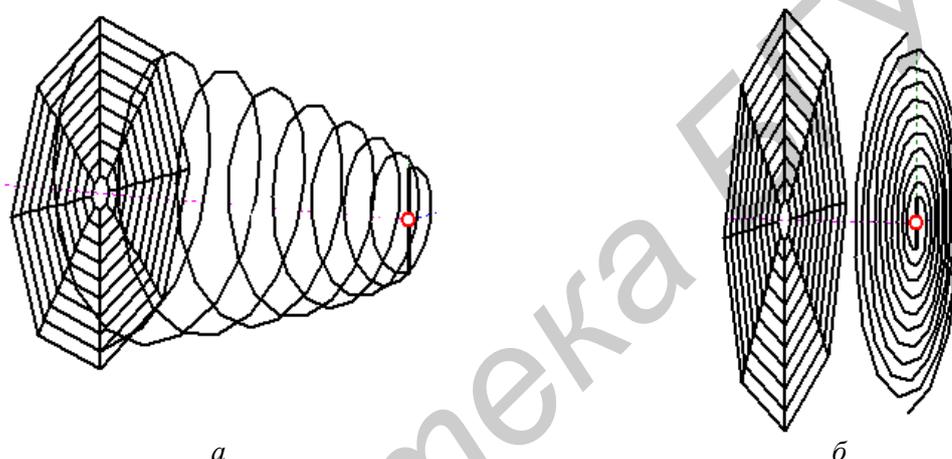


Рис. 2. Коническая (а) и плоская (б) спиральные антенны

Материалы монографии [2], различные варианты исследованных спиральных антенн и других антенн бегущей волны были использованы в Московских организациях (НПО им. Лавочкина С.А., Московском научно-исследовательском институте приборостроения НИИ-17, НИИ космического приборостроения, Центральном аэрогидродинамическом институте имени профессора Н. Е. Жуковского – ЦАГИ, ОКБ им. Микояна и Гуревича, ГСКБ Концерна ПВО «Алмаз-Антей» имени академика А.А. Расплетина, НИИ дальней радиосвязи) при разработке антенн для различных космических аппаратов. Ряд конструкций запатентован [3–8].

В конце 90-х гг. в связи с развалом СССР творческие связи с НИИ и предприятиями России были практически потеряны. Кафедра А и УСВЧ совместно с кафедрой РТУ начала сотрудничать с предприятиями Республики Беларусь. В эти годы был разработан ряд всеволновых активных телевизионных антенн для индивидуального использования. Все антенны представляли собой комбинацию рамочной и вибраторной антенн [9]. Четыре варианта антенн выпускались серийно на предприятиях г. Минска (НПО «Горизонт» и завод «Калибр») и г. Борисова (Завод агрегатов и АОЗТ «Альтернатива»). Рамочно-вибраторные телевизионные антенны обеспечивали прием телевизионных сигналов в диапазоне 50–770 МГц. В конце 90-х гг. была разработана всеволновая активная телевизионная антенна для применения на автомобилях. Антенна выпущена малой серией по специальному заказу.

Один из вариантов рамочно-вибраторной антенны был использован для создания плоской антенной решетки по проекту «Поле». Решетка обеспечивала прием телевизионных сигналов подсвета в диапазоне частот 200–600 МГц [10].

В 90-х гг. на кафедре АиУСВЧ были созданы программы для численного моделирования основных типов проволочных антенн с использованием метода интегральных

уравнений в тонкопроволочном приближении. Эти работы явились продолжением работ, начатых в 70-х гг. в МВИЗРУ Руновым А.В. (Минск) [11–13].

Созданное программное обеспечение использовано после 2000-го г. при проектировании активной антенной решетки для мобильной твердотельной цифровой двухкоординатной радиолокационной станции метрового диапазона «Восток-Э» (ООО «КБ Радар» – управляющая компания холдинга «Системы радиолокации», г. Минск). РЛС «Восток-Э» предназначена для обнаружения воздушных объектов, измерения их дальности, азимута и радиальной скорости, автоматического сопровождения трасс целей, автоматического распознавания класса целей, а также передачи радиолокационной информации в интегрированную систему управления. РЛС «Восток-Э» принята на вооружение в РБ. В активной антенной решетке РЛС «Восток-Э» в качестве излучающих элементов использованы рамочные антенны.

В 2005–2009 гг. выполнены исследования характеристик рассеяния вибраторных и рамочных антенн и антенных решеток таких антенн [14–16]. Эти работы также явились продолжением работ, начатых в МВИЗРУ Руновым А.В.

В те же годы исследованы антенны, являющиеся комбинацией биконусных и директорных антенн и кольцевых антенных решеток директорных антенн [17]. Выполнены исследования влияния взаимодействия вибраторных и рамочных антенн, расположенных в ближней зоне по отношению друг друга [18–20].

В интересах «КБ Радар» исследованы различные варианты линейных антенных решеток вибраторных и рамочных антенн с последовательной системой питания. Все варианты являются модификацией антенны Франклина и двухрамочной антенны [21]. На рис. 3 показана антенна Франклина (а) и варианты ее модификации (б, в, г). На рис. 3, а обозначено: А – полуволновые вибраторы, В – короткозамкнутые шлейфы, С – двухпроводная линия питания. На рис. 3 в, г черной точкой показано место возбуждения (подключения кабеля питания). По сравнению с антенной Франклина (рис. 3, а) в вариантах рис. 3, в, г расширена полоса частот по согласованию за счет перемещения точки подключения кабеля питания с центра вибратора на конец короткозамкнутого шлейфа. От выбора номера шлейфа для возбуждения зависит направление максимума диаграммы направленности (ДН) в электрической плоскости (в плоскости $\phi = \text{const}$). В варианте рис. 3, б улучшена равномерность диаграммы направленности в магнитной плоскости (в плоскости XU); в варианте 3, г ДН в магнитной плоскости сделана секторной. Ширина главного лепестка ДН в электрической плоскости зависит от числа вибраторов в антенне.

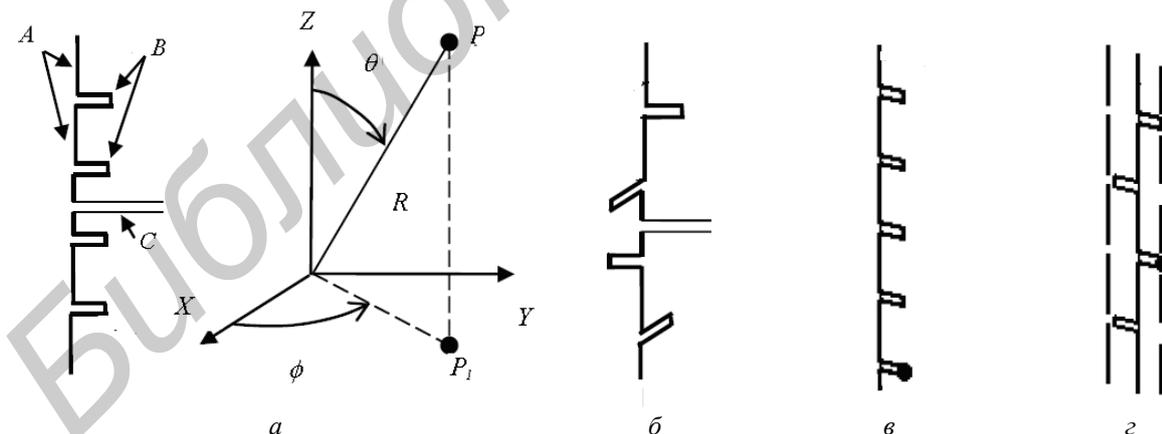


Рис.3. Модификации антенны Франклина

В антеннах, показанных на рис. 3, нетрудно сделать ДН изотропной в горизонтальной плоскости, так как элементарный излучатель такой антенны (диполь Герца) имеет в магнитной плоскости изотропную ДН. Сложнее сделать ДН изотропной (или близкой к изотропной) в электрической плоскости. Одним из известных способов решения этой задачи по отношению к полуволновому вибратору является излом вибратора относительно центральной точки. Этот способ использован применительно к рамочной антенне. На рис. 4 показана известная рамочная антенна (а) и две ее модификации (б, в) с квазиизотропной ДН. Рамки в углах,

противоположных точкам возбуждения, могут быть замкнутыми (рис. 4, а, б) или разомкнутыми (рис. 4, в).

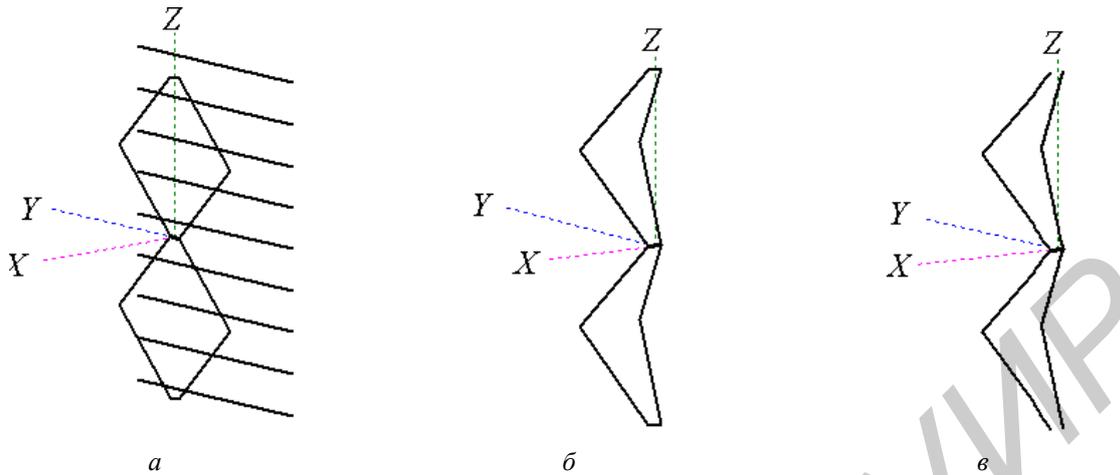


Рис. 4. Рамочные антенны

Разомкнутые рамки удобны для создания линейной антенной решетки с последовательным питанием. На рис. 5 показаны два варианта таких решеток из четырех рамок и их ДН в электрической плоскости.

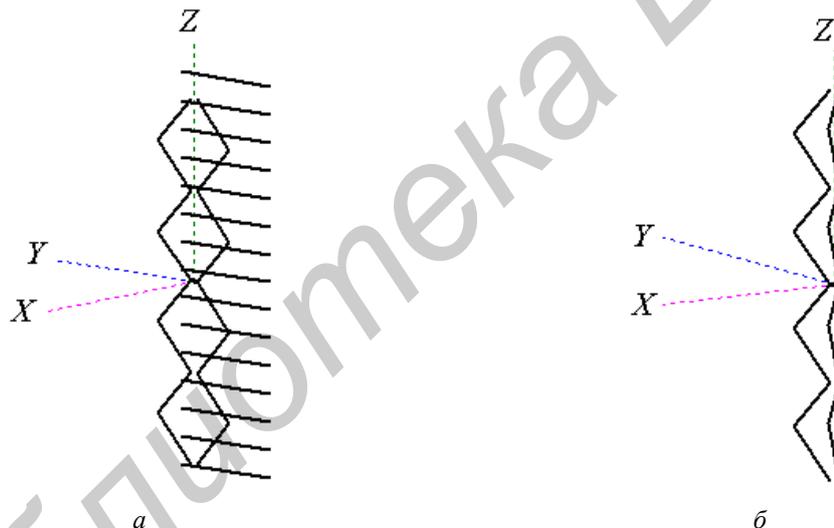


Рис. 5. Линейные решетки рамочных антенн

С ростом числа рамок в антенне главный лепесток в магнитной плоскости сужается, коэффициент усиления возрастает, но полоса частот по критерию согласования сужается.

С помощью разработанного программного обеспечения выполнены исследования свойств поля различных вариантов вибраторных и рамочных антенн в ближней зоне и по взаимному влиянию таких антенн, расположенных в составе группы в ближней зоне по отношению друг друга. Исследовано влияние подстилающей поверхности на характеристики вибраторных и рамочных антенн. Результаты этих исследований опубликованы в ряде работ и использованы при решении задач электромагнитной совместимости.

Микрополосковые антенны

Продолжение работ по микрополосковым устройствам СВЧ, начатых Ковалевым И.С., последовало после 2000 г. в связи с задачами создания микрополосковой многогранной активной цифровой антенной решетки для обзорного радиолокатора «Роса-РБ». Этот радиолокатор разработан в ООО «КБ РАДАР» – управляющей компании холдинга «Системы

радиолокации» и в настоящее время принят на вооружение в Республике Беларусь. В ходе работы над этой антенной решеткой разработан ряд новых конструкций микрополосковых излучателей, их математические модели на основе метода интегральных уравнений в тонкопроволочном приближении [22–24].

Создано программное обеспечение для моделирования микрополосковых антенных решеток с различной по форме излучающей поверхностью. Программное обеспечение имеет преимущества по сравнению с известными комплексами электродинамического моделирования по ряду показателей: по времени решения задач, требуемому объему оперативной памяти компьютера, по возможности учета случайных ошибок различного типа, по форме излучающей поверхности. На рис. 6 показаны зависимости активной и реактивной частей входного сопротивления полоскового вибратора от частоты, рассчитанные в известных программах электродинамического моделирования CST и MWO и в оригинальной программе FAR_MPA_Vib (MIE) [24], в которой используется метод интегральных уравнений. На рис. 7 приведено сравнение компьютерных ресурсов, необходимых для моделирования антенной решетки из N полосковых вибраторов в коммерческой программе FEKO и в программе MIE.

Предложен и исследован ряд новых конструкций микрополосковых излучателей и микрополосковых антенных решеток.

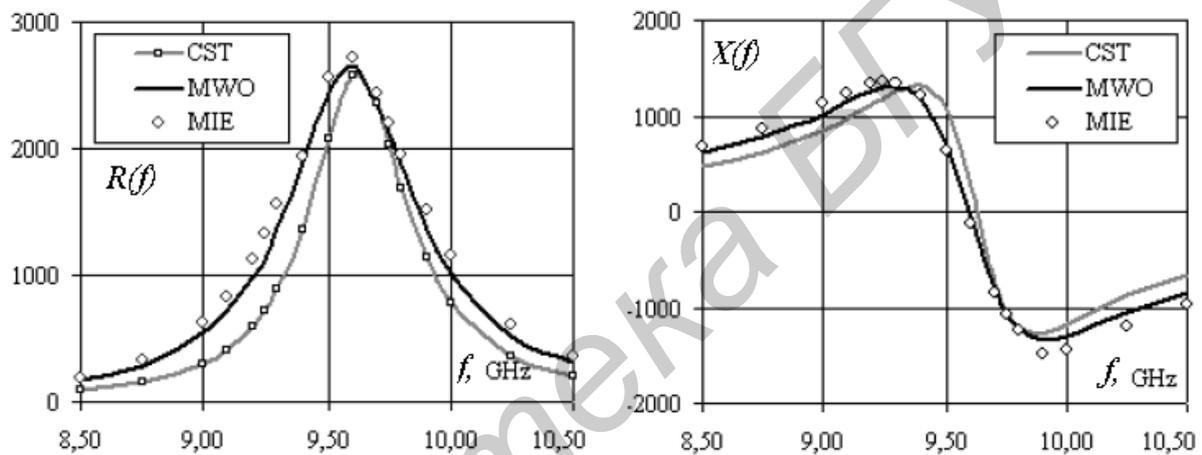


Рис. 6. Результаты моделирования полоскового вибратора в трех программах

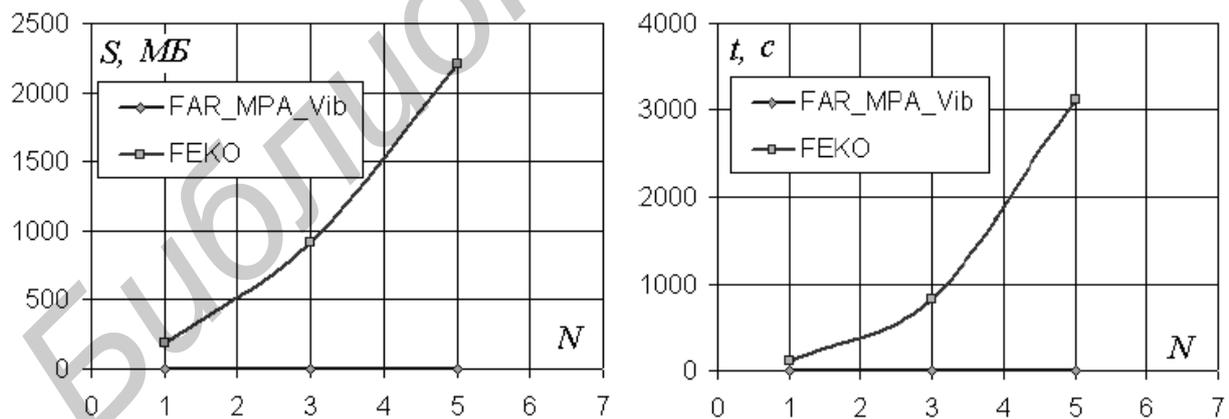


Рис. 7. Сравнение компьютерных ресурсов для двух программ

В обзорных радиолокаторах диаграмма направленности должна иметь форму типа «Косеканс», описываемую функцией $\cos^2\theta$, где θ – угол между горизонтом и направлением на точку наблюдения. Такая ДН реализуется в линейной антенной решетке путем возбуждения излучателей со сложным амплитудно-фазовым распределением (АФР), которое практически невозможно реализовать в микрополосковой антенной решетке с последовательной системой распределения мощности. Для такой решетки разработан способ реализации упрощенного АФР, обеспечивающей формирование ДН, близкой к косекансной.

Зеркальные антенны

Первые работы в БГУИР по зеркальным антеннам были связаны с разработкой в НИЛ 1.6 двухзеркальных антенн миллиметрового диапазона волн. Для таких антенн были разработаны оптимальные по максимуму коэффициента эффективности гибридно-модовые облучатели [25] – рис. 8.

Следующий этап работ в области зеркальных антенн был связан со всплеском интереса к спутниковому телевидению в СНГ и в Европе в начале 90-х гг. В связи с этим в БГУИР были разработаны зеркальные антенны с оптимизированными облучателями для короткофокусных и длиннофокусных однозеркальных антенн. Такая оптимизация позволила получить лучшие характеристики по сравнению с имеющимися на рынке антеннами и обеспечить крупный зарубежный заказ однозеркальных антенн с диаметром рефлектора 900, 1500 и 1800 мм. Для его выполнения было организовано крупносерийное производство однозеркальных антенн с указанными диаметрами рефлектора с поставкой их за границу – рис. 8. Для НИИ ВМФ (Санкт-Петербург) разработан диэлектрический облучатель для спутниковой двухзеркальной антенны.



Рис. 8. Зеркальная спутниковая антенна



Рис. 9. Двухзеркальная антенна Кассегрена и двухзеркальная антенна с изотропной ДН в электрической плоскости

Следующий этап исследований и разработок в области зеркальных антенн был связан с зарубежными контрактами в НИЧ БГУИР. С использованием метода физической оптики и геометрической теории дифракции была разработана программа для численного моделирования различных типов зеркальных антенн (Ref_ZZ): однозеркальных с круглым и эллиптическим раскрытием, прямофокусных и с вынесенным фокусом, однозеркальных и двухзеркальных, моноимпульсных. Программа позволяет рассчитывать все характеристики и параметры антенны в режимах передачи, приема и рассеяния, распределение поля в ближней зоне, осуществлять фокусировку антенны в ближнюю зону, рассчитывать коэффициент взаимосвязи между двумя различными зеркальными антеннами, произвольно расположенными в ближней зоне по отношению друг к другу.

Расчет поля в ближней зоне возможен, начиная с так называемой зоны индукции. Ближняя граница этой зоны расположена от антенны на расстоянии, меньшем, чем ближняя граница зоны Френеля. Возможен расчет распределения амплитуды и фазы поля непосредственно в плоскости раскрытия зеркальной антенны.

Разработанная программа имеет преимущества перед коммерческими программами электродинамического моделирования CST, HFSS, FEKO по требуемым для работы компьютерным ресурсам. Для иллюстрации этого на рис. 10 показана зависимость отношения времени счета в программе FEKO (T_f) и в программе Ref_ZZ (T_{ref}) и требуемого объема памяти компьютера в зависимости от отношения диаметра рефлектора (D_p) и длины волны λ . С помощью программы Ref_ZZ выполнены многочисленные исследования закономерностей, недостаточно описанных или не описанных в литературе: распределение поля в ближней зоне зеркальной антенны в режимах передачи и приема при фокусировке антенны в дальнюю и ближнюю зоны; развязка между каналами в многолучевой зеркальной антенне; влияние ошибок выполнения профиля рефлектора на характеристики зеркальной антенны; особенности сканирования в прямофокусных зеркальных антеннах и в зеркальных антеннах с вынесенным

фокусом; закономерности сканирования в двухзеркальной антенне с плоским контррефлектором: особенности в параметрах четырехрупорного и четырехмодового облучателей моноимпульсной зеркальной антенны и др. Результаты изложены в работах [25–30].

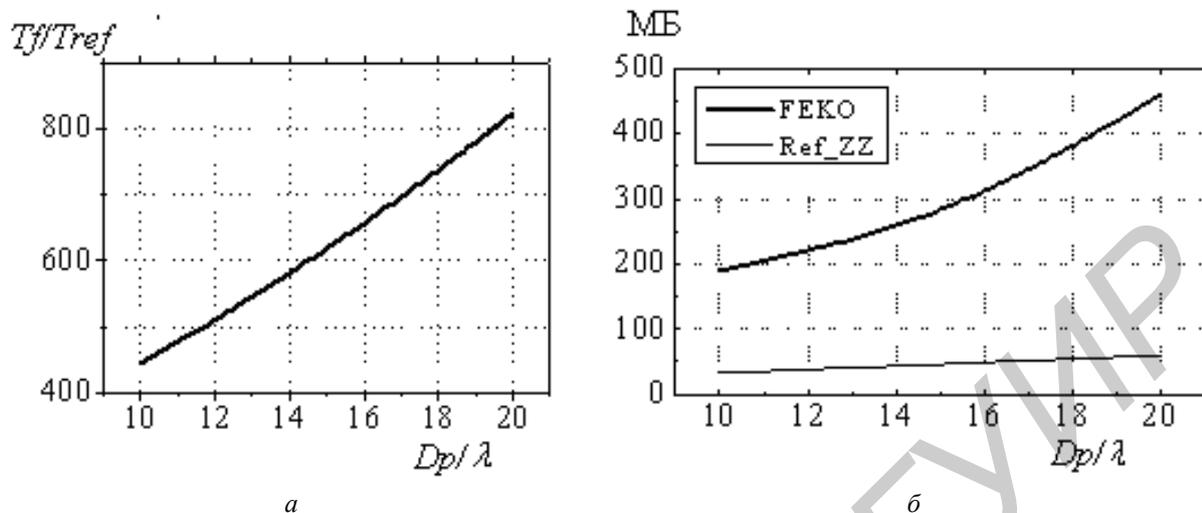


Рис. 10. Зависимости от волнового диаметра рефлектора (D_p/λ): а – отношения времени счета в двух программах; б – объема оперативной памяти компьютера в двух программах

Разработан ряд конструкций зеркальных антенн миллиметрового диапазона волн: ненаправленная в горизонтальной плоскости (рис. 9), моноимпульсная двухзеркальная типа Кассегрена с многомодовым облучателем (рис. 11), двухзеркальная антенна с плоским контррефлектором для сканирования в секторе углов $\pm 60^\circ$ (рис. 12) – НИЛ 1.6, однозеркальная моноимпульсная с четырехрупорным облучателем, двухчастотная антенна для спутниковой связи – НИЛ 1.9. На рис. 12 показана двухзеркальная антенна вместе с вертолетным радиолокатором 3-х миллиметрового диапазона, для которого антенна разработана.



Рис. 11. Моноимпульсная двухзеркальная антенна Кассегрена с многомодовым облучателем



Рис. 12. Двухзеркальная сканирующая антенна с плоским контррефлектором

Антенные решетки

Работа в области антенных решеток началась в начале 2000 г. в связи с разработкой активной антенной решетки для РЛС «Восток-Э». Далее эти работы продолжались в соответствии с программами: «Траектория» – программой Союзного государства, госбюджетной программой «Разработка методов проектирования фазированных антенных решеток с изготовлением макета фрагмента антенной решетки». В настоящее время продолжают развиваться в ходе выполнения программы Союзного государства «Мониторинг-СГ» и задачами, возникшими в связи с проектированием РЛС «Роса».

В ходе выполнения этих программ разработан ряд излучателей различного типа (вибраторных, рамочных, микрополосковых) и разработана программа численного

моделирования антенных решеток обобщенной схемы построения FAR_Modul. Программа позволяет:

- анализировать плоские антенные решетки с прямоугольной, эллиптической, шести- и восьмиугольной формой раскрыва; многогранные, цилиндрические и конические антенные решетки, линейные и кольцевые антенные решетки, щелевые антенные решетки;
- учитывать влияние случайных ошибок возбуждения излучателей по амплитуде, фазе и положению в пространстве на характеристики решеток;
- учитывать дефектные излучатели и фрагменты решеток с различной формой раскрыва и формой излучающей поверхности;
- рассчитывать поле в любой зоне пространства и осуществлять фокусировку антенны в ближнюю зону.

В качестве излучателей используются открытые концы прямоугольных волноводов, вибраторные, рамочные и микрополосковые излучатели. Взаимодействие излучателей в составе решетки учитывается методом бесконечной антенной решетки и методом интегральных уравнений. Программа FAR_Modul позволяет решать задачи анализа в режиме излучения и в режиме рассеяния и имеет преимущества перед коммерческими программами электродинамического моделирования CST, HFSS, FEKO по требуемым для работы компьютерным ресурсам. С помощью программы FAR_Modul проведены численные исследования многочисленных закономерностей, не описанных или описанных недостаточно в литературе. Основные результаты отражены в публикациях [31–37].

ANTENNAS AND MICROWAVE TECHNIQUE IN BSUIR

O.A. YURTSEV, N.M. NAUMOVICH

Abstract

Investigation and development results in the field of antenna and microwave technique obtained in BSUIR are briefly presented.

Список литературы

1. *Юрцев О.А.* // Антенны. № 16. С. 135–147.
2. *Юрцев О.А., Рунов А.В., Казарин А.Н.* Спиральные антенны. М., 1974.
3. *Юрцев О.А.* Авторские свидетельства СССР на изобретение №№ 325210, 423411, 447112, 696927.
4. *Юрцев О.А., Пригода Б.А., Маркин А.С., Березинский Е.Е.* Авторские свидетельства СССР на изобретения №№ 967232, 1246196, 1340532, 1340533.
5. *Дягилев В.Н., Корников М.В., Юрцев О.А., Пригода Б.В., Маркин А.С., Березинский Е.Е.* Авторское свидетельство СССР на изобретение № 1262611.
6. *Юрцев О.А., Казарин Б.А., Нешков А.В., Пригода Б.А., Маркин А.С., Березинский Е.Е.* Авторское свидетельство СССР на изобретение № 1309852.
7. *Лепехин А.В., Рунов А.В., Докуков И.А., Пригода Б.А., Березинский Е.Е., Юрцев О.А.* Авторское свидетельство СССР на изобретение № 1596415.
8. *Юрцев О.А., Казарин Б.А., Бахрах Л.Д., Григорьева М.И., Шверина-Кашина В.В.* Авторское свидетельство СССР на изобретение № 1374311.
9. *Юрцев О.А., Малевич И.Ю., Бобков Ю.Ю.* Патенты РБ № 5170, 5284.
10. *Юрцев О.А., Улановский А.В., Малевич И.Ю. и др.* // Электромагнитные волны и электронные системы. 2000. Т. 5, Вып. 5. С. 41–50.
11. *Рунов А.В., Пригода Б.А., Кравченко И.Т. и др.* Теория и техника антенн. М., 1987. Часть 1. С. 237–238.
12. *Корников М.В., Рунов А.В., Калашников Н.В. и др.* Теория и техника антенн. Часть 2. М. 1987. С. 144–145.
13. *Корников М.В., Рунов А.В., Юрцев О.А. и др.* // Радиотехника. 1989. № 7. С. 82–83.
14. *Юрцев, О.А. Аль-Рифаи А., Бобков Ю.Ю.* // Докл. БГУИР. 2006. № 3 (15). С. 44–47.
15. *Юрцев, О.А., Аль-Рифаи А.* // Докл. БГУИР. 2007. № 1 (17). С. 18–22.
16. *Аль-Рифаи А., Юрцев О.А.* // Докл. БГУИР. 2007. № 4 (20). С. 13–18.
17. *Юрцев О.А., Лихачевский Д.В., Бобков Ю.Ю.* // Докл. БГУИР. № 3 (15). 2006. С. 72–75.
18. *Чекан С.А.* // Докл. БГУИР. 2010. № 1 (47). С. 19–25.
19. *Чекан С.А.* // Докл. БГУИР. 2010. № 7 (53). С. 17–22.

20. Мордачев В.И., Юрцев О.А., Литвинко П.А. // Вест. БНТУ. 2009. № 6. С. 42–47.
21. Yurtsev O.A., Ptashinsky G.V. Numerical Simulation. From Theory to Industry. Chapter 8. India, 2012. P. 157–190.
22. Юрцев О.А., Кизименко В.В. // Докл. БГУИР. 2010. № 8 (54). С. 54–60.
23. Кизименко В.В., Юрцев О.А. // Докл. БГУИР. 2010. № 6 (52). С. 13–17.
24. Улановский А.В., Кизименко В.В. // Докл. БГУИР. 2012. № 7 (69). С. 92–98.
25. Муравьев В.В., Юрцев О.А., Наумович Н.М. // Докл. БГУИР. 2004. № 2. С. 186–194.
26. Юрцев О.А., Наумович Н.М., Лихачевский Д.В. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т 10, № 2. С. 39–45.
27. Юрцев О.А., Наумович Н.М., Чекан С.А. и др. // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. 2010. Т. 53, № 4. С. 44–50.
28. Oleg A. Yurtsev, Yuri Y. Bobkov. Numerical Simulations – Applications, Examples and Theory. Chapter 9 / Edited by Prof. Lutz Angermann. India, 2011. P. 213–236.
29. Yurtsev O.A., Dhgali M.M. // J. of Computer and Information Technology. 2012. Vol. 2, Iss. 1. P. 100–107.
30. Дзали М.М. // Докл. БГУИР. 2013. № 1 (71), 2013. С. 57–61.
31. Юрцев О.А., Наумович Н.М., Баты С.П. Зеркальные антенны. Численное моделирование и анализ. Германия, 2012.
32. Москалёв Д.В. // Докл. БГУИР. 2011. № 2 (56). С. 16–21.
33. Москалёв Д.В. // Докл. БГУИР. 2011. № 7 (61). С. 68–75.
34. Юрцев О.А., Москалёв Д.В., Кизименко В.В. // Докл. БГУИР. 2011. № 8 (62). С. 45–51.
35. Москалёв Д.В. // Докл. БГУИР. 2012. № 1 (63). С. 47–53.
36. Юрцев О.А., Юбка А.П., Москалёв Д.В., Наумович Н.М. // Докл. БГУИР. 2012. № 2 (64). С. 39–45.
37. Юрцев О.А., Москалёв Д.В. // Наука и военная безопасность. 2012. № 2 (34). С. 32–38.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Юрцев Олег Анатольевич (1933 г.р.), д.т.н., профессор. В 1956 г. окончил МВИРТУ (Минск). В 1962 г. защитил кандидатскую диссертацию в ВИРТА (Харьков), в 1974 г. – докторскую диссертацию в БГУ (Минск). С 1985 г. по настоящее время – профессор кафедры антенн и устройств СВЧ БГУИР. Подготовил 25 кандидатов наук. Соавтор 6 монографий (3 из них опубликованы в издательствах дальнего зарубежья). Опубликовал более 200 научных работ, имеет более 30 авторских свидетельств СССР на изобретения и патентов Республики Беларусь. Область научных интересов – антенны и техника СВЧ и КВЧ



Наумович Николай Михайлович (1952 г.р.), к.т.н. В 1974 г. окончил МРТИ. В 1989 г. защитил кандидатскую диссертацию в МРТИ. До 1981 г. работал в НПО «Интеграл». С 1981 г. по настоящее время – работает в БГУИР. Занимает должность заведующего НИЛ 1.6 «Радиотехнические устройства СВЧ и КВЧ диапазонов». Соавтор 1 монографии (опубликована в издательстве дальнего зарубежья), автор и соавтор более 130 научных работ. Область научных интересов – радиолокационные системы, антенны и устройства СВЧ и КВЧ.