

УДК 621.396.6(045)

Д.І. Терещенко, С.А. Буйновський

Національний авіаційний університет, Київ

АНАЛІЗ ФУНКЦІЙ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕН

Стаття присвячена аналізу функцій спеціалізованих програмних продуктів: FEKO Suite, MMANA-GAL basic, програма HAU. Даний аналіз дозволив порівняти зазначене програмне забезпечення і виявити найбільш вдале з них для наукових, навчальних і комерційних цілей. Об'єктом моделювання, для виконання порівняльного аналізу, було обрано колінеарну антену, котра була розрахована і виготовлена на кафедрі Аеронавігаційних систем для забезпечення прийому ADS-B повідомлень розширеного сквітеру режиму S. Ця стаття буде корисною для студентів, аспірантів та викладачів радіотехнічних вузів, а також, для інженерів, котрі займаються розробкою антенно-фідерних пристроїв.

Ключові слова: FEKO Suite, MMANA-GAL basic, програма HAU, колінеарна антена, діаграма спрямованості, метод моментів.

Вступ

Постановка проблеми. Функціонування будь-яких радіоелектронних та радіотехнічних систем пов'язане з випромінюванням та прийманням електромагнітних хвиль. Зважаючи на те, що випромінювання та приймання електромагнітних хвиль здійснюється саме антенами, можна з певністю стверджувати, що антена є надзвичайно важливим елементом таких систем.

Надзвичайно важливим і основоположним етапом розробки антенних систем є моделювання їх основних характеристик. Параметри антен можна розділити на три групи.

До першої групи належать параметри, що характеризують антену за полем випромінювання, тобто параметри, які визначаються за розподілом електромагнітних хвиль у просторі. Ці параметри створюють групу характеристик випромінювання, до якої входять: характеристика спрямованості та діаграма спрямованості (ДС), поляризаційна характеристика антени, коефіцієнт спрямованої дії тощо.

До другої групи можна віднести параметри, що характеризують антену за інтенсивністю електромагнітних хвиль, які її живлять.

Третя група параметрів характеризує антену як перетворювач одного виду електромагнітних хвиль в інший [1].

Моделювання характеристик саме першої групи представляє собою основний етап в розробці антенних систем. В даній статті авторами наведено порівняльний аналіз спеціалізованого програмного забезпечення саме на основі моделювання характеристик першої групи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обрахунок характеристики спрямованості потребує великої кількості розрахунків і є надто трудомістким. Характеристика спрямованості і ДС антени визначаються напруженістю поля випромінювання в просторі. Для розрахунків напруженості електромагнітного поля і відповідних діаграм спрямованості антен використовують чисельні методи електродинаміки, зокрема метод моментів, в якому металеві елементи антени замінюють еквівалентними поверхневими електричними струмами та створюють еквівалентну сіткову модель об'єкту і розраховують електромагнітне поле, яке створюють ці струми. Поверхню металевих об'єктів, в розрахунках за методом моментів, розбивають на елементарні сегменти, а електричний струм в межах сегменту приймають як розподіл струму на базисні функції з ваговими коефіцієнтами [2].

Точність методу моментів залежить від розміру елементарного сегменту, який, для отримання прийнятної точності, не повинен перевищувати $\lambda/10$, де λ – довжина хвилі у вільному просторі. Кількість

інтегральних рівнянь, котрі потрібно обраховувати використовуючи метод моментів, дорівнює числу елементарних сегментів, яке збільшується при збільшенні розмірів об'єкту або при збільшенні частоти [2]. Тому розрахунок напруженості електромагнітного поля за допомогою методу моментів потребує розв'язання системи інтегральних рівнянь значної розмірності, а отже, виникає необхідність використання ЕОМ.

Мета даної роботи полягає в порівняльному аналізі спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання характеристик антен і виявлення найбільш вдалого програмного комплексу, з представлених в дослідженні, для наукових, навчальних і комерційних цілей.

Об'єкт моделювання

Об'єктом моделювання обрано колінеарну антену системи для прийому ADS-B повідомлень роз-

ширеного сквітеру режиму S, котра була розроблена і виготовлена на кафедрі Аеронавігаційних систем Інституту аеронавігації Національного авіаційного університету і, в даний час, використовується в науковому та навчальному процесі.

Дана колінеарна антена виготовлена з трьох синфазних, довжиною $\lambda/2$, відрізків дроту, між якими встановлено два фазо-зсувні коліна довжиною $\lambda/2$ для забезпечення синфазного збудження вібраторів (рис. 1).

Вхідні дані для моделювання, для всіх програмних комплексів, що розглядаються в статті, були ідентичні.

Робоча частота – 1090 МГц, що відповідає несучій частоті бортових транспондерів режиму S, при передачі сигналів ADS-B. Розташування антени – над поверхнею землі з відносною діелектричною провідністю $\epsilon=9,0$ і питомою провідністю підстильної поверхні $\gamma=0,01$ (Ом*м)⁻¹. Відстань від антени до поверхні – $\lambda/10$.

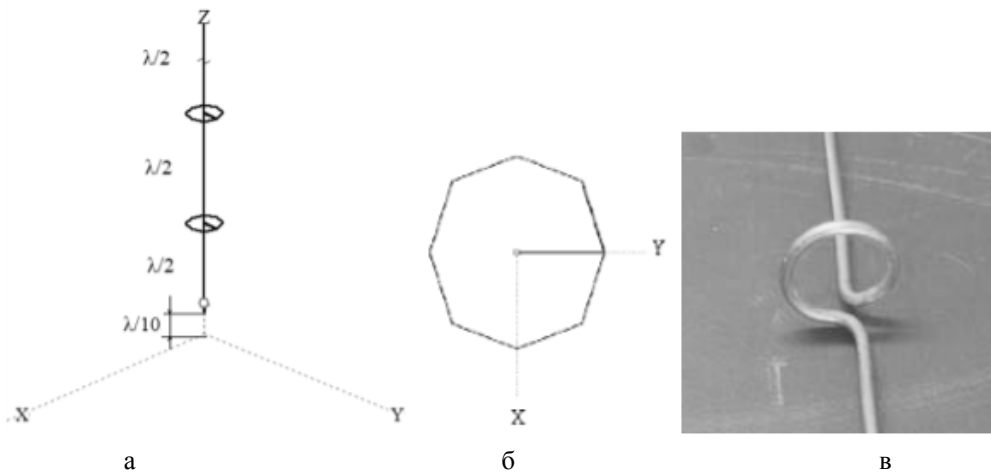


Рис. 1. Об'єкт моделювання – колінеарна антена: а – тривимірна модель антени; б – модель антени в горизонтальній площині; в – фрагмент реально виготовленого зразку антени

Програма НАУ

В даній статті приводяться результати аналізу функцій трьох таких програмних продуктів: FEKO Suite, MMANA-GAL basic, програма НАУ. Всі розглянуті в статті програмні комплекси, для обчислення напруженості електромагнітного поля, використовують метод моментів.

Програма НАУ була розроблена на кафедрі Аеронавігаційних систем Національного авіаційного університету [2].

Вона має зручний інтерфейс користувача (рис. 2) і дозволяє змінювати частоту, товщину штатного вібратора, діелектричну проникність та провідність підстильної поверхні, автоматично розраховує розподіл струму по сітковій моделі металевого об'єкту з урахуванням їх геометричних параметрів та частоти збудження.

В програмі НАУ, також, присутня можливість довільно змінювати координати об'єкту та антени в просторі. Дана програма може обраховувати сіткові моделі, що мають в собі до 4500 елементів.

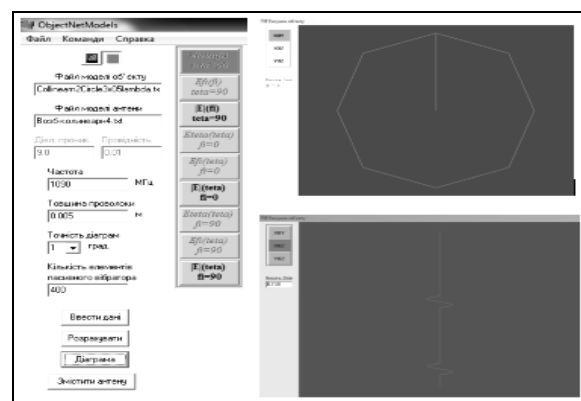


Рис. 2. Інтерфейс Програми НАУ

Програма MMANA-GAL basic

Програма MMANA-GAL basic, так само як і програма HAU, має зручний інтерфейс користувача у стилі Microsoft Windows (рис. 3). Обчислювальною основою MMANA-GAL basic (так само, як і багатьох комерційних програм електромагнітного моделювання (MMANA-GAL basic – freeware, тобто безкоштовна для не комерційного використання)) є програма MININEC Ver.3, котра була створена для задач ВМС США у Вашингтонському дослідному інституті. Крім можливостей присутніх в програмі HAU, MMANA-GAL дозволяє розташовувати джерела електромагнітного поля і навантаження на будь-якому сегменті моделі, тобто моделювати велику кількість антен, котрі можуть розташовуватись в довільних місцях, і, відповідно, розраховувати напруженість електромагнітного поля враховуючи їх взаємовплив. Також в даній програмі реалізовано: можливість зміни матеріалу сегментів, відображення на 3D моделі розподілення токів і напруг на сегментах, обрахунок коефіцієнта стоячої хвилі, коефіцієнту підсилення, вхідного опору тощо. Дуже важливою особливістю MMANA-GAL є побудова тривимірних діаграм спрямованості, що дозволяє найбільш наочно оцінити особливості впливу металевої конструкції на ту чи іншу антену. Також реалізовано механізм оптимізації, тобто моделювання геометричних параметрів антени за заданими необхідними характеристиками. Максимальна кількість сегментів, котра може бути обрахована в MMANA-GAL basic, – 8192, провідів – 512, джерел електромагнітної енергії – 64, навантажень – 100 [3].

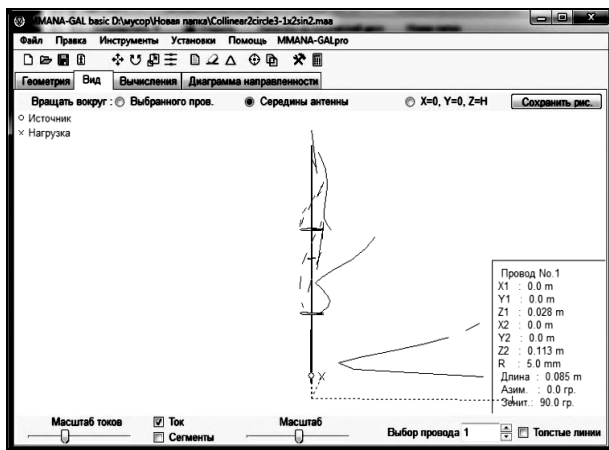


Рис. 3. Інтерфейс програми MMANA-GAL basic

Програмний комплекс FEKO Suite

Програмний комплекс FEKO Suite – комерційна програма для електромагнітного моделювання випромінюваних об'єктів. FEKO має найбільш сучасний стрічковий інтерфейс Ribon (рис. 4) [4]. Даний програмний комплекс має всі

особливості притаманні попередньо описаним програмам, проте, окрім того має й деякі переваги. Однією з основних переваг є те, що FEKO Suite, окрім базового методу моментів, використовує наближені аналітичні методи: метод фізичної оптики і однорідної теорії дифракції. Таке поєднання дозволяє здолати головний недолік програм комп'ютерного моделювання високочастотних структур: великі затрати ресурсів при моделюванні об'єктів з розмірами набагато більшими за довжину хвилі. В результаті з'являється можливість вирішення таких задач, як розсіяння радіохвиль на літаку чи кораблі. Не менш важливою перевагою є і те, що окрім розрахунку напруженості в дальньому полі, даний програмний комплекс виконує, також розрахунок ближнього поля, S – параметрів; має можливість розрахунку напруженості електромагнітного поля приймаючи до уваги як провідні матеріали, так і діелектричні в структурі досліджуваного об'єкту. Також важливою особливістю є те, що в програмному комплексі FEKO Suite не існує обмежень на кількість сегментів і розмір досліджуваного об'єкту. Проте, для моделювання дійсно великих об'єктів, котрі більше 15 – 20 довжин хвилі, доведеться використовувати, або надпотужні сервери, або кластери з декількох об'єднаних в мережу комп'ютерів.

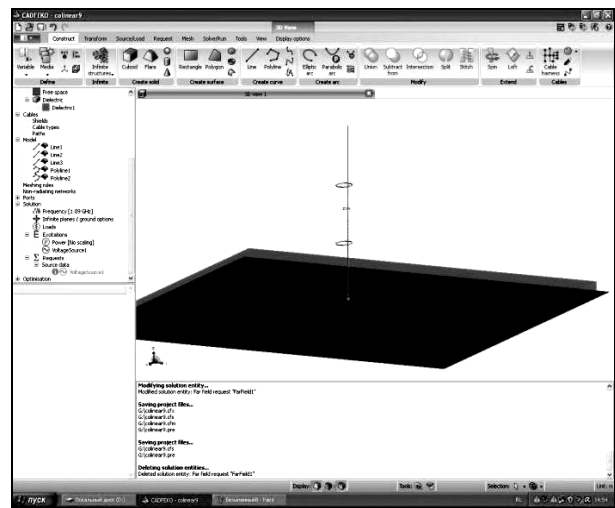


Рис. 4. Інтерфейс програмного комплексу FEKO Suite

Результат моделювання

В результаті проведення моделювання в усіх трьох представлених програмних комплексах, було отримано діаграми направленості в трьох основних площях: $\hat{A}_\theta(\theta)|_{\varphi=0^\circ}$ (в площині XOZ для $\varphi=0^\circ$), $\hat{A}_\theta(\theta)|_{\varphi=90^\circ}$ (в площині YOZ для $\varphi=90^\circ$) і $\hat{A}_\theta(\varphi)|_{\theta=90^\circ}$ (в площині XOY для $\theta=90^\circ$). Підсумки розрахунків представлені в таблиці 1. Особливостями програм є те, що програма HAU та програмний комплекс

FEKO Suite використовують метод відображення ДС в лінійному масштабі, а програма MMANA-GAL basic використовує логарифмічний метод відображення розрахунків, що пояснює деякі зміни в формі діаграм. Також, вказані програми відрізняються методами нормування ДС. А саме: програми НАУ та MMANA-GAL basic використовують метод локального нормування в межах однієї із площ аналізу ДС, в той час як програмний комплекс FEKO Suite використовує метод глобального нормування ДС полів по всім окремим розрахункам.

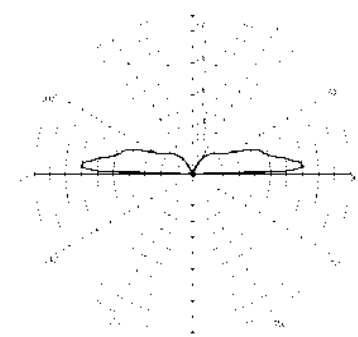
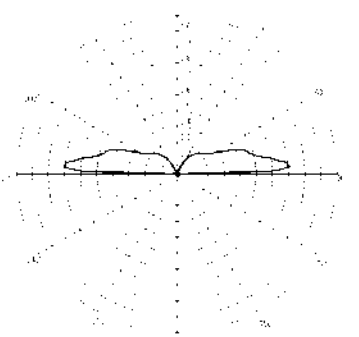
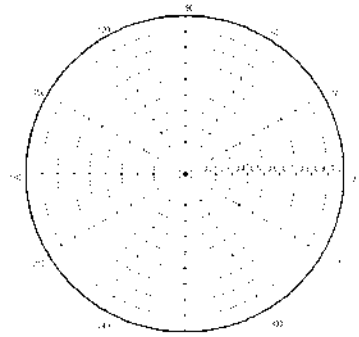
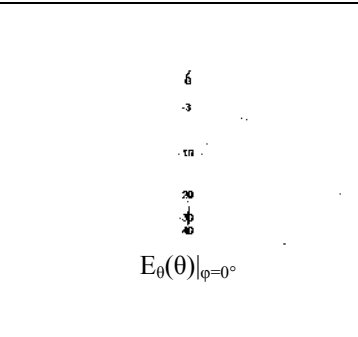
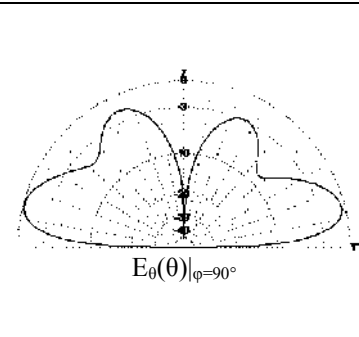
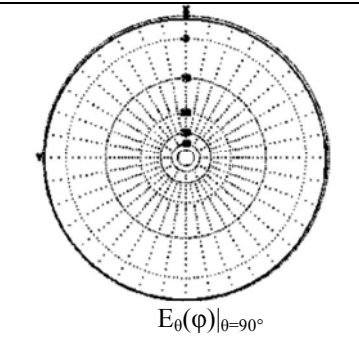
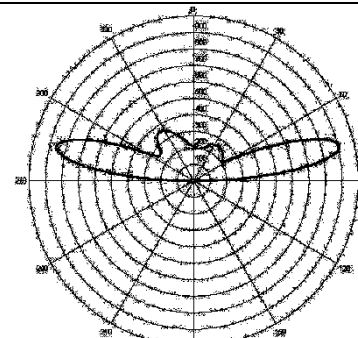
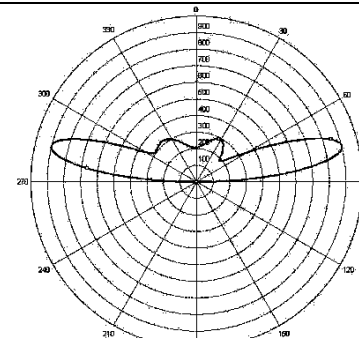
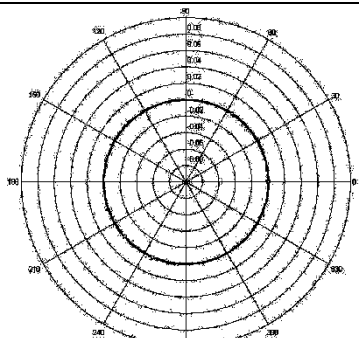
Варто помітити, що програмні продукти MMANA-GAL basic і FEKO Suite дозволяють отримати діаграми спрямованості не тільки в трьох площях, а в великій кількості площ з кроком від 1° і

менше, проте в зв'язку з тим що програма НАУ не надає таких даних, вони до статті не увійшли. Програмні продукти MMANA-GAL basic і FEKO Suite, на відміну від програми НАУ, формують тривимірні діаграми спрямованості (рис. 5).

Це дозволяє більш наочно побачити розподіл напруженості електромагнітного поля, а також, за рахунок присутності на таких діаграмах тривимірних зображень об'єкту моделювання, зрозуміти яким чином той чи інший елемент конструкції впливає на діаграму спрямованості. Необхідно помітити, що тривимірна діаграма спрямованості у безплатної програми MMANA-GAL basic більш інформативна ніж така ж діаграма комерційного програмного комплексу FEKO Suite.

Таблиця 1

ДС колінеарної антени,
що розраховані в програмах: НАУ, MMANA-GAL basic, FEKO Suite

	$\dot{A}_\theta(\theta) _{\varphi=0^\circ}$ в площині XOZ ($\varphi=0^\circ$)	$\dot{A}_\theta(\theta) _{\varphi=90^\circ}$ в площині YOZ ($\varphi=90^\circ$)	$\dot{A}_\theta(\varphi) _{\theta=90^\circ}$ в площині XOY ($\theta=90^\circ$)
Програма НАУ	 $E_\theta(\theta) _{\varphi=0^\circ}$	 $E_\theta(\theta) _{\varphi=90^\circ}$	 $E_\theta(\varphi) _{\theta=90^\circ}$
MMANA-GAL basic	 $E_\theta(\theta) _{\varphi=0^\circ}$	 $E_\theta(\theta) _{\varphi=90^\circ}$	 $E_\theta(\varphi) _{\theta=90^\circ}$
FEKO Suite	 $E_\theta(\theta) _{\varphi=0^\circ}$	 $E_\theta(\theta) _{\varphi=90^\circ}$	 $E_\theta(\varphi) _{\theta=90^\circ}$

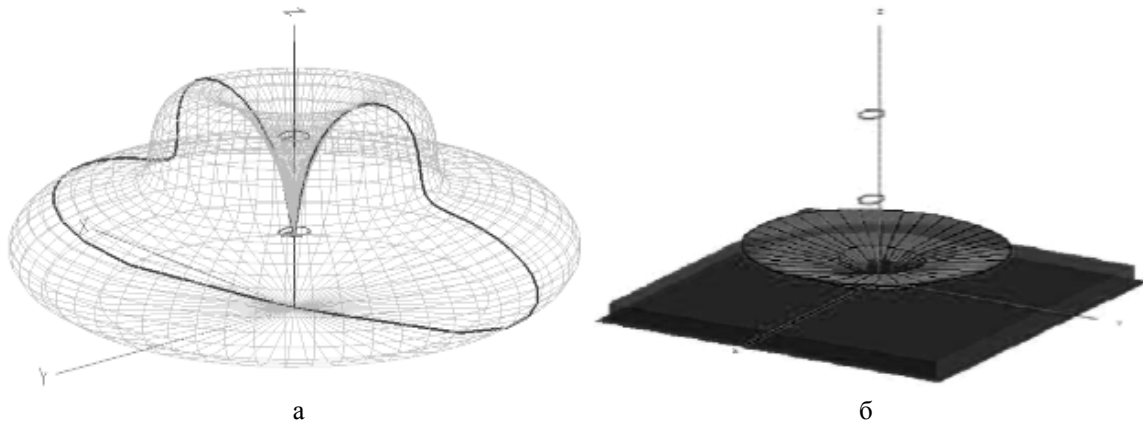


Рис. 5. Тривимірні діаграми спрямованості колінеарної антени:
а – побудована в програмі MMANA-GAL basic; б – побудована в програмному комплексі FEKO Suite

Висновки

В роботі приведено порівняльний аналіз спеціалізованого програмного забезпечення для розрахунку діаграм спрямованості антен. Розрахунки ДС при інших рівних умовах дають схожі результати, що обумовлено використанням в них одного й того ж методу обчислень (метод моментів). Однак, найбільш функціональним програмним продуктом виявився FEKO Suite. Але враховуючи те, що за його використання необхідно платити значні кошти, корисним він буде лише для комерційного застосування. Щодо наукового і навчального використання, більш вдалим виглядає MMANA-GAL basic. Проте і програма НАУ володіє всім мінімально необхідним функціоналом, а тому також може бути використана для наукових, навчальних, а в деяких випадках, і комерційних цілях. Наступні дослідження в даному напрямку полягають в аналізі більшої кількості програмних продуктів, а також дослідженні спроможності проведення наукових і конструкторських мо-

делювань, не тільки поодиноких антен, а й фазованих антенних решіток.

Список літератури

1. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л.В. Антени та пристрої надвисоких частот: Підручник для ВНЗ / за ред. Л.Я. Ільницького. – К.: Укртелеком, 2003. – 496 с. з іл.
2. Математичне моделювання впливу металевих конструкцій на характеристики вимірювальних антен / Звіт про науково-дослідну роботу НАУ по темі № 006-ДБ01-03, 3-й етап (заключний). – К.: НАУ, 2003. – 86 с.
3. Гончаренко І.В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA / И.В. Гончаренко. – М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио». 2002 – 80 с.: ил.
4. Банков С.Е. Расчет излучаемых структур с помощью FEKO / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – М., ЗАО «НПП «РОДНИК», 2008. – 246 с.

Надійшла до редколегії 30.04.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Конін, Національний авіаційний університет, Київ.

АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН

Д.И. Терещенко, С.А. Буйновский

Статья посвящена анализу функций специализированных программных продуктов: FEKO Suite, MMANA-GAL basic, программа НАУ. Данный анализ позволил сравнить указанное программное обеспечение и выявить наиболее удачное из них для научных, учебных и коммерческих целей. Объектом моделирования, для выполнения сравнительного анализа, было избрано коллинеарную антенну, которая была рассчитана и изготовлена на кафедре Аэронавигационных систем для обеспечения приема ADS-B сообщений расширенного сквиттера режима S. Эта статья будет полезной для студентов, аспирантов и преподавателей радиотехнических вузов, а также для инженеров, занимающихся разработкой антенно-фидерных устройств.

Ключевые слова: FEKO Suite, MMANA-GAL basic, программа НАУ, коллинеарная антенна, диаграмма направленности, метод моментов.

ANALYSIS FUNCTIONS OF SPECIALIZED SOFTWARE FOR MODELING CHARACTERISTICS OF ANTENNA

D.I. Tereshchenko, S.A. Bujnovski

The article analyzes the functions of specialized software products: FEKO Suite, MMANA-GAL basic, NAU program. This analysis allowed comparing specified software and identifying the most successful of them for scientific, educational and commercial purposes. Object modeling, to perform comparative analysis, been selected collinear antenna, which was designed and constructed at the Aeronavigation system department for receiving ADS-B messages mode S extended squitter. This article will be useful for students and teachers of radio universities, as well as for engineers who are developing antenna-feeder devices.

Keywords: FEKO Suite, MMANA-GAL basic, NAU program, the collinear antenna, radiation pattern, the method of moments.