

ОТЗЫВ

официального оппонента

д.ф.м.н. Олега Станиславовича Литвинова на диссертацию Бельковича
Игоря Викторовича

«Применение векторов Римана-Зильберштейна для расчета
электромагнитных полей зеркальных антенн и лучеводов»

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 05.12.07

«Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Актуальность темы диссертации

В связи с развитием науки и техники в последнее время становится актуальными исследования дальнего космоса, позволяющие найти решение фундаментальных проблем мироздания. Такие исследования требуют создания сложных систем связи наземных станций с дальними космическими аппаратами, для чего необходимы антенные устройства (АУ) с большой эффективной площадью апертуры. По оценкам зарубежных экспертов АУ с лучеводами, по существу, представляют собой пример применения перспективных технологий для построения СВЧ-тракта современных АУ, поскольку, позволяет получить ряд преимуществ по сравнению с классическими схемами построения антенно-фидерного тракта (АФТ). Расчёт лучеводных АУ в соответствии с электродинамической теорией антенн основан на решении задач дифракции электромагнитных волн (ЭМВ) в элементах АФТ таких АУ. В свою очередь, упомянутый выше расчет базируется на применении хорошо зарекомендовавших себя методов квазиоптики, в частности, методов физической оптики и геометрической теории дифракции. Как хорошо известно, на базе методов квазиоптики реализовано большое количество зарубежных коммерческих САПР АУ. Однако, при расчетах и создании лучеводных АУ возникает ряд нетривиальных проблем, на решение которых и направлены исследования рецензируемой диссертации.

Предлагаемый в диссертации Бельковича И. В. метод расчёта лучеводных АУ базируется на предложенных в начале 20 века английским математиком Бейтманом векторов, представляющих ЭМВ круговой поляризации в виде волн, векторы напряжённости которых представляют собой линейную комбинацию $\mathbf{E} \pm i\mathbf{H}$ векторов напряжённости

электрического \mathbf{E} и магнитного \mathbf{H} полей исходной волны. В диссертации Бельковича И. В развиваются новые методы расчёта АУ круговой поляризации на основе отмеченного выше представления волн круговой поляризации, который позволяет сделать более простым решения задач расчёта АУ круговой поляризации и, безусловно, найти решение новых, до сих пор не решенных задач теории антенн и прикладной электродинамики. Необходимо отметить, что диссертационные исследования Бельковича И. В. является достойным развитием идей, изложенных в докторской диссертации его научного руководителя – Б.Л. Когана.

На основании сказанного можно констатировать, что, тематика диссертации Бельковича И.В. «Применение векторов Римана-Зильберштейна для расчета электромагнитных полей зеркальных антенн и лучеводов» является актуальной.

Исследования в работе направлены на достижение двух основных **целей** – развитие теории векторов Римана-Зильберштейна и создание большой зеркальной антенны с лучеводом с максимально достижимыми характеристиками. Достижение этих целей потребовало как проведения исследований теоретического характера – разработки основ теории векторов Римана-Зильберштейна (Р-З), вывода необходимых соотношений электродинамики для векторов Р-З, так и большой работы по решению практических задач – создание методов повышения точности расчетов за счет учета конструктивных элементов и погрешностей ВЧ-тракта; создание методики синтеза многозеркального лучевода с преобразованием ширины квазиоптического пучка лучей и сохранением симметрии и поляризационной структуры поля; наконец, создания программ задач расчета дифракции в многозеркальных системах.

Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений с выводами формул и списка литературы из 114 источников. В целом можно отметить внутреннее единство текста диссертации, логичность изложения материала и наличие ясной связи между главами диссертации, подчиненными цели – созданию зеркальной антенны с лучеводом на основе

описания поля векторами Римана-Зильберштейна.

Глава 1 диссертации содержит обзор литературы, посвященной основным способам построения и методам расчета больших зеркальных антенн с лучеводами. В этой главе ней отмечены традиционно возникающие сложности и способы их преодоления. Приведена краткая историческая справка по развитию техники больших зеркальных антенн и применению известных расчетных подходов, аналогичных использованию векторов Римана-Зильберштейна.

В **главе 2** находит свое развитие теория векторов Римана-Зильберштейна. Получены основные соотношения электродинамики для электромагнитного поля, представленного векторами Римана-Зильберштейна, а также известных методов вычислительной электродинамики – метода физической оптики, метода собственных функций в специальных системах координат. В главе обосновывается применение циклических и спиральных координат, заимствованных из квантовой теории углового момента, с помощью которых распространение векторов аналогично распространению фотонов круговой поляризации. Это обстоятельство делает понятным физический смысл представления волн круговой поляризации ЭМВ с помощью векторов Римана-Зильберштейна.

В **главе 3** предложены способы приближения расчетной модели лучевода к реальной посредством создания математических моделей конструктивных элементов, вносящих искажения в поля – кожухов лучеводов, неидеальностей зеркал. Выработаны рекомендации для учета и минимизации влияния этих искажений для некоторых частных случаев.

В **главе 4** формулируется методика синтеза двухзеркального лучевода, сохраняющего симметрию и отсутствие кроссполяризационной составляющей исходного поля. Методика основана на геометрикооптическом приближении расчета полей ЭМВ и выгодно отличается от существующих за счет возможности преобразования угловой ширины пучка лучей. В этой главе также представлены результаты объемного моделирования, расчета и на этой основе оптимизации многозеркального лучевода разрабатываемой для целей освоения дальнего космоса зеркальной антенны. Необходимо

подчеркнуть, что в этой главе приводятся сравнительные данные об эффективности антенн-аналогов. Это позволило диссертанту сделать обоснованный вывод о преимуществах разработанного им метода расчёта антенн круговой поляризации с лучеводом по сравнению с известными.

Значимость результатов работы для науки и техники

Результаты исследований Бельковича И.В., представленные в четвертой главе, могут быть использованы в качестве руководства для проектирования лучеводов, а расчетные программы, разработанные в ходе работы над диссертацией, будут полезны при решении задач дифракции и проектировании зеркальных антенн. В этом, помимо непосредственно результатов электродинамического проектирования 32-метровой антенны, заключается практическая значимость диссертации Бельковича И.В.. Необходимо отметить, что в диссертации имеется акт внедрения результатов диссертационной работы Бельковича И.В. в проектирование и разработку 32-метровой антенны дальней космической связи. Практические результаты диссертации будут полезны широкому кругу специалистов в области теории дифракции, СВЧ и антенной техники.

Теоретическая значимость заключается в том, что в работе развивается и применяется на практике способ представления поля, аналогичный традиционно используемому в квантовой физике для описания свойств микрочастиц. Необходимо также подчеркнуть значимость результатов диссертации Бельковича И.В. в развитии соответствующего математического аппарата, сопровождающего применение векторов Римана-Зильберштейна при решении задач прикладной электродинамики. Чрезвычайно интересны и полезны на практике свойства поля, получившиеся при переходе к симметричной форме записи уравнений Максвелла с векторами Римана-Зильберштейна.

Научная новизна

Научная новизна диссертации Бельковича И.В. заключается в следующем:

- 1) применении для решения задач дифракции представления поля ЭМВ

векторами Римана-Зильберштейна;

2) увеличении скорости расчета задач дифракции ЭМВ круговой поляризации на основе свойства независимости и симметрии уравнений Максвелла;

3) разработке методики синтеза двухзеркальных лучеводов;

4) создании расчетные программы расчета АУ с лучеводами;

5) комплексная разработка 32-метровой антенны с сохранением поляризационной структуры поля в лучеводе.

Обоснованность и достоверность

Обоснованность и достоверность полученных результатов в диссертации Бельковича И.В. подтверждается использованием строгого аппарата электродинамики и известных приближённых методов. Бельковичем И.В. проведено сравнение теоретических и полученных численно в известных программах расчетных данных, а также экспериментальное определение характеристик зеркальной антенны, имеющих хорошее совпадение с результатами расчётов. Достоверность также подтверждается публикацией результатов диссертации в рецензируемых научных журналах, выступлением и обсуждением результатов на семинарах, российских и международных конференциях. Ссылки на публикации указаны в соответствующих разделах диссертации, сами публикации отражают ее содержание.

Замечания

К недостаткам диссертации Бельковича И.В. можно отнести следующие, отмеченные ниже.

1) В главе 2 теорема эквивалентности отнесена к разделу метода физической оптики, что является одним из её применений и, в частности, таким образом применяется в диссертации. Однако такое отнесение является условным, так как теорема эквивалентности – строгое соотношение электродинамики и не основана на постулатах физической оптики.

2) В диссертации используется разработанный рекуррентный алгоритм вычисления D-функций Вигнера, описанный в Приложении. При этом имеются ссылки на другие существующие работы по вычислению этих функций, однако отсутствует сравнение в точности и скорости вычислений, из чего непонятно, в чем помимо простоты преимущества разработанного алгоритма.

3) В главе 3 приведены теоретические и экспериментальные результаты определения диаграмм направленности и оценки коэффициента использования поверхности (КИП) двухзеркальной антенны. При этом экспериментально измеренный КИП больше теоретического.

4) В главе 3 проводится сравнение результатов расчетов двухзеркального лучевода с работой W. Imbriale. Полученный в диссертации результат имеет большое отличие в части ширины распределения поля на выходе лучевода при наличии кожуха. Данное в диссертации объяснение этих отличий не выглядит убедительным.

5) Имеются опечатки, стилистические недостатки. Отметим также замечание по поводу оформления подписей к рисункам, которые в ряде случаев затрудняет чтение диссертации.

Однако, указанные замечания носят частный характер и не влияют на общую положительную характеристику работы.

Выводы

Диссертация Бельковича Игоря Викторовича «Применение векторов Римана-Зильберштейна для расчета электромагнитных полей зеркальных антенн и лучеводов» является законченным научным исследованием. Она посвящена актуальным вопросам теории антенн и дифракции электромагнитных волн и выполнена на высоком научном уровне. Работа обладает несомненной научной новизной и практической значимостью. Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии». Автореферат отражает содержание диссертации.

Таким образом, рецензируемая диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук ВАК РФ. Ее автор, Белькович Игорь Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физика-математических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Официальный оппонент, д.ф.м.н.,
профессор каф. Физики, фак ФН
МГТУ им. Н.Э. Баумана



О.С. Литвинов

Москва, 115172,
Новоспасский пер, д.3, кор.2, кв.7,
8(903)6745424, oleglitv@mtu-net.ru

27.03.2020 г.

Подпись О.С.Литвинова
Заверяю, начальник управления кадров
МГТУ им. Н.Э. Баумана



А.Г. Матвеев