

УТВЕРЖДАЮ



Заместитель генерального директора
по гособоронзаказу и научно-техническому
развитию АО «Концерн «Вега»,

кандидат технических наук

Крайлюк А.Д.

« 07 »

07

2020 г.

Отзыв

на автореферат диссертации Бельковича Игоря Викторовича "Применение векторов Римана-Зильберштейна для расчёта электромагнитных полей зеркальных антенн и лучеводов", представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.12.07 "Антенны, СВЧ-устройства и их технологии"

В соответствии с Федеральной космической программой России на 2016-2025 годы, ориентированной на решение важных задач теоретической астрономии и исследование ряда планет солнечной системы, предусмотрена модернизация существующих и создание новых командно-измерительных комплексов дальней космической связи. Важнейшими элементами таких комплексов являются большие (в несколько десятков метров) зеркальные антенны, обеспечивающие как решение задач радиоастрономии, так и управление космическими аппаратами. Подразумевается при этом, что технические характеристики вновь разрабатываемых изделий должны быть не хуже аналогичных характеристик антенн, реализованных на текущий момент в мире. Для достижения этой цели необходим критический анализ лучших существующих схем фидерных трактов разных частотных диапазонов и разработка методов их расчёта с высокой точностью. Поэтому тема диссертационной работы Бельковича И.В., посвящённая разработке метода расчёта больших зеркальных антенн с фидерами малых потерь в виде квазиоптических линий, является **актуальной**.

В работе использовано нетрадиционное, хотя и известное в теории электродинамики, представление электромагнитного поля через векторы Римана-Зильберштейна, определение которых сводится к решению дифференциального уравнения в частных производных первого порядка, что в ряде случаев проще волновых уравнений второго порядка, к которым обычно сводятся напряжённости электрического и магнитного поля или соответствующие потенциалы. На основе такого представления Бельковичем И.В. разработаны методы и алгоритмы, позволившие сократить вычислительные затраты при расчёте лучеводов и зеркала 32—метровой антенны. Это позволило учесть влияние на распространяющееся поле некоторых дополнительных искажающих поле факторов.

В диссертационной работе получены следующие **новые научные результаты**:

- на основе векторов Римана-Зильберштейна получены необходимые для расчётов соотношения и метод разложения полей в ряд по собственным функциям уравнений Максвелла в специальных системах координат;
- для метода собственных функций разработан алгоритм вычисления сферических функций без накопления ошибки вычислений;
- на конкретных примерах рассматриваемого приложения показано, что для определения полного поля основной поляризации достаточно одного вектора Римана-Зильберштейна, что позволяет сократить затрачиваемые вычислительные ресурсы;
- определены рекомендации к конструкции и технологии изготовления зеркал, способствующие минимизации искажений из-за отклонений реальных поверхностей зеркал от расчётных;
- разработана методика синтеза двухзеркальных лучеводов, не вносящих искажений в распространяющееся поле в приближении геометрической оптики при отсутствии кроссполяризационной составляющей поля, а также

обеспечивающих возможность преобразования ширины луча в интересах сокращения геометрических размеров структуры.

Достоверность полученных результатов обосновывается строгой постановкой электродинамической задачи, корректностью выкладок при построении математической модели и подтверждена как результатами численного моделирования с использованием широко апробированных коммерческих программ, так и отдельными экспериментами. Основные результаты, судя по приведенному списку научных трудов, прошли также проверку в публикациях и выступлениях на научно-технических конференциях.

Практическая значимость полученных автором результатов состоит в обосновании методов и алгоритмов анализа и синтеза сложных рассеивающих СВЧ-структур с повышенной точностью. На основе этих методов и алгоритмов проведена разработка лучевода и зеркальной системы изготавливаемой по заказу «Роскосмоса» 32-метровой зеркальной антенны. Полученные алгоритмы и рекомендации могут быть применены в дальнейших разработках.

Вместе с тем изложение проведенного исследования в автореферате не свободно от замечаний и **недостатков**. Отметим из них следующие.

1. Понятие эффективности антенн, многократно употреблённое автором в тексте, многозначно по смыслу и не поясняется каждый раз.
2. На стр. 4 (строки 4-7 сверху) отмечено, что большинство современных лучеводов в составе антенн не обеспечивают отсутствие искажений, но не пояснено, чем не устраивают в рассматриваемом приложении лучшие из них. Это существенно, поскольку методика синтеза автором такого двухзеркального лучевода отнесена к новому результату (три последние строки на стр. 7).

3. Знание уровня кроссполяризованного излучения обычно всегда требуется в техническом задании на разработку излучающих систем. Поэтому вызывает вопрос о рациональности использования лишь одного вектора Римана-Зильберштейна (пункт 3 новизны результатов, стр. 7).
4. Имеются расхождения в нормировке векторов Римана-Зильберштейна у автора и в сайте <https://infopedia.su/13x1d7.html>. Коэффициенты при векторах $(\frac{1}{\sqrt{z}}\vec{E} \mp i\sqrt{z}\vec{H})$ равны соответственно $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{\sqrt{2}c}$, где c – скорость света в вакууме, соответственно. Не пояснено, с чем это связано.
5. Сравнение разрабатываемой автором антенны и аналогов произведено путём сопоставления расчётных характеристик с реально достигнутыми. Тем самым вывод о превосходстве рассмотренного проекта основан пока на предположении автора о достижении в результате малых (в единицах процентов) различий между проектом и реализациями.
6. Отмечено (стр. 20), что существующие асимптотические методы вычислительной электродинамики *игнорируют множество факторов*, вносящих искажения в электромагнитное поле. Однако не отмечено явно (возможно, только в автореферате) какие из факторов упомянутого множества могут быть скомпенсированы применением векторов Римана-Зильберштейна.

Отмеченные недостатки отражают, как часто бывает, стремление получить ответы на все сомнения и вопросы. Они не снижают существенным образом общего положительного впечатления о проведенном исследовании и полученных в диссертации Бельковича И.В. результатах.

Содержание автореферата и материалы публикаций автора достаточно полно отражает основные положения диссертации, выносимые на защиту.

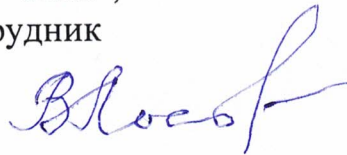
Тематика проведенного исследования соответствует паспорту специальности 05.12.07 – "Антенны, СВЧ – устройства и их технологии".

Судя по автореферату, диссертация Бельковича И. В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится

решение задачи, имеющей значение для радиоастрономии или дальней космической связи – в ней разработана научно-методическая база и программное обеспечение для разработки больших зеркальных антенн с характеристиками на уровне не хуже мирового уровня на сегодняшний день.

Диссертация соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Белькович Игорь Викторович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.12.07 - "Антенны, СВЧ – устройства и их технологии".

Ведущий научный сотрудник АО "Концерн "Вега",
канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник



В. Ф. Лось

Место работы: Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега»,
121170, г. Москва, Кутузовский проспект, 34
Телефон : 8 (499) 753-4004, доб. 9105
Электронная почта: mail@vega.su < для Лося В.Ф.