

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.231.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

аттестационное дело N _____
Решение диссертационного совета от 20 августа 2020 г., N 11

О присуждении Бельковичу Игорю Викторовичу, гражданину России ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация на тему: «Применение векторов Римана-Зильберштейна для расчета электромагнитных полей зеркальных антенн и лучеводов» по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ устройства и их технологии» принята к защите 07 февраля 2020 г., протокол № 1, диссертационным советом Д 002.231.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая, Д.11. корп.7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1958 от 21.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 714/нк от 02.11.2012 г.).

Соискатель Белькович Игорь Викторович 1991 года рождения, в 2014 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

С 01.10.2014 по 30.09.2019 гг. проходил обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Работает начальником лаборатории бортовых антенн научно-технического центра антенных комплексов и систем АО «ОКБ МЭИ».

Диссертация выполнена на кафедре Радиотехнических приборов и антенных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Научный руководитель: Коган Борис Лазаревич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры Радиотехнических приборов и антенных систем (РТП и АС) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Официальные оппоненты:

Литвинов Олег Станиславович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Лаврецкий Евгений Изидорович, кандидат технических наук, главный специалист отдела 324 Научно-технического комплекса НТК 3 по созданию и эксплуатации информационных систем АО «НИИ Точных приборов», дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация - Публичное акционерное общество «Радиофизика» (Москва) – в своем положительном отзыве, подписанном к.т.н. Ю.Н. Кривошеевым, вед. н. сотр. отд. 3010, к.т.н. А.В. Шишловым, нач. отд. 3010 и утвержденном ген. дир. Б.А. Левитаном, указала, что диссертация Бельковича И.В. выполнена на

актуальную тему, представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой автором применен и развит перспективный теоретический подход и получены методы вычислительной электродинамики, позволяющие упростить представление электромагнитного поля, а также уменьшить сложность вычислительной работы для определенного круга практических задач. Полученные результаты важны для создания новых образцов высокоэффективных больших зеркальных антенн, обладают новизной и могут быть использованы при проектировании зеркальных антенн, в частности, с лучеводом для дальней космической связи в организациях: ПАО «Радиофизика» (Москва), ФГУП НИИР (Москва), АО «Концерн радиостроения «Вега» (Москва), ОАО «НПК «НИИДАР» (Москва).

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, по теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 5 – в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, из них 1 – в журналах, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, 2 патента РФ, 8 тезисов докладов конференций.

Общий объем опубликованных по теме диссертации работ составил 189 стр.

1. Б.Л. Коган, **И.В. Белькович**. Теория и практическое применение векторов Римана-Зильберштейна для задач антенной техники. Журнал радиоэлектроники. 2018. № 12. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec18/11/text.pdf>. Авторский вклад 60%. В работе получены соотношения методов вычислительной электродинамики векторов Римана-Зильберштейна и представлено решение прикладных задач антенной техники, в том числе сравнение результатов с коммерческими САПР.

2. **Белькович И.В.** Расчет эффективности зеркальных антенн и лучеводов с учетом неидеальностей поверхностей зеркал и кожуха лучевода с применением векторов Римана-Зильберштейна. Журнал радиоэлектроники. 2019. № 11. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/nov19/14/text.pdf>. С применением векторов P-3 проведено численное исследование влияния кожуха и неидеальностей зеркал лучевода и зеркальной антенны на их эффективность, предложены формулы и определены рекомендации для минимизации искажений.

3. **Belkovich I.V.**, Kogan B.L. Utilization of Riemann-Silberstein Vectors in Electromagnetics // PIER B. 2016. V. 69. № 1. p. 103-116. Авторский вклад 70%. Получены основные соотношения для векторов Римана-Зильберштейна, собственные функции в циклических координатах и коэффициенты разложения в спиральных координатах. Подход применен для исследования векторной структуры поля в области фокуса зеркальной антенны в спиральных координатах.

4. **Igor V. Belkovich**, Boris L. Kogan. Application of the Riemann-Silberstein Vectors and Source Matching Method to a Beam-Waveguide Vector Field Analysis // 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2019. Авторский вклад 80%. Методы вычислительной электродинамики векторов P-3 применены к расчету лучеводов. Проводится анализ применимости свойства независимости, потерь в лучеводе и оценка сходимости рядов.

5. Boris L. Kogan, **Igor V. Belkovich**, Vasily N. Seleznyov. Design of Dual-Reflector Offset Antennas and Beam-Waveguides with a Pattern Symmetry and Zero Cross-polarization // 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2019. Авторский вклад 50%. Разработана методика синтеза двухзеркальных лучеводов и

несимметричных зеркальных антенн, сохраняющих свойства симметрии и отсутствия кроссполяризации. Проведен синтез и численный анализ полей конфигураций лучевода с замкнутой и разомкнутой траекториями лучей.

6. Турникетная малогабаритная антенна на полусфере: пат. 2624596 РФ / К.К. Белостоцкая, **И.В. Белькович**, Р.С. Каленов. № 2016137659; заявл. 21.09.16; опубл. 04.07.17, Бюл. № 19.

7. Невыступающая волноводная антенна вертикальной поляризации: пат. 2671969 РФ / К.К. Белостоцкая, **И.В. Белькович**, В.Н. Селезнев, П.Г. Чуенков. № 2017137243; заявл. 24.10.17; опубл. 08.11.2018, Бюл. № 31.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы из

- ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» от к.т.н. Т.А. Гайнутдинова, доцента каф. «Техническая электродинамика и антенны» (замеч.: недостаточно обоснованные преимущества свойства независимости векторов – если при промежуточных расчетах можно допустить получение полного поля только основной поляризации, то в общем случае необходимо знание как поля основной, так и кроссполяризации, в связи с чем преимущества развитого в диссертации подхода представляются спорными).

- АО «Военно-промышленная корпорация «Научно производственное объединение машиностроения» от С.А. Сливко (замеч.: 1. В гл.3 представлены расчетные и экспериментальные диаграммы направленности двухзеркальной антенны, при этом имеются различия между результатами расчетов и экспериментов, что с учетом схожести методов и предполагаемой высокой точности расчетов вызывает вопросы. 2. В расчетах характеристик двухзеркальной антенны с искаженными зеркалами, где проводится сравнение с классической теорией Рузе, отсутствует анализ зависимости результатов от глубины параболоида).

- АКЦ Физического института им. П.Н. Лебедева РАН от к.т.н. Р.А. Черного, зав. отд. приемопередающих комплексов (замеч.: в автореферате не рассмотрены методы юстировки зеркальной системы лучевода).

- АО «Газпром Космические системы» от к.т.н. В.А.Лазутина, секретаря научно-технич.совета (рекомендуется в последующем более детальная проработка вопросов, связанных с обеспечением точности выставления зеркал, наведения и управления лучеводом и большой зеркальной антенной).

- ЗАО «Космические информационные аналитические системы» от ген.дир., к.т.н. С.Е.Чадова (замеч.: в автореферате говорится о новизне разработанного алгоритма вычислений D-функций Вигнера. При этом известны и существуют алгоритмы расчета функций, в том числе высокого порядка. В связи с этим непонятно, в чем заключается новизна по указанному пункту).

- АО «Концерн радиостроения «Вега», подписанный к.ф.м.н., вед.н сотр. В.Ф.Лосем и утвержденный зам.ген.дир., к.т.н. А.Д.Крайлюком (замеч.: 1. Не поясняется употребляемое соискателем понятие эффективности антенн; 2. Не объясняется, в чем недостатки традиционно применяемых лучеводов. 3. Имеются сомнения в целесообразности использования лишь одного вектора Р-З в связи невозможностью получения кроссполяризации. 4. Не объясняется расхождение в формулировках векторов Р-З. 5. Недостаточно обоснованы преимущества

разработанной антенны. 6. Не пояснено, каким образом применение векторов Р-З может увеличить достоверность расчетов).

- ФГБУН Института математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН от к.т.н., ст.научн.сотр. отдела аппроксимации и приложений Б.В.Семенова. (замеч.: отсутствие сравнения и обоснования увеличения точности расчетов с применением разработанных алгоритмов по сравнению с традиционными квазиоптическими методами расчета).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается: назначенные советом официальными оппонентами по кандидатской диссертации И.В. Бельковича ученые являются специалистами в области антенн, СВЧ-техники и электродинамики, в частности, в вопросах дифракции и рассеяния волн; они широко известны своими достижениями в данных отраслях науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах и практический опыт по созданию антенных систем, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонированной диссертации.

Ведущая организация - ПАО «Радиофизика», является одним из ведущих радиотехнических научно-исследовательских предприятий, в котором проводятся исследования и разработки зеркальных антенн и антенных решеток с применением новейших технологий. Многочисленные теоретические и практические работы его сотрудников в областях антенной техники, радиофизики, создания радиотехнических комплексов и систем наземного, морского, воздушного и космического базирования дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представляемые автором для защиты.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: для представления поля векторами Римана-Зильберштейна получены новые аналитические соотношения электродинамики – методов физической оптики, собственных функций в специальных координатах, для которых разработаны алгоритмы вычисления сферических функций и коэффициентов разложения в ряд, упрощающие векторный анализ полей; разработаны методики численного расчета влияния конструктивных источников искажений на характеристики зеркальных антенн и лучеводов, а также синтеза двухзеркальных лучеводов с сохранением поляризационной структуры поля и трансформацией угловой ширины луча; разработан проект высокоэффективной антенны с лучеводом.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработаны расчетные методы и алгоритмы, позволяющие в определенных случаях проводить векторный анализ полей рассеивающих структур с экономией расчетного времени относительно классических методов; для многозеркальных систем изучено влияние источников искажений, таких как случайные отклонения поверхностей зеркал от теоретических и кожухов лучеводов, повышающие точность расчетов таких систем; разработаны способы учета и компенсации искажений, возникающих в лучеводах, увеличивающие эффективность зеркальных антенн с лучеводами.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, используются и внедрены в процесс разработки и создания новых антенных систем в АО «ОКБ МЭИ», в том числе антенн для исследования дальнего

космоса – ТНА-1500, РТ-70 и новой изготавливаемой в настоящий момент 32-метровой антенны с высокими расчетными значениями эффективности. Разработано и внедрено специализированное программное обеспечение для анализа зеркальных антенн и лучеводов с учетом случайных искажений профилей зеркал и кожухов.

Достоверность полученных результатов подтверждается строгостью постановки электродинамической задачи и выкладок при выводах формул, корректностью математических моделей, согласованностью результатов с известными решениями задач дифракции, соответствием теоретических результатов данным, полученным в апробированных коммерческих программах и данным экспериментов. Основные результаты диссертационной работы представлены на научно-технических конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях, одобренных научной общественностью, что свидетельствует об их успешной апробации, подтверждая достоверность и надежность.

Личный вклад соискателя состоит: в постановке задачи и определении этапов выполнения работы; получении соотношений для векторов Римана-Зильберштейна: метода собственных функций, алгоритма вычисления сферических функций и коэффициентов разложения в ряд; разработке и отладке программного обеспечения для расчетов, оценки эффективности и оптимизации зеркальных антенн с учетом конструктивных источников искажений; разработке схемы и оптимизации радиотехнической эффективности 32-метровой антенны. Опубликованные в ходе выполнения исследований работы были выполнены лично или в соавторстве с научным руководителем.

Диссертационная работа И.В. Бельковича является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научной и практической задачи разработки методов вычислительной электродинамики и технологий создания больших высокоэффективных зеркальных антенн с лучеводными трактами, и удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 20 августа 2020 г диссертационный совет принял решение присудить Бельковичу И.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета

И.о.ученого секретаря
диссертационного совета

«21» августа 2020 г



Черепенин
Владимир Алексеевич

Назаров
Лев Евгеньевич