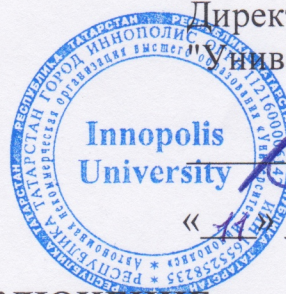


«УТВЕРЖДАЮ»



Директор АНО ВО
«Университет Иннополис»

К.В. Семенихин

« 06 » 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автономной некоммерческой организации высшего образования «Университет Иннополис» (АНО ВО «Университет Иннополис») по диссертации Бадарина Артема Александровича «Колебательные явления в релятивистских электронных потоках с виртуальным катодом в полях резонансных систем и фотонных кристаллов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 «Радиофизика» и 01.04.04 «Физическая электроника», выполненной в Центре технологий компонентов робототехники и мехатроники АНО ВО «Университет Иннополис».

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора Автономной некоммерческой организации высшего образования «Университет Иннополис» от 06.03.2019 №ОД/НИД-01/2019/03/06.

Соискатель Бадарин Артем Александрович окончил в 2017 году магистратуру факультета нелинейных процессов ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению 03.04.01 «Прикладные математика и физика» с присвоением квалификации магистра.

Бадарин А.А. работал в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» в должности лаборанта-исследователя НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем» с сентября 2014 г. по апрель 2016 г., в должности младшего научного сотрудника НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем» с апреля 2016 г. по январь 2018 г., в должности младшего научного сотрудника НОЦ «Системы искусственного интеллекта и нейротехнологии» с января 2018 г. по январь 2019 г.

С января 2019 г. по настоящее время Бадарин А.А. работает в должности младшего научного сотрудника Лаборатории нейронауки и когнитивных технологий Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники АНО ВО «Университет Иннополис».

Научные руководители – Куркин Семён Андреевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор Лаборатории нейронауки и когнитивных технологий Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники АНО ВО «Университет Иннополис» и Храмов Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, руководитель Лаборатории нейронауки и когнитивных технологий Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники АНО ВО «Университет Иннополис»,

утвержденные приказом ректора АНО ВО «Университет Иннополис» от 06.03.2019 г. №ОД/НИД-01/2019/03/06, представили положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на заседании Ученого Совета АНО ВО «Университет Иннополис». На заседании присутствовали:

1. *Тормасов Александр Геннадьевич*, доктор физико-математических наук, профессор, ректор АНО ВО «Университет Иннополис»;
2. *Семенухин Кирилл Владимирович*, директор АНО ВО «Университет Иннополис»;
3. *Климчик Александр Сергеевич*, PhD, руководитель Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники АНО ВО «Университет Иннополис»;
4. *Зуев Евгений Александрович*, кандидат физико-математических наук, профессор, руководитель лаборатории операционных систем, языков программирования и компиляторов АНО ВО «Университет Иннополис»;
5. *Суччи Джуанкарло*, PhD, декан факультета компьютерных и инженерных наук, профессор лаборатории промышленной разработки ПО АНО ВО «Университет Иннополис»;
6. *Афанасьев Илья Михайлович*, кандидат технических наук, доцент лаборатории программной инженерии АНО ВО «Университет Иннополис»;
7. *Браун Джозеф Александер*, PhD, доцент, начальник лаборатории искусственного интеллекта в разработке игр АНО ВО «Университет Иннополис»;
8. *Масягин Сергей Владимирович*, проректор - начальник управления академической политики и организации образовательной деятельности АНО ВО «Университет Иннополис»;
9. *Бариев Искандер Ильгизарович*, проректор - начальник управления по проектной и научно-исследовательской деятельности АНО ВО «Университет Иннополис»;
10. *Орачевич Алма*, PhD, доцент лабораторий сетей и блокчейн технологий АНО ВО «Университет Иннополис»;
11. *Саматова Алия Мирхатовна*, проректор по развитию и кадровой политике АНО ВО «Университет Иннополис»;
12. *Мехмуд Хан Адил*, профессор, начальник лаборатории машинного обучения и представления данных АНО ВО «Университет Иннополис»;
13. *Канатов Алексей Валерьевич*, доцент, руководитель лаборатории анализа данных и финансовых технологий АНО ВО «Университет Иннополис»;
14. *Маццара Мануэль*, PhD, директор института разработки ПО и программной инженерии, профессор, начальник лаборатории программной инженерии АНО ВО «Университет Иннополис»;
15. *Фахим Мухаммад*, PhD, доцент лаборатории кибер-физических систем АНО ВО «Университет Иннополис»;

16. *Хуссэйн Рашид*, PhD, профессор, начальник лаборатории сетей и блокчейн технологий АНО ВО «Университет Иннополис»;

17. *Городецкий Сергей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, Доцент лаборатории машинного обучения и представления данных АНО ВО «Университет Иннополис»;

18. *Бахрами Мохаммад Реза*, кандидат технических наук, доцент лаборатории кибер-физических систем АНО ВО «Университет Иннополис»;

19. *Садовых Андрей Александрович*, PhD, доцент лаборатории промышленной разработки ПО АНО ВО «Университет Иннополис»;

20. *Шилов Николай Вячеславович*, кандидат физико-математических наук, доцент лаборатории операционных систем, языков программирования и компиляторов АНО ВО «Университет Иннополис»;

21. *Иванов Владимир Владимирович*, кандидат физико-математических наук, доцент лаборатории промышленной разработки ПО АНО ВО «Университет Иннополис»;

22. *Холодов Ярослав Александрович*, кандидат физико-математических наук, профессор, руководитель лаборатории анализа данных и биоинформатики АНО ВО «Университет Иннополис»;

23. *Казми Саид Мухаммад Ахсан Раза*, PhD, доцент лаборатории сетей блокчейн технологий АНО ВО «Университет Иннополис»;

24. *Жирош Оксана Михайловна*, директор по развитию гуманитарных и социальных наук АНО ВО «Университет Иннополис».

Рецензенты диссертации:

1. *Казанцев Виктор Борисович*, доктор физико-математических наук, доцент, профессор Лаборатории нейронауки и когнитивных технологий Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники АНО ВО «Университет Иннополис»,

2. *Макаров Владимир Владимирович*, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории нейронауки и когнитивных технологий Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники АНО ВО «Университет Иннополис»,

предоставили положительные отзывы о диссертации.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение.

Заключение

по диссертации Бадарина Артема Александровича «Колебательные явления в релятивистских электронных потоках с виртуальным катодом в полях резонансных систем и фотонных кристаллов»
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 «Радиофизика» и 01.04.04 «Физическая электроника»

Диссертация Бадарина Артема Александровича содержит решение согласованных актуальных задач радиофизики и физической электроники, заключающихся в поиске путей создания высокоэффективных сверхмощных источников электромагнитного излучения, в выявлении физических особенностей нелинейно-динамических процессов и пространственно-временных структур, характерных для пучково-плазменных электронных приборов на базе релятивистского электронного потока с виртуальным катодом (ВК).

Соответствие специальности. Содержание диссертации отвечает специальностям 01.04.03 «Радиофизика» (физико-математические науки), удовлетворяя пп. 1-4 паспорта данной специальности, и 01.04.04 «Физическая электроника» (физико-математические науки), удовлетворяя пп. 3, 5 паспорта данной специальности.

Научная новизна результатов диссертации Бадарина А.А. заключается в следующем.

- Предложена и исследована новая схема виркатора, в которой эллиптический резонатор используется в качестве пространства взаимодействия. Впервые показано, что данный тип электродинамической структуры позволяет увеличить эффективность энергообмена между электромагнитным полем и электронным потоком с ВК за счет лучшей локализации поля в области взаимодействия, а плавный переход резонатора в цилиндрический волновод способствует улучшению вывода электромагнитной энергии из системы.
- Предложена новая схема многолучевого релятивистского виркатора, и разработана её трехмерная самосогласованная электромагнитная модель, в которой несколько электронных потоков со сверхкритическими токами нагружены на общую электродинамическую структуру в виде отрезка цилиндрического волновода.
- Впервые исследованы процессы взаимодействия между пучками в многолучевом релятивистском виркаторе с токами, превышающими критический ток для данной системы. Обнаружен эффект, заключающийся в подстройке частоты колебаний ВК в электронных потоках с меньшими токами к частоте колебаний ВК в электронном потоке с большим током за счет связи через общее электромагнитное поле.

- Впервые получена карта динамических режимов, реализующихся при взаимодействии трех электронных потоков со сверхкритическими токами в многолучевом релятивистском виркаторе, в зависимости от параметров расстроек токов каждого из пучков относительно базового. Выделены четыре основных режима, отличающихся количеством интенсивных частотных компонент в Фурье-спектре генерируемого излучения.
- Впервые проведен детальный анализ электродинамических характеристик фотонного кристалла (ФК), находящегося в цилиндрическом волноводе. Получены дисперсионные характеристики рассматриваемого ФК для ряда первых рабочих мод, и исследована их эволюция при изменении геометрических параметров ФК: расстояний между штырями в продольном и поперечном направлениях относительно распространения релятивистского электронного потока, радиуса волновода.
- Впервые показано, что максимальный КПД (порядка 12%) для предложенной схемы двухсекционного виркатора с ФК достигается при инжектируемом токе, лежащем в диапазоне между критическими токами для каждой из секций виркатора, а преодоление им величины критического тока для секции с ФК приводит к резкому падению КПД вследствие развития сжатого состояния. Возрастание КПД связано с тем, что данная конструкция прибора позволяет организовать распределённую обратную связь как с помощью электромагнитного поля внутри ФК, так и за счет предварительной модуляции пучка, в котором формируется ВК во второй секции системы.

Научное и практическое значение результатов работы. Результаты работы носят научно-прикладной характер, открывая новые возможности для конструкторской деятельности в области радиофизики и физической электроники сантиметрового и миллиметрового диапазонов, актуальных для систем дальней радиолокации, дистанционного зондирования атмосферы, спутниковой связи, ускорения электронных и ионных пучков. В частности, показана возможность увеличения КПД схем генераторов на ВК за счет использования нескольких электронных потоков, связанных через общее электромагнитное поле. Предложены новые виркаторные схемы на базе эллиптического резонатора и ФК, позволяющие уменьшить недостатки, свойственные данному классу устройств (сравнительно низкие КПД и частота генерации).

Полученные в диссертационной работе результаты были использованы при выполнении научных задач по следующим НИР: государственные задания №№ 3.59.2014/К и 3.859.2017/ПЧ, Грант Президента РФ № МК-1163.2017.2, грант Российского научного фонда № 14-12-00222, гранты Российского фонда фундаментальных исследований № 14-02-31204, № 15-32-20299, № 15-52-04018, № 17-52-04097.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Использование электродинамической структуры в виде эллиптического резонатора в схеме аксиального релятивистского виркатора, работающего в К-диапазоне, приводит к увеличению амплитуды пространственных колебаний ВК и возрастанию КПД генерации до 2.5 раз, по сравнению с цилиндрическим резонатором, за счет лучшей локализации электромагнитного поля в области энергообмена, при этом наиболее эффективное взаимодействие пучка наблюдается с модами эллиптического резонатора, отношение частоты которых к плазменной частоте инжектируемого электронного потока лежит в диапазоне от 1.9 до 2.2, либо от 2.6 до 2.9.

2. Увеличение числа релятивистских электронных потоков в аксиальном виркаторе до четырёх сопровождается ростом КПД до 5 раз по сравнению с аналогичной однопучковой схемой, причем его максимум достигается при токах дополнительных пучков меньше базового на 20%, за счет возникающей положительной обратной связи между ВК в каждом из пучков, при этом электронный поток с большим током задаёт основную частоту колебаний генерируемого излучения, осуществляя предварительную модуляцию дополнительных пучков на этапе формирования в них ВК.

3. Использование в первой секции двухсекционного виркатора электродинамической системы в виде ФК с продольным и поперечным периодами, равными 5 и 4.75 мм, соответственно, приводит к стабилизации частоты генерации на основной моде и увеличению электронного КПД до 12.8 % при инжекции пучка с током 380 А и энергией 140 кэВ за счет реализации распределённой обратной связи между пучком и электромагнитным полем в ФК, при этом электронный КПД зависит от энергии и тока инжектируемого электронного потока так, что его оптимальное значение лежит между критическими токами для каждой из секций, причем преодоление критического тока для секции с ФК сопровождается резким падением КПД.

Личный вклад. Все представленные в диссертации результаты, получены лично автором: выбор методик решения задач, написание программ для ЭВМ, реализующих используемые в работе численные методы, графическую обработку и анализ результатов расчетов. Постановка задач, обсуждение и интерпретация полученных результатов осуществлялись совместно с научными руководителями.

Достоверность полученных результатов обеспечивается адекватностью применённых моделей, корректностью исходных и упрощающих допущений, использованием уравнений, методов и подходов, строго обоснованы в научной литературе, апробированы и хорошо себя зарекомендовали при проведении научных исследований в области изучения взаимодействия электронных потоков с электромагнитными полями резонансных систем и фотонных кристаллов. Достоверность результатов подтверждается их соответствием современным физическим представлениям

о процессах, происходящих в интенсивных пучково-плазменных системах, верификацией созданных программ при разнообразном тестировании, непротиворечивостью достоверным известным результатам. Ряд полученных научных результатов (значения частоты генерации, токов электронных потоков и характеристики электродинамических систем), согласуется с известными теоретическими и экспериментальными данными, опубликованными в авторитетных отечественных и зарубежных высокорейтинговых научных изданиях.

Апробация работы. Полученные в диссертационной работе результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях: X, XI международная школа-семинар “Хаотические автоколебания и образование структур” (Саратов, 2013, 2016); научная школа “Нелинейные волны-2016” (Нижний Новгород, 2016); 24, 26, 27, 28я международная Крымская конференция “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (Севастополь, 2014, 2016, 2017, 2018); XVI зимняя школа-семинар по СВЧ электронике и радиофизике (Саратов, 2015); всероссийская школа-семинар “Волны-2015”, “Волны-2016”, “Волны-2017”, “Волны-2018” (МГУ, 2015, 2016, 2017, 2018); 42nd IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS 2015) and 21 International Conference on High-Power Particle Beams (Beams 2015), Belek, Antalya, Turkey, 2015); X, XI, XIII Всероссийская конференция молодых учёных “Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика” (Саратов, 2015, 2016, 2018); 40, 41, 43, 44 International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THZ 2015, Hong Kong, China, 2015; IRMMW-THZ 2016, Copenhagen, Denmark, 2016; IRMMW-THZ 2018, Nagoya, Japan; IRMMW-THZ 2019 Paris, France); 42nd IEEE International Conference on Plasma Science (Belek, Antalya, Turkey, 2015); 17th, 18th, 19th, 20th IEEE International Vacuum Electronic Conference (IVEC 2016, Monterey, California, USA; IVEC 2017, London, United Kingdom; IVEC 2018 Monterey, California, USA; IVEC 2019, Busan, Korea).

Научные публикации. Основное содержание и результаты диссертационной работы опубликованы в 47 научных работах, включая 12 статей в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus и включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должен быть опубликованы основные научные результаты диссертаций, глава в коллективной монографии, 27 тезисов в трудах всероссийских и международных конференций, из них 12, индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus, 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Список основных работ автора, отражающих существо диссертационной работы, приведен в конце автореферата. Материалы диссертации полностью представлены в опубликованных работах.

Публикации в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и/или Scopus

- 1) **Badarin, A. A.**, Kurkin, S. A., Frolov, N. S., Koronovskii, A. A., Hramov, A. E., Rak, A. O. Higher-order modes excitation in generator with photonic crystal // *Results in Physics*. 2019. T. 15. P. 102758
- 2) **Badarin, A. A.** Analysis of computational error behavior at the numerical simulation of curved electrodynamic systems // *Cybernetics and Physics*. 2019. Vol. 8. Pp. 205–208.
- 3) **Бадарин А. А.**, Куркин, С. А., Фролов, Н. С., Рак, А. О., Храмов, А. Е. Исследование и оптимизация характеристик генерации сверхмощного виртода // *Журнал технической физики*. 2019. Т. 89, №. 3. С. 436–440.
- 4) **Badarin, A. A.**, Kurkin, S. A., Koronovskii, A. A., Hramov, A. E., Rak, A. O. Processes of virtual cathodes interaction in multibeam system // *Physics of Plasmas*. 2018. T. 25. №. 8. P. 083110.
- 5) **Бадарин, А. А.**, Куркин, С. А., Фролов, Н. С., Сельский, А. О., Храмов, А. Е., Короновский, А. А. Анализ сложных динамических режимов в различных модификациях релятивистских генераторов на виртуальном катоде // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2018. Т. 82. №. 11. С. 1595–1600.
- 6) Куркин, С. А., **Бадарин, А. А.**, Короновский, А. А., Фролов, Н. С., Храмов, А. Е. Моделирование неустойчивостей в релятивистском электронном потоке в среде CST Particle Studio // *Математическое моделирование*. 2017. Т. 29. №. 7. С. 109–122.
- 7) **Бадарин, А. А.**, Куркин, С. А., Короновский, А. А., Рак, А. О., Храмов, А. Е. Моделирование процессов развития и взаимодействия неустойчивостей в релятивистском электронном потоке при изменении толщины пучка // *Физика плазмы*. 2017. Т. 43. №. 3. С. 284–292.
- 8) Kurkin, S. A., **Badarin, A. A.**, Koronovskii, A. A., Hramov, A. E. The development and interaction of instabilities in intense relativistic electron beams // *Physics of Plasmas*. 2015. T. 22. №. 12. P. 122110.
- 9) **Бадарин, А. А.**, Куркин, С. А., Храмов, А. Е. Мультистабильность в релятивистском электронном потоке со сверхкритическим током // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2015. Т. 79. №. 12. С. 1646–1646.
- 10) **Бадарин, А. А.**, Куркин, С. А., Короновский, А. А., Храмов, А. Е. Исследование влияния проводимости стенок камеры дрейфа на динамику релятивистского электронного потока с виртуальным катодом // *Письма в ЖТФ*. 2015. Т. 41. №. 23.
- 11) Frolov N. S., Kurkin S. A., Khramova M. V., **Badarin A. A.**, Koronovskii A. A., Pavlov, A. N., Hramov A. E. Perspective sub-THz powerful microwave generator" nanovircator" for T-rays biomedical diagnostics // *Proceedings of SPIE*, 2016. T. 9917. P. 991721.
- 12) Kurkin, S. A., **Badarin, A. A.**, Koronovskii, A. A., Hramov, A. E., Rak, A. O. Higher harmonics generation in relativistic electron beam with virtual cathode // *Physics of Plasmas*. 2014. T. 21. №. 9. P. 093105.

- 13) **Badarin A. A.**, Kurkin S. A., Starodubov A. V., Frolov N. S., Koronovskii, A. A. Research of Volume Free-Electron Laser with Photonic Crystal Structure for Operation in Sub-Terahertz Range //2019 44th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz). IEEE, 2019. C. 1–2.
- 14) Kurkin S. A., **Badarin A. A.**, Koronovskii, A. A., Hramov, A. E., Rak, A. O. Novel Schemes of High-Power Relativistic Vircators //2019 International Vacuum Electronics Conference (IVEC). IEEE, 2019. C. 1–2.
- 15) Starodubov A. V., **Badarin A. A.**, Galushka V. V., Pavlov A. N., Kalinin Y. A., Kurkin S. A., Koronovskii A. A. Study of a Promising Electrodynamic Photonic Crystal-like Structure inside a Rectangular Waveguide //2019 International Vacuum Electronics Conference (IVEC). IEEE, 2019. C. 1–2.
- 16) **Badarin A. A.**, Kurkin S. A., Frolov N. S., Koronovskii, A. A., Hramov A. E., Rak, A. O. Analysis of the dispersion characteristics of the photonic crystal in the generator with intense relativistic electron beam //2018 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC). IEEE, 2018. C. 265–266.
- 17) Kurkin S. A., **Badarin A. A.**, Frolov N. S., Koronovskii A. A., Hramov A.E. Regularities and mechanisms of development of instabilities in the system with intense relativistic electron beam //2018 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC). IEEE, 2018. C. 279–280.
- 18) **Badarin A. A.**, Kurkin S. A., Andreev A. V., Koronovskii A. A., Frolov N. S., Hramov A. E., Rak A. O. Study of multibeam relativistic vircator //2017 Eighteenth International Vacuum Electronics Conference (IVEC). IEEE, 2017. C. 1–2.
- 19) **Badarin, A. A.**, Kurkin, S. A., Andreev, A. V., Koronovskii, A. A., Frolov, N. S., Hramov, A. E. Virtual cathode oscillator with elliptical resonator //2017 Eighteenth International Vacuum Electronics Conference (IVEC). IEEE, 2017. C. 1–2.
- 20) Kurkin S. A., **Badarin A. A.**, Koronovskii A. A., Hramov A. E., Kuraev A. A., Rak A. O. Increase of generation frequency of relativistic electron beam with virtual cathode using the regimes with the developed instabilities //2016 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC). IEEE, 2016. C. 1–2.
- 21) Hramov A. E., Kurkin S. A., **Badarin A. A.**, Koronovskii A. A. Vortex structures formation in ultrarelativistic electron beam with virtual cathode //2015 IEEE International Conference on Plasma Sciences (ICOPS). IEEE, 2015. C. 1–1.
- 22) Kurkin S. A., **Badarin A. A.**, Koronovskii A. A., Hramov A. E. Generation of higher harmonics in relativistic electron beam with virtual cathode //2015 IEEE International Conference on Plasma Sciences (ICOPS). IEEE, 2015. C. 1–1.
- 23) Kurkin S. A., **Badarin A. A.**, Koronovskii A. A., Hramov A. E. The use of higher harmonics for Sub-THz generation in relativistic virtual cathode oscillator //2015 40th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz). IEEE, 2015. C. 1–2.

- 24) **Badarin A. A.**, Kurkin S. A., Hramov A. E. Study of oscillation modes with intensive higher harmonics in a relativistic electron beam with a virtual cathode //2014 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology. IEEE, 2014. С. 837–838.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

- 25) **Бадарин А.А.**, Куркин С.А., Короновский А.А. Программный модуль для генерации вычислительных сеток. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615427, 2018.
- 26) **Бадарин А.А.**, Куркин С.А., Короновский А.А. Программный модуль эффективного численного решения уравнений Максвелла. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615431, 2018.
- 27) **Бадарин А.А.**, Куркин С.А., Короновский А.А., Журавлев М.О., Сельский А.О., Кириллов О.А., Елистратов А.А. Программа для обработки и анализа экспериментальных данных. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018619577, 2018.
- 28) **Бадарин А.А.**, Куркин С.А., Кириллов О.А., Короновский А.А. Программный модуль для создания сложных геометрических объектов при 3D моделировании электронных приборов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018619598, 2018.
- 29) **Бадарин А.А.**, Куркин С.А., Елистратов А.А., Короновский А.А. Программный модуль решения кинетического уравнения Власова методом крупных частиц. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018619597, 2018.
- 30) **Бадарин А.А.**, Куркин С.А., Храмов А.Е. Программа для ЭВМ по визуализации состояний релятивистского электронного потока при 3D моделировании (3DBeamVis). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614534, 2016.
- 31) Куркин С.А., **Бадарин А.А.**, Храмов А.Е. Программа для ЭВМ по расчету характеристик генерации релятивистского вакуумного генератора, моделируемого с использованием трехмерного PIC кода (Relativistic Generator Characteristics Calc). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614530, 2016.

Общая оценка диссертации. Диссертация Бадарина Артема Александровича «Колебательные явления в релятивистских электронных потоках с виртуальным катодом в полях резонансных систем и фотонных кристаллов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – «Радиофизика» и 01.04.04 – «Физическая электроника» представляет собой самостоятельное, целостное исследование, направленное на решение актуальной научной задачи в области радиофизики, заключающейся в изучении колебательных и волновых процессов взаимодействия интенсивного электронного потока с электромагнитными полями резо-

нансных электродинамических систем и фотонных кристаллов, и в области физической электроники, заключающейся в изучении физических процессов и закономерностей в пучково-плазменных электронных приборах на базе релятивистского электронного потока с ВК. Диссертационная работа выполнена на высоком уровне с применением современных методов теоретического и экспериментального исследования. Положения и основные результаты диссертационной работы полностью отражены в опубликованных статьях и материалах научных конференций. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации 24.09.2013 № 842 с изменениями от 26.05.2020.

Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – «Радиофизика» и 01.04.04 – «Физическая электроника».

Заключение принято на заседании Ученого Совета АНО ВО «Университет Иннополис» 11 июня 2020 года. Присутствовало на заседании всего 24 человека. Из них 1 доктор наук, 7 кандидатов наук и 9 PhD по профилю диссертации.

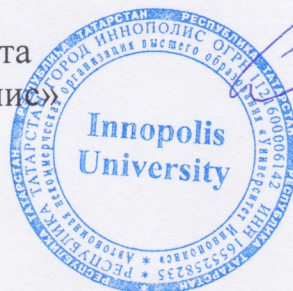
Результаты голосования: «за» – 24 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет (протокол № УС-1/2020/06/11 от «11» июня 2020 г.)

Заместитель председателя
Ученого Совета АНО ВО
«Университет Иннополис»,
д. ф.-м. н., профессор

Тормасов Александр
Геннадьевич

420500, г. Иннополис,
ул. Университетская, 1
8(843)203-92-53
a.tormasov@innopolis.ru

Подпись
Тормасова Александра Геннадьевича
заверяю:
Ученый секретарь Ученого Совета
АНО ВО «Университет Иннополис»



С.В. Масягин