



УТВЕРЖДАЮ
Врио директора ИПФ РАН,
академик РАН Г.Г. Денисов

« 08 » июля 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

по диссертации Логинова Павла Владимировича «Разработка импульсных микроондуляторов для генерации терагерцового, инфракрасного и ультрафиолетового излучения» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Работа выполнена в отделе высокочастотной релятивистской электроники (110) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Научный руководитель – Бандуркин Илья Владимирович, заведующий лабораторией мощных СВЧ систем для ускорительных приложений ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук.

В 2022 г. соискатель учёной степени окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" по направлению подготовки 03.04.03. Радиофизика.

Сроки обучения в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»: с 1 сентября 2022 года по 31 августа 2026 года.

Свидетельство об окончании аспирантуры № 105200 00000043 от 08 июля 2026 года.

В период подготовки диссертации соискатель Логинов Павел Владимирович работал младшим научным сотрудником в отделе высокочастотной релятивистской электроники (110) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Личное участие аспиранта в получении результатов, изложенных в диссертации

Все приведенные в диссертации результаты получены либо лично аспирантом, либо при его непосредственном участии. В частности, аспирантом выполнены все присутствующие в работе численные расчёты и экспериментальные исследования.

Численные расчёты выполнялись на основе оригинальных программ, созданных диссертантом самостоятельно, а также с использованием программ с открытым исходным кодом.

Научная новизна и основные результаты диссертационного исследования

1. Разработана аналитическая модель планарного токового микроондулятора, определены предельные значения параметров рабочего импульса с учётом ограничений по тепловым и механическим нагрузкам. Экспериментально подтверждена способность ондулятора с периодом 1 мм многократно выдерживать расчётные импульсы тока амплитудой до 8 кА, необходимые для формирования ондуляторного поля до 10 Тл и ондуляторного параметра около единицы, без структурных повреждений.
2. Предложена двухслойная медно-стальная конструкция планарного ондулятора, предназначенная для работы с пространственно-развитыми электронными пучками в условиях сильного ведущего магнитного поля. Экспериментально продемонстрирована способность такого ондулятора с периодом 5 мм многократно выдерживать импульсы тока до 10 кА, необходимые для обеспечения ондуляторного параметра около 0,5, в ведущем поле до 4 Тл; предложены двухслойные спиральный бифилярный и квазиспиральный варианты для пучков малого поперечного сечения.
3. Спроектирован субтерагерцовый ЛСЭ с интенсивным ленточным пучком 500 кэВ / 1 кА, микроондулятором с периодом 5 мм и резонатором на основе брэгговских отражателей; в расчетах показана возможность генерации в такой системе с выходной пиковой мощностью около 20 МВт на частоте около 290 ГГц.
4. Проведено численное моделирование схем ЛСЭ дальнего ИК диапазона на основе микроондуляторов с периодами 3-5 мм: генератора импульсов сверхизлучения пикосекундных электронных сгустков, формируемых фотоинжекторным ускорителем, на частоте 15,5 ТГц с пиковой мощностью до 250 МВт, а также усилителя на базе линейного индукционного ускорителя с усилением до 50 дБ на длине волны 10 мкм и выходной мощностью более 100 МВт.
5. Показано, что переход от традиционного ондулятора сантиметрового периода к микроондулятору с периодом 1 мм в ЛСЭ диапазона экстремального ультрафиолета на базе лазерно-плазменного ускорителя позволяет на порядок сократить длину пространства взаимодействия и существенно уменьшить чувствительность к угловой расходимости пучка.

Научная новизна работы складывается из нескольких составляющих. Впервые предложена, рассчитана и экспериментально испытана планарная конструкция импульсного токового микроондулятора с периодом 1 мм, обеспечивающая рекордный для такого периода ондуляторный параметр около единицы. Впервые сформулированы и предельные ограничения этой схемы — по джоулеву нагреву, скин-эффекту и механической нагрузке, — из которых, в частности, следует принципиальный вывод о пределе укорочения периода на уровне около 1 мм. Новыми являются предложенные

диссертантом двухслойные биметаллические конструкции микроондуляторов, планарные и спиральные, решающие проблему обеспечения механической прочности в сильных ведущих полях, а также результаты численного проектирования трёх классов ЛСЭ-схем на основе предложенных микроондуляторов — от субтерагерцового генератора на ленточном релятивистском пучке до ЭУФ-источника на сгустках плазменного ускорителя.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Все представленные результаты диссертационного исследования являются достоверными и обоснованными. Каждый расчётный результат проверялся несколькими независимыми методами. Аналитические оценки сверялись с расчётами методом конечных элементов, расчёты полей — с магнитными измерениями на масштабных макетах, предельные оценки — с испытаниями на разрушение, одномерные модели ЛСЭ — с трёхмерным PIC-моделированием, расчёты в квазиоптической модели — с кодом Genesis 1.3. Положения и основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах и подвергались оценке независимых международных экспертов. Результаты докладывались на всероссийских конференциях, школах и обсуждались на научных семинарах.

Практическая и теоретическая значимость результатов исследования

Предложена и исследована модель токового микроондулятора, установлены законы масштабирования, определяющие область применимости всего класса подобных устройств. Сформулированы преимущества использования микроондуляторов с сильной раскачкой в ЛСЭ. Испытанные ондуляторы вместе с отработанной технологией их изготовления (гальваническое наращивание меди, электроэрозионная и фрезерная обработка, эпоксидная оснастка, тиристорные схемы питания) могут быть непосредственно использованы для подготовки экспериментов на имеющихся в ИПФ РАН ускорителях.

Список работ, опубликованных в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук

1. Bandurkin I. V., Loginov P. V., Peskov N. Y., Savilov A. V., Fedotov A. E. Pulsed Micro-Undulator for Terahertz and X-Ray Free-Electron Lasers // Radiophysics and Quantum Electronics. — 2023. — Т. 66, № 7. — С. 529–537.
2. Ginzburg N. S., Vilkov M. N., Malkin A. M., Sergeev A. S., Bandurkin I. V., Fedotov A. E., Loginov P. V. Terahertz Super-Radiance from Picosecond Electron Bunches Moving through a Micro-Undulator // Physics of Plasmas. — 2024. — Т. 31, № 3.
3. Bandurkin I. V., Loginov P. V., Peskov N. Y., Savilov A. V. Prospects for the Development of a Compact Free-Electron Laser in the Extreme Ultraviolet Range on the Basis of a Plasma Accelerator and a Microundulator // Radiophysics and Quantum Electronics. — 2025. — Т. 67, № 11. — С. 870–874.

4. Bandurkin I. V., Fedotov A. E., Ginzburg N. S., Loginov P. V., Vilkov M. N. Planar Micro-Undulator for a Sub-Terahertz FEL with a High-Current Sheet Electron Beam // IEEE Transactions on Electron Devices. — 2026. doi: 10.1109/TED.2026.3700134

Ценность научных работ диссертанта отражается высоким уровнем публикаций в рецензируемых международных журналах, они неоднократно обсуждались на различных конференциях и семинарах, получили высокую оценку ведущих специалистов и имеют высокую цитируемость.

Результаты, представленные в диссертационной работе, в полной мере изложены в работах, опубликованных соискателем ученой степени. Формулировки результатов изложены в соответствии с личным вкладом автора в каждую из опубликованных статей. Ссылки на источники заимствования материалов оформлены корректно.

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.3.4. Радиофизика.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

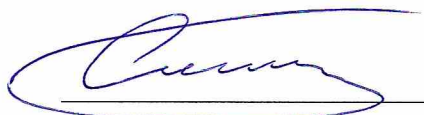
Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

Диссертация «Разработка импульсных микроондуляторов для генерации терагерцового, инфракрасного и ультрафиолетового излучения» Логинова Павла Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Настоящее заключение составлено на основании решения Ученого совета отделения физики плазмы и электроники больших мощностей ИПФ РАН по проведению итоговой аттестации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Присутствовало на заседании 19 чел.

Результаты голосования: «за» — 19 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел.
протокол № 6 от « 17 » июня 2026 г.



Скалыга Вадим Александрович,
доктор физико-математических наук,
Председатель Ученого совета отделения физики
плазмы и электроники больших мощностей



Моченева Ольга Станиславовна,
кандидат физико-математических наук,
Учёный секретарь отделения физики плазмы и
электроники больших мощностей