ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Егоровой Екатерины Дмитриевны на тему: «Мультипериодические брэгговские структуры для генерации мощного пространственно-когерентного излучения микроволнового, терагерцевого и инфракрасного диапазонов» по специальности 1.3.4. – «Радиофизика»

Актуальность создания источников мощного импульсного и квазинепрерывного излучения субТГц/ТГц диапазонов обусловлена их применением: в разрабатываемых в настоящее время компактных ТГц ускорителях; СВЧ ондуляторах для компактных рентгеновских лазеров на свободных электронах комптоновского типа; в устройствах визуализации скрытых объектов для систем безопасности; в системах диагностики плазмы; биомедицинской диагностике; устройствах беспроводной передачи данных шестого поколения и радиоастрономии; мониторинге космических объектов и наземных лидарных системах; и др. В этих диапазонах может быть достигнут уровень импульсной мощности (при длительности импульса от 1-100 наносекунд) от нескольких десятков МВт до единиц ГВт при использовании рассматриваемых в данной работе релятивистских генераторов на основе интенсивных электронных пучков с токами килоамперного уровня.

Одной из основных проблем на пути создании мощных генераторов в субТГц/ТГц диапазонах является разработка электродинамических систем, способных обеспечить селективное возбуждение рабочей моды в условиях существенной сверхразмерности, а также ее вывод и транспортировку для последующего использования в потенциальных приложениях. В представляемой диссертационной работе Е.Д. Егоровой для решения данной проблемы разрабатываются электродинамические структуры на основе 2D и 3D периодических и мультипериодических брэгговских структур нового типа, а именно мазеры на свободных электронах, релятивистские черенковские генераторы поверхностной волны и гетеролазеры, позволяющие получить высокий уровень КПД данных систем в условиях повышенной сверхразмерности.

Обоснованность и степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Научные положения и выводы диссертации основаны на приведенных в диссертации результатах теоретического анализа электродинамических систем методом связанных волн в квазиоптическом приближении, подтвержденных прямым численным PIC моделированием в CST Microwave Studio, а также рядом экспериментов по

исследованию электродинамических структур и тестированию гетеролазера. Основные результаты опубликованы в 10 научных статьях рецензируемых журналов, включающих рассматриваемую в работе тематику, а также доложены на международных конференциях. Все это делает полученные результаты и рекомендации обоснованными и достоверными. Для полноты и повышения достоверности результатов пока недостает экспериментальных тестов разрабатываемых генераторов, которые, судя по актуальности и значимости темы исследования, будут выполнены в скором будущем.

Научная новизна результатов.

1. Предложены брэгговские структуры: с мультипериодической гофрировкой поверхности и исследована возможность их использования в качестве высокоселективных резонаторов с «трехмерной» обратной связи в МСЭ генераторах; в качестве замедляющих систем в планарных черенковских генераторах поверхностной волны с выводом излучения в поперечном структуре направлении; в качестве электродинамических систем с диэлектрическими брэгговскими решетками в квантово каскадных гетеролазерах на основе структур кадмий-ртуть-теллур с выводом излучения под углом к их поверхности.
2. Разработаны оригинальные модели для описания электронно-волнового взаимодействия в предложенных схемах генераторов, а также определены оптимальные условия для обеспечения стабильного одномодового режима генерации с высоким уровнем выходной мощности в условиях существенной сверхразмерности электродинамических систем.
3. Разработаны проекты пространственно развитых релятивистских генераторов на основе предложенных электродинамических систем с использованием существующих ускорительных комплексов с релятивистскими электронными пучками ленточной конфигурации, дающие рекордные уровни выходной импульсной мощности в субТГц-диапазоне.

Личный вклад соискателя в разработку темы исследования. Как указано в диссертации, основные результаты работы получены либо автором лично, либо при его непосредственном участии, что подтверждено детальным описанием его вклада с указанием консультантов и научных сотрудников, участвовавших в данной работе.

Работа написана хорошим научным языком с большим количеством ссылок, качество схем и графиков приемлемо.

По представленной диссертации можно высказать следующие **замечания:**

Существенные:

1. Во Введении на стр. 4 указывается, что наибольшая мощность излучения в импульсе

и непрерывном режиме в ТГц диапазоне (частоты выше 1 ТГц) получена с помощью гиротронов. В данной области частот Новосибирский ЛСЭ может генерировать квазинепрерывное излучение со средней мощностью до 860 Вт (на частоте 4 ТГц), которая пока недостижима для гиротронов на данных частотах.

2. На стр. 5 Введения приводятся применения мощного субТГц и ТГц-излучения, среди которых указываются исследования в области биомедицины и медицинской диагностики без ссылок на литературу. Насколько мне известно, для биомедицинских целей не требуется высокая средняя или импульсная мощность ТГц излучения, достаточны небольшие мощности (не более единиц - десятков милливатт).

3. На стр. 23 приводится система уравнений, описывающих процесс взаимного рассеяния волн со ссылкой на публикации автора. Понятно, что вывод данных формул достаточно громоздкий и опускается. Однако хотелось бы увидеть хотя бы качественное пояснение, из каких базовых физических принципов они получены.

4. Хотелось бы уточнить, какая функция гофра использовалась при выводе дисперсионного уравнения (1.8). Если бралась идеализированная функция гофра, повлияет ли это на согласие между решением дисперсионного уравнения и численными расчетами?

5. В формуле (1.5) видимо допущена ошибка: при использовании функции $f(hx)$, определенной в (1.4), коэффициент перед амплитудой гофрировки должен быть обратный. Также вводится неопределенный параметр h с чертой.

6. В разделе 1.3 в численном моделировании на частотах 300 и 600 ГГц добротность основного резонанса была примерно одинаковой (около 2000), а в модели связанных мод (см. Рис. 1.5 (а) и (в)) они отличаются почти в три раза. Чем это может быть вызвано?

7. В ускорительном комплексе "Синуки" ИПФ РАН расстояние между пучком и гофрированной поверхностью 0.2 мм. Согласно распределению полей в стационарном случае для генераторов поверхностной волны на основе 1D и 2D брэгговских структур, эти поля локализованы в области порядка 1 мм от брэгговских решеток. В этом случае, казалось, можно было бы увеличить расстояние между пучком электронов и поверхностью решеток? Имеет ли это смысл, и как это повлияет на выходную мощность генератора?

8. На стр. 28 приводится утверждение: "...увеличение коэффициента связи волн

приводит к росту добротностей мод и их сближению с омической добротностью (см. рисунок 1.5б), что, очевидно, ведет к росту потерь в резонаторе". Видимо здесь опечатка - в данном случае потери в резонаторе должны уменьшаться?

9. На рис. 3.12 приведен спектр КРТ-гетеролазера с накачкой импульсным CO_2 лазером. При этом о результатах с другими источниками накачки, используемыми в данной работе, ничего не говорится. Также не сравниваются результаты, полученные на брэгговских решетках разного размера.

10. Важно было бы сравнить экспериментальный спектр на рис. 3.12 с расчетным с одномодовой генерацией, полученным в рамках аналитической модели или численного моделирования. Но последние, почему-то не приводятся? Это позволило бы оценить ожидаемую ширину линии генерации, т.к. в эксперименте она была ограничена спектральным разрешением фурье-спектрометра.

Несущественные:

1. На стр. 25 утверждается: "как следует из (1.8), реализуется дисперсионная зависимость шестой степени". Может я ошибаюсь, но степень уравнения (1.8) получается не шестая, а пятая?

2. В формуле (1.2) условия брэгговского резонанса и далее по тексту диссертации не дается определение величины h, хотя из контекста понятно, что означает данная величина.

3. Почему в Разделе 1.1.3 в численном моделировании глубины гофрировок не совпадали с глубинам аналитических решений в Таблице 1?

4. На рис. 1.16 подписи частот (1) и (2) семейства не должны совпадать.

5. На стр. 22 в пояснении первого слагаемого в (1.3) приводится ссылка на формулу (1.1).

6. Для оценки спектра мод резонатора в Таблице 1 используется проводимость меди. Желательно привести ссылку на справочные данные, где взяты данные значения.

7. На стр. 108 приводятся параметры импульсного CO_2-лазера Infralight-100 с длиной волны 10.6 мкм, но не приводится длительность импульса.

8. Также в работе встречается еще около двух десятков опечаток в тексте и формулах.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых

степеней» (постановления правительства РФ от 24.09.2013 №842)». Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.4. – «радиофизика» (по физико-математическим наукам).

Таким образом, соискатель Егорова Екатерина Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – «радиофизика».

Выражаю **согласие на обработку** диссертационным советом **моих персональных** данных, связанных с защитой данной диссертации.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
ФГБУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, старший научный сотрудник

Герасимов Василий Валерьевич _____

«1» 09 2026г.

Контактные данные:
тел.: +7(913)7691917, e-mail: v.v.gerasimov@inp.nsk.su

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Адрес места работы:
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 11,
ФГБУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, лаб.8-1
Тел.: +7(383)3294839; e-mail: v.v.gerasimov@inp.nsk.su

Подпись официального оппонента
Герасимова Василия Валерьевича УДОСТОВЕРЯЮ:

Уч. секретарь ИЯФ СО РАН
к.ф.-м.н. А.В. Резниченко _____ 09 2026г.