

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 6 декабря 2024 г. №18
о присуждении Яруновой Елизавете Андреевне, гражданке Российской
Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Стабилизация оптического поля широкоапертурных лазеров с помощью внешней оптической инъекции» по специальности 1.3.6. Оптика принята к защите 1 октября 2024 г. (протокол заседания №15) диссертационным советом 24.2.379.01, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34) приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 г.; приказом Минобрнауки России от 3 июня 2021 г. №561/нк полномочия диссертационного совета 24.2.379.01 установлены на срок действия номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Минобрнауки России от 24 февраля 2021 г. №118, изменения внесены приказами Минобрнауки России от 15.02.2022 №154/нк, от 13.12.2022 №1750/нк.

Соискатель Ярунова Елизавета Андреевна, 23 марта 1996 года рождения. В 2019 году соискатель освоила программу магистратуры по направлению подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», в 2023 г. соискатель освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, работает в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника теоретического сектора Самарского филиала Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, по совместительству ассистентом кафедры физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и в теоретическом секторе Самарского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Молевич Нонна Евгеньевна, гл.н.с., и.о. заведующего теоретическим сектором Самарского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, по совместительству профессор кафедры физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты: **Мельников Леонид Аркадьевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», профессор кафедры «Приборостроение»; **Осипов Олег Владимирович**, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», заведующий кафедрой «Высшая математика» – **дали положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Республика Крым, г. Симферополь, в своём **положительном отзыве**, подписанном заведующим кафедрой общей физики, доктором физико-математических наук Воляром А.К. и утверждённом проректором по научной деятельности, доктором технических наук, профессором Любомирским Н.В., указала, что диссертация соответствует специальности 1.3.6. Оптика. Диссертационная работа является законченной

научно-квалификационной работой, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Соискатель имеет 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 28 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 9 работ. Суммарный объём опубликованного материала в соавторстве по диссертации составляет 15,13 печатных листа, в том числе 4,72 печатных листа принадлежит соискателю. Из материалов совместных публикаций лично соискателю принадлежат: диаграмма устойчивости, определяющая область параметров внешнего оптического излучения, при которых подавляется неустойчивость Андронова-Хопфа, результаты численного моделирования системы дифференциальных уравнений демонстрирующее подавление неустойчивости Фарадея при различных значениях глубины модуляции накачки, а также диаграммы, демонстрирующие совместное подавление указанных неустойчивостей; результаты, демонстрирующие, что внешнее оптическое излучение слабой амплитуды подавляет модуляционную неустойчивость в широкоапертурном полупроводниковом поверхностно излучающем лазере с вертикальным резонатором (VCSEL), а также, что с помощью внешней оптической инжекции малой амплитуды, можно преобразовывать нерегулярную динамику в стационарные пространственные оптические структуры (полосы и шестиугольники) и осуществлять переключение между оптическими паттернами в поле излучения VCSEL; построенные графические зависимости, определяющие пороговые значения амплитуды внешнего оптического излучения, необходимые для стабилизации в зависимости от ширины пучка внешнего излучения и кривизны профиля тока накачки. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Ярунова, Е. А.** Влияние слабой инжекции на пространственно-временные неустойчивости в широкоапертурном полупроводниковом лазере с вертикальным резонатором / **Е. А. Ярунова**, А. А. Кренц, Н. Е. Молевич // Компьютерная оптика. – 2023. – Т. 47. – № 6. – С.920-926. (научная статья 0,81 п.л./0,27 п.л.)

2. **Yarunova, E. A.** Suppression of modulation instability in VCSEL by external optical injection / **E. A. Yarunova**, A. A. Krents, N. E. Molevich // Optics Letters. – 2023. – Т. 48. – №. 15. – С. 4021-4024. (научная статья 0,46 п.л./0,15 п.л.)

3. **Yarunova, E. A.** Modulation Instability in Driven VCSELs Above Threshold / **E. A. Yarunova, A. A. Krents, N. E. Molevich** // Optical Memory and Neural Networks. – 2023. – Т. 32. – № Suppl. 1.– С. S46–S53. (научная статья 0,92 п.л./0,3 п.л.)

4. **Ярунова, Е. А.** Стабилизация излучения широкоапертурного VCSEL дополнительным внешним оптическим пучком / **Е. А. Ярунова, А. А. Кренц, Н. Е. Молевич** // Журнал технической физики. – 2024. – Т. 94.– №. 3. – С. 474-481. (научная статья 0,92 п.л./0,3 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от следующих организаций и специалистов:

1. **ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»**, подписан профессором кафедры оптики и биофотоники, д.ф.-м.н., старшим научным сотрудником **Дербовым Владимиром Леонардовичем**. Замечания: 1) В автореферате не приведен пример дисперсионных кривых для колебательных неустойчивостей; 2) Отсутствует пояснения в тексте автореферата к рисунку 4(а), что усложняет его понимание; 3) В автореферате не указано какие численные методики использовались в диссертации; 4) Не обсуждается вопрос об экспериментальной проверке результатов численного моделирования.

2. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук**, подписан д.ф.-м.н., гл.н.с. Лаборатории нелинейной оптики **Кундиковой Наталией Дмитриевной**. Замечания: 1) Не описан подробно переход между двумя типами структур: страйпами и гексагонами. Не сказано является ли это мягкой или жесткой бифуркацией; 2) Не сделано замечаний о сценарии перехода к хаотическому (нерегулярному) режиму в данной системе.

3. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук**, подписан д.ф.-м.н., в.н.с. **Пожидаевым Евгением Павловичем**. Замечания: «В качестве небольшого замечания можно отметить, что автор не упоминает о том, что приведенные значения интенсивности внешнего оптического излучения, необходимого для стабилизации, получены с учетом потерь, вызванных непрозрачностью зеркал».

4. **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»**, подписан научным сотрудником лаборатории квантовых процессов и измерений, доцентом научно-образовательного центра математики, к.ф.-м.н. **Поповым Евгением Николаевичем**. Замечания: «первое, чтобы во время записей нелинейной системы уравнений в частных производных были явно

приведены граничные условия или хотя бы правила их постановки, без оных было довольно сложно интерпретировать результаты моделирования пространственного распределения поля, так как оно в значительной мере должно определяться именно граничными условиями; и второе, чтобы в тексте автореферата был упомянут численный метод, который использовался при решении нелинейных систем (1) и (2), очевидно, что во время решения могли возникать проблемы с точностью расчёта и их преодоление также вызывает интерес для проведения похожих теоретических исследований».

Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что указанные недостатки не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на общую **положительную** оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Яруновой Е.А. учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Выбор Мельникова Л.А. в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается тем, что он является известным специалистом в области волоконной оптики и нелинейной динамики оптических систем, лазерной физике.

Выбор Осипова О.В. в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается тем, что он является известным специалистом в области физики волновых процессов, радиофизики и электродинамики СВЧ.

Выбор ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» в качестве ведущей организации обосновывается достижениями ее специалистов в области сингулярной оптики, дифракционной оптики, оптики анизотропных сред, лазерной физики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

найденны области значений амплитуды оптической инжекции и частотной отстройки между генерируемым и инжектируемым излучением, при которых метод оптической инжекции является эффективным для подавления оптических неустойчивостей Андронова-Хопфа и Фарадея в широкоапертурных лазерах динамического класса В;

получено, что с помощью слабой внешней оптической инжекции можно как преобразовать хаотические филаменты в регулярные стационарные оптические структуры (полосы и гексагоны), так и полностью стабилизировать широкоапертурный VCSEL;

показано, что стабилизация модуляционной оптической неустойчивости в VCSEL достигается за счет управляемого внешней оптической инъекцией изменения величины стационарного поля генерации;

определена область значений амплитуды оптической инъекции и частотной отстройки между генерируемым и инжектируемым излучениями, в которой нерезонансная оптическая инъекция способна подавлять модуляционные неустойчивости оптического поля в широкоапертурном VCSEL;

обнаружено, что, изменяя ширину и амплитуду пучка внешнего оптического излучения, можно осуществлять переключение между структурами в виде колец, полос и гексагонов;

Теоретическая значимость исследования обосновывается тем, что: **получены** условия подавления пространственно-временных оптических неустойчивостей различных типов в широкоапертурных лазерах с помощью внешней оптической инъекции и **раскрыты** механизмы стабилизации данным методом;

рассчитано пороговое значение амплитуды внешнего оптического излучения (выражение для критического значения оптического поля), которое необходимо для получения высококогерентного пространственно-однородного выходного пучка в VCSEL, и построены графические зависимости пороговой амплитуды инъекции от степени кривизны профиля накачки и ширины пучка этого внешнего излучения. Данный результат **позволяет определять** эффективность метода внешней оптической инъекции для получения высококогерентного излучения при различных физических параметрах работы VCSEL.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

найжены области значений амплитуды внешнего излучения и частотной отстройки между генерируемым и инжектируемым излучением, в которых эффективно подавляются неустойчивости оптического поля типа Андронова-Хопфа и/или Фарадея в широкоапертурном лазере динамического класса В; **показано**, что при глубине периодической модуляции параметра накачки $0 < m < 0,5$ и частотной отстройке $-0,4 < \theta < 0,4$ (θ нормирована на ширину линии усиления), стабилизирующая интенсивность внешнего оптического излучения находится в пределах 0,01% - 0,8% от интенсивности насыщения;

показано, что внешняя оптическая инъекция позволяет получить в поле излучения VCSEL стационарные пространственные оптические структуры различной формы; **продемонстрировано**, что изменение амплитуды и ширины пучка внешнего оптического излучения позволяет управлять типом

стационарных пространственных оптических структур; **показано**, что для стабилизации оптического поля VCSEL достаточно, чтобы пороговая амплитуда оптической инжекции была порядка 1% от интенсивности стационарного поля.

Оценка достоверности результатов исследования.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается использованием уже ранее многократно апробированных математических моделей для широкоапертурных лазеров, а правильность численных решений систем дифференциальных уравнений подтверждается согласием с аналитическими результатами и выражениями. Корректность построенных численных схем обеспечивается совпадением результатов автора с результатами решения тестовых задач для характерных лазерных режимов. Достоверность результатов стабилизации излучения широкоапертурного лазера и подавления, в частности, неустойчивостей Фарадея и Андронова-Хопфа подтверждается согласием результатов численного моделирования, численно построенных диаграмм устойчивости и построенными дисперсионными кривыми; возможность подавления модуляционной неустойчивости в широкоапертурном VCSEL подтверждена на основе численного решения эффективной системы Максвелла-Блоха, и находится в согласии с аналитически построенными областями неустойчивостей и выражением для критического стационарного значения оптического поля.

Личный вклад соискателя. Все результаты в диссертационной работе, были получены лично соискателем. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем.

Полученные в диссертационной работе результаты представляют интерес для создания компактных мощных источников когерентного излучения на основе широкоапертурных лазеров, а также для разработки оптических систем, позволяющих контролировать и управлять пространственно-временными оптическими структурами.

Рекомендуется использование результатов диссертации: при разработке систем лазеров «ведущий-ведомый», систем, осуществляющих блокировку оптической инжекцией, реализующих оптическую бистабильность, а также в современных системах оптической связи. Возможно, внедрение результатов в учебный процесс других вузов, осуществляющих подготовку специалистов в области динамики лазеров, нелинейной оптики.

Работы по теме диссертации выполнялись в соответствии с планами фундаментальных научно-исследовательских работ по грантам и программам: государственное задание Минобрнауки РФ FSSS-2020-0014, FSSS-2023-0009, 0023-2019-0003, FFMR-2024-0017.

В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора или источник заимствования, результаты научных работ, выполненные соискателем учёной степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

В ходе защиты диссертационной работы не были высказаны критические замечания. Соискатель Ярунова Е. А. ответила на все задаваемые ей в ходе заседания вопросы.

На заседании 6 декабря 2024 г. диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, принял решение присудить Яруновой Е.А. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета 24.2.379.01
академик РАН, д.т.н., профессор



В. А. Сойфер

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.379.01
к.ф.-м.н., доцент

А. М. Телегин

6.12.2024